

YENİ YERLEŞİM ALANLARININ ZEMİN VE HEYELAN AÇISINDAN İRDELENMESİ

Doç. Dr. Gürkan ÖZDEN
gurkan.ozden@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yeni yerleşim alanları planlanırken birçok teknik ve sosyal disiplinden uzmanın birlikte çalışması gerekir. Şehircilik, mimarlık uzmanlarının başı çektiği bu grubun diğer üyelerini ise jeoloji, jeofizik ve inşaat mühendisleri oluşturur. Artan nüfus ve ekonomik baskılar nedeniyle geçmişte tercih edilmeyen coğrafi bölgeler günümüzde gittikçe artan bir oranda yerleşime açılır olmuştur. Bu tür bölgelerin önemli bir kısmını sahil boylarında suya doymuş ve henüz sıkışmasını tamamlamamış zemin tabakalarından oluşan alanlar oluşturmaktadır. İzmir İli bu açıdan dünya çapında bir örnek oluşturan büyük bir metropolitan alandır. Meles ve Eski Gediz Nehri Deltaları'ndaki yapılaşma günümüzde toplu konut projeleriyle önemli bir ivme kazanmış durumdadır. İzmir İli'nde ayrıca heyelanlı alanlarda da yoğun bir yapılaşma gerçekleşmiştir. Bu yapılaşmanın önemli bir bölümü Kadifekale ve civarında gecekondular halindedir. Balçova, Narlıdere ve Seferihisar bölgelerinde ise imarlı alanlarda da heyelan problemleri mevcuttur.

Suya doymuş alüvyon zeminlerde aşırı toplam ve farklı oturma, taşıma kapasitesi kaybı, sıvılaşma ve deprem büyütmesi; heyelanlı bölgelerde ise üst ve alt yapıda farklı oturma ve kayma deformasyonu tarzında gelişen zemine bağlı problemler yapılaşmada rol alan resmi ve sivil toplum örgütleri üzerinde ciddi bir baskı yaratmış olup, bu baskı arsa üretimindeki yetersizlik, geçmişteki plansızlık ve aşırı kâr hırsıyla artarak sürmektedir. Bu çalışmada yeni yerleşime açılan alanların planlanmasında zemin açısından dikkate alınması gereken hususlar bir inşaat mühendisinin bakış açısıyla ele alınmaktadır.

2. YENİ YERLEŞİM ALANLARINDA ZEMİN AÇISINDAN DİKKATE ALINMASI GEREKEN HUSUSLAR

Bir mühendislik yapısının tasarım ve inşaatında önemli adımlardan birisi yapı yüklerini zemine güvenle aktarabilecek bir temel sisteminin seçimi; bu sistemin zemin ve üst yapı ile uyum içinde çalışmasının sağlanmasıdır. Tasarımcı mühendisin zemini de beton, çelik ve ahşap gibi bir *mühendislik malzemesi* olarak ele alması bahsedilen uyumun sağlanması için son derece önemlidir. Bir yapının yüklerini güvenle zemine aktaracak ve deprem yüklerine karşı temel sistemine kabul edilebilir bir güvenlik sağlayacak inşaat mühendisinin üstesinden gelmesi gereken problemler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Üst yapı yükleri seçilen temel sistemi ile zemine aktarıldığında temel zeminde genel göçme meydana gelmeyecektir (*taşıma kapasitesi problemi*).

2. Genel göçme oluşmasa bile aktarılan yükler altında taşıyıcı zemin tabakalarında gerilme artışı meydana gelecek ve bu gerilmeler altında tabakaların deformasyonu ile üst yapı

*Bu Bildiri İnşaat Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

oturacaktır. Oturmaların gerek can güvenliği gerekse üst yapı fonksiyonunun bozulmaması açısından öngörülen limit değerleri aşmaması gerekir. Bilhassa farklı oturma riski olabildiğince azaltılmalıdır (*oturma problemi*).

3. Dinamik yükler altında statik koşullardaki deformasyonlara ilave olarak zeminin sıkışmasına bağlı oturmalar gözlenebilir. Ayrıca suya doymun gevşek / orta-sıkı kumlarda sıvılaşma, yumuşak killerde yumuşama ortaya çıkabilir. Bu tür deformasyon riskleri tasarımcı tarafından makul sınırlar içinde tutulmalıdır (*dinamik yüklerde zemin deformasyonu problemi*).

4. Depremlerde taban kayasındaki hareketin zemin tabakaları tarafından büyütülmesi veya sönümlenmesi sıkça gözlenmektedir. Mühendislik pratiği açısından daha çok alüvyon zeminlerde ortaya çıkan büyütme mekanizması önemlidir. Buna yanı sıra taban kayasındaki hareketin frekans içeriğinin zemin yüzeyine ulaşmaya dek değişmesi de üst yapının depremde maruz kalacağı yüklerin hesaplanmasında ve yapısal performansın hesabında önem kazanmaktadır (*büyütme dinamik zemin davranışı problemi*).

Yukarıdaki dört ana başlığa ilave olarak yapının özelliklerine ve topografyaya bağlı olarak şev kayması gibi mekanizmalar da ortaya çıkabilir ki her birinin riski ayrı ayrı ele alınmalıdır. Ne yazık ki bilhassa deprem ve heyelan riski yüksek bölgelerde özel itina isteyen temel sistemi seçimi ve analizi sıklıkla çok üstünkörü yapılmakta ve bütün tasarım tek bir “zemin emniyet gerilmesi” parametresine indirgenmektedir. Hâlbuki zemin ne çeliğe ne de betona benzer bir mühendislik malzemesidir. Geoteknik literatürde marjinal zeminler olarak da bilinen problemlilerde yapılaşma özel yaklaşımlar gerektirir.

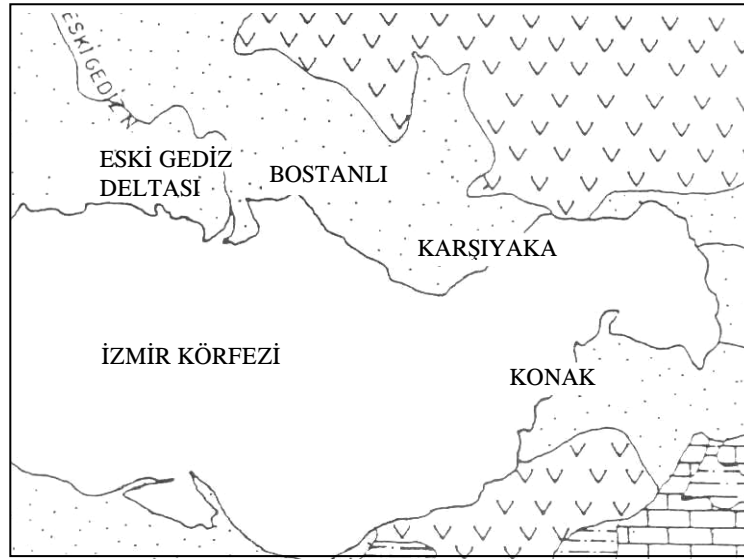
3. MARJİNAL ZEMİNLERDE GÜVENLİ TEMEL SİSTEMİ KRİTERLERİ

Yerel yönetimler yeni sahaları imara açmak istediklerinde, ekonomik ve rekreatif olarak en uygun seçeneklerden biri sahil boyları ve deltalar olmaktadır. Her ne kadar son yıllarda çevre koruma örgütlerince bataklık ve sulak alanların korunmasına yönelik faaliyetler başlatıldıysa da bunlardan büyük şehirlere yakın sahalar için kesin sonuç alması zor görünmektedir. Günümüzde mevcut inşaat teknolojisi ve bilgi birikimi bu tür bataklık ve sulak arazilere istenilen yapı formlarının inşaatına genelde fırsat tanımaktadır. Ancak yapılaşmada sınırların zorlanması İzmir İli’nde geriye dönüşü mümkün olmayan problemlere de yol açmıştır. Bu açıdan Kuş Cenneti’nin korunabilmiş olması başarı kabul edilmelidir.

Marjinal arazilerdeki yoğun yapılaşma A.B.D’nde yirminci yüzyılın başlarında hız kazanmış ve Boston, New York ve Cambridge gibi şehirlerde pek çok yerleşim ve sanayi bölgesi bataklık ve sulak alanlardan dolgu ve kurutma yoluyla kazanılan parsellere kurulmuştur (Rutledge, 1970). Bu saha zeminlerinin üst yapı ve dolgu yükleri altında oturma, şev kayması ve yetersiz taşıma kapasitesi şeklinde arz ettiği problemler inşaat mühendisleri ve şehir planlamacıları arasında çelişiklere yol açmıştır. Statik yükler altında görülen bu problemlere ek olarak depremlerde ortaya çıkan büyütme, sıvılaşma ve yumuşama ile bunların temel-üst yapı sistemleri üzerindeki etkileri de deprem riski taşıyan yörelerde dikkate alınmalıdır. Şehir planlamasında marjinal zeminler söz konusu olduğunda şehirciler ve inşaat mühendislerinin birlikte çalışması zorunluluk gibi görünmektedir.

*Bu Bildiri İnşaat Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

Türkiye’de 1960’lı yıllardan bu yana İstanbul, Ankara ve İzmir başta olmak üzere metropolitan alanlar hızlı ve çok planlı olmayan bir büyüme göstermiştir. Bu şehirlerin içinde İzmir, sahil boyu şeridinin uzunluğu ve Eski Gediz Nehri Deltası’nın genişliği dolayısıyla en yüksek oranda yapıyı marjinal zeminler üzerinde barındırmaktadır (Şekil 1). Özellikle Eski Gediz Nehri Deltası marjinal zemin niteliğindedir. Bu bölgedeki yerleşim Bostanlı semti ve civarında kısmen planlı gerçekleşmiştir. Toplam ve farklı oturma problemlerini istenilen limitlerde tutacak temel sistemleri bazı toplu konut alanları için uygulanmıştır. Ne var ki bu semtteki yapıların büyük çoğunluğunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmayarak zaman içinde oturma problemlerine bağlı yüzlerce özrürlü yapının doğuşuna ortam sağlanmıştır (Şekil 2). Deltadaki Çiğli ve Sasalı semtlerinde yapılaşma daha çok sanayi tesisleri ağırlıklıdır. Bu bölgelerde de hatalı geoteknik uygulamalar yüzünden metre mertebelerinde oturmalar ortaya çıkmıştır.



Şekil 1. İzmir Körfezi ve Eski Gediz Nehri Deltası

Bataklık ve sulak alanlar yerleşime açılırken yukarıda anılan zemine bağlı problemlerin kazıklı temel uygulaması ile aşılabileceği yanlışlığının geçersizliği günümüzde anlaşılmıştır. Bir takım yüksek binalarda kazıklı temellere rağmen telafisi çok güç bir şekilde oturma problemleri tespit edilmiştir. Kazıklı temeller yüksek maliyetleri ve heybetli imalat teknolojileri nedeniyle olsa gerek, mal sahipleri ile planlamacılar arasında aşırı güven duygusu oluşturmaktadır. Bu husus marjinal zeminlerde güvenli yeni yapılaşma için bertaraf edilmesi gereken bir psikolojik bariyerdir.

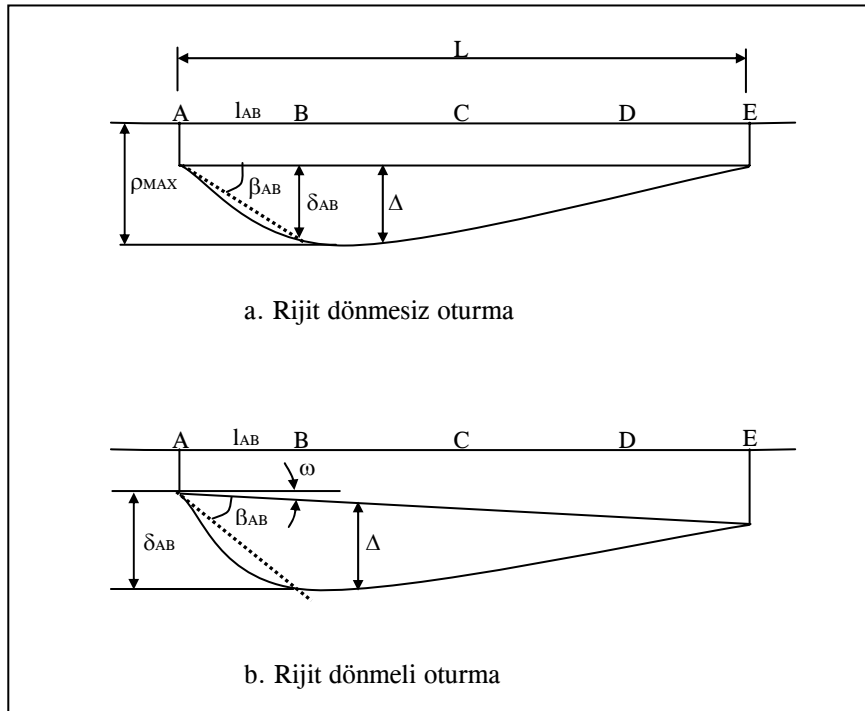
Marjinal zeminlerdeki temel tasarımında belirleyici unsur yapı temel alanı içinde oluşabilecek farklı oturmaların üst yapı ve temele zarar vermeyecek sınırlar dâhilinde tutulmasıdır. Güvenli temel taban basıncına karar vermeden önce zemin taşıma kapasitesi hesabının yanı sıra oturma analizinin de yapılması gerekir. Sıfır oturma yapan ve çatlak oluşmayan bina üretimi çoğu zaman ekonomik değildir. Yumuşak kil ve gevşek kumlu zeminlere oturan temellerde tasarım ilkelerine uyularak oturmalar kontrol edilebilir.

*Bu Bildiri İnşaat Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.



Şekil 2. Bostanlı’ da rijit dönme ve farklı oturma yapan binalar

Bir yapıda gözlenen oturmalar farklı oturma karakteristiği gösterirlerse üst yapıya negatif etkileri daha çok söz konusu olur. Genel yaklaşım hasar kriterlerinin açısal distorsiyon, β , ile tanımlanmasıdır (Wahls, 1981; Bjerrum, 1963). Oturma tanımları birçok araştırmacı tarafından benzer şekilde yapılmıştır (Bjerrum, 1963; Polshin ve Tokar, 1957; Skempton ve MacDonald, 1956; Terzaghi ve Peck, 1948). Bu araştırmalarda geliştirilen tanımlamalar (bkz. Şekil 3) çeşitli mühendislik örgütlerince de kabul edilmiştir (ISE, 1989).



Şekil 3. Oturma Kavramlarının Gösterimi (Wahls, 1981)

Yukarıdaki şekilde “ ρ_{MAKS} ” maksimum toplam oturma, “ ω ” rijit dönme, “ δ_{AB} ” A ile B noktaları arasındaki farklı oturma, “ l_{AB} ” iki nokta arasındaki uzaklık, “ β_{AB} ” A ile B noktası arasındaki açısal distorsiyon ($\beta_{AB} = \delta_{AB}/l_{AB} - \omega$), “ Δ ” rölatif deformasyon için kullanılmıştır. Çizelge 1’de ise Bjerrum (1963) tarafından geliştirilen ve gözlemlere dayanan açısal distorsiyon, β , limitleri verilmektedir.

Çizelge 1. Açısal distorsiyon (β) için limit değerler

Hasar Sınıfı	β
Oturmaya hassas makinalar için sınır	1/750
Çapraz elemanları olan çerçeve için sınır	1/600
Yapıda hiç çatlak olmaması için güvenli sınır	1/500
Panel duvarlarda çatlak oluşur	1/300
Vincin çalışmasında güçlükler	1/300
Yüksek yapıların eğilmesi gözle görülebilir	1/250
Panel ve tuğla duvarlarda dikkate değer çatlaklar	1/150
Genel yapıların çerçevesinde hasar riski	1/150
Esnek tuğla duvarlar için güvenli sınır ($L/H > 4$)	1/150

Sığ temellerin deprem yükleri altındaki davranışı lokal zeminlerin dinamik davranışından etkilenir. Alüvyon zeminlerde sıklıkla görülen büyütme mekanizması sonucu, gerek temel gerekse üst yapı yüksek yüzey atalet yüklerine maruz kalabilir. Bunun yanı sıra, kuvvetli yer sarsıntılarında zeminin doğrusal olmayan davranışına bağlı olarak suya doymun killi zemin tabakalarında yumuşama ve yine suya doymun granüler zemin (kum, silt) tabakalarında ise sıvılaşma meydana gelebilir. Her iki mekanizma da zeminde tekrarlı gerilmelere bağlı olarak aşırı boşluk suyu basıncının gelişimi sonucu ortaya çıkar. Yumuşama ile sıvılaşma arasındaki en önemli fark yumuşamada aşırı boşluk suyu basıncının (Δu) efektif düşey gerilmeye (σ') oranının ($r_u = \Delta u / \sigma'$) $r_u = 1$ değerine ulaşmamasıdır. Yumuşama zeminin gerek dayanımında gerekse rijitliğinde düşüşe neden olarak taşıma kapasitesinde azalmaya, kimi zaman yapı temellerinde toptan göçmeye yol açar. Yumuşama normal konsolide killer ile hassas killerde ortaya çıkabilir. Ayrıca kumlu zeminlerde $r_u = 1.0$ değerine ulaşılmadığı koşullar da yumuşama olarak değerlendirilebilir. Kil zeminlerde yumuşamanın çok çarpıcı örnekleri 1964 Alaska depremi sonrasında hassas killerde toptan göçme ve büyük çaplı şev kaymaları şeklinde gözlenmiştir.

Sıvılaşmada ise $r_u = 1.0$ değerine ulaşılır ve zemin daneleri arasındaki sürtünme uzunca bir süre kesilerek zemin vizkoz bir sıvıya dönüşür. Bu zemin çok küçük yüzey eğimlerinde bile metrelerce akarak kalıcı yüzey deformasyonlarına uğrar. Depremlerde 1° ’den küçük yüzey eğimlerinde dahi akışın gerçekleştiği bildirilmektedir (NRC, 1985). Sıvılaşma gevşekten orta-sıkıya kadar olan kumlu zeminlerde görülür. Sıkı kumlarda r_u değeri tekrarlı gerilmeler sırasında anlık olarak bire yükselse de daneler arasındaki temas sürekli olarak kesilmez. Bu tür mekanizmayı “sıvılaşma-liquefaction” terimi yerine “tekrarlı hareketlilik-cyclic mobility” terimi ile tanımlamak daha yerinde olur. Sıvılaşma üzerinde etken birçok faktör vardır. Depremin büyüklüğü, zeminin dane çapı dağılımı, zemindeki ince danenin oranı ve özeliği, zeminin sıklığı, efektif düşey gerilme, zeminde deprem öncesi statik gerilmeler bunların en

*Bu Bildiri İnşaat Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

önde gelenleridir. Sıvılaşma daha çok ince daneli kumlarda gözlenmekle birlikte siltler, siltli-killi kumlar ve çakıllı kumlar da sıvılaşabilir. İnce malzeme (silt, kil) ve çakıl oranının kumların sıvılaşması üzerinde hangi oranlarda etken olduğu araştırma konusu olmakla beraber kil oranı %20'den fazla olan kumların sıvılaşma olasılığının çok daha düşük olduğu söylenebilir (Tokimatsu ve Yoshimi, 1983).

Sığ temellerin statik ve tekrarlı yükler altında stabilitesinin sağlanması için gerekli önlemler literatürde oldukça ayrıntılı olarak yer almaktadır. Statik yükler altında farklı oturmayı kabul edilebilir limitler içinde tutmak üzere zemindeki yanıl süreksizliklerin bodrumlu temel uygulaması ile aşılması, farklı oturma eğiliminin rijit radye temel ile azaltılması, yüzer temel çözümüne gidilerek zemine net yük aktarılması veya net yükün çok düşürülmesi, yumuşak zemin tabakasının hafredilmesi, yumuşak zemin üzerine kalın ve sıkı bir çakıl tabakası dolgusu yapılarak bunun radye temele benzer çalışmasının sağlanması sıkça başvurulan çözüm yöntemlerindedir. Tekrarlı yükler altında stabilizeyi artırmak için zemin-temel-yapı sisteminin rezonansa girmemesine dikkat edilmesi, yumuşak kil ve gevşek kum zeminlerde zemin iyileştirmesine gidilmesi, temele belirli bir derinliğin kazandırılması sıkça uygulanmaktadır. Temel ve yapı bütünlüğünün korunması açısından sürekli temellerin tekil temellerden, radye temellerin ise sürekli temellerden daha avantajlı olduğu söylenebilir.

4. SONUÇ

Marjinal zeminlerde sağlıklı yerleşim planlaması için birçok faktörün dikkate alınması gerekir. Suya doymun yumuşak kil, silt ve gevşek kum tabakaları statik ve dinamik yükler altında kolaylıkla deforme olabilmektedirler. Planlamanın başarıya ulaşabilmesi için öncelikle şehir planlamacıları, yer bilimciler ve inşaat mühendislerinin birlikte ve uyum içinde çalışması gerekir. Problemlili zeminlerde oturma kriterleri tarif edilmeden başarılı yapılaşma ve yerleşim gerçekleşemez. Dolayısıyla zemin-yapı etkileşimi bu bölgeler için mutlaka dikkate alınmalıdır. Statik yükler altında farklı oturma, dinamik yükler altında sıkışma, zemin büyütmesi, sıvılaşma, yumuşama ön plana çıkmaktadır. Sığ temellere oturan yapılar için özel önlemler alınması gerekebilir. Radye temeller farklı oturmada istenilen rijitliği sağlamayıp hasarlanabilir. Kazıklı temeller birçok yönden sığ temellerin dezavantajlarını giderebilir. Ancak bu tür temellerde deprem yükleri altında beklenmeyen etkiler oluşabilir. Önemli ve yüksek yapılar için dinamik zemin-kazık-yapı etkileşimi hesapları yapılmalıdır.

Gerekli geoteknik analizler yapılmadığı için hasarlı ve oturma özürülü hale gelen yapıların stabilitesinin ve mevcut güvenliğinin de incelenmesi gerekir. Bu yapıldığı takdirde ilerideki yerleşim planlarına ışık tutulmuş olacaktır. Ayrıca geçmiş depremlerde İzmir'in yaşadığı tecrübeler mutlaka planlamacı ve mühendisler tarafından bilinmelidir ve bu konuda hafıza kaybının yaşanmasına izin verilmemelidir. Örneğin 2003 yılında Karaburun Yarımadası'nda meydana gelen depremin Bornova İlçesi'ne bağlı Manavkuyu ve yakın çevresinde neden olduğu yaygın hasardan ders alınmalıdır (Şekil 4). Kalın alüvyon tabakalarının doğal periyoduna yakın birinci salınım periyodu olan pek çok binanın göstermiş olduğu yetersiz deprem performansından ders çıkarılmalı ve bu tür sahaların yerleşime açılması aşamasında yapıların kat sayısına daha dikkatli bir şekilde karar verilmelidir. Heyelan bölgelerinde su drenajına çok dikkat edilmelidir. Kadifekale ve yakın bölgesi en kısa zamanda kaçak yapılaşmadan arındırılmalıdır.

*Bu Bildiri İnşaat Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.



Şekil 4. 2003 Urla Depremi'nde (M=5.6) Bornova/Manavkuyu bölgesinde hasar gören yapıların dağılımı

Bu çalışmada yeni yerleşim alanları planlanırken dikkate alınması gereken zemin ve heyelan problemlerine bir inşaat mühendisinin bakış açısından yaklaşmıştır. Bu tür alanlarda alınan yapılaşma kararlarında teknik düşünceler ön plana çıkmalı, can ve mal güvenliğine olan deprem tehlikesi ve yapıların statik yükler altındaki performansı kabul edilebilen sınırlar içine çekildikten sonra şehir planlama kriterleri dikkate alınmalıdır. Zira yüksek risk taşıyan imar kararları genellikle riskli yapı üretimine ve uzun vadede sağlıksız yerleşime neden olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bjerrum, L. (1963). "Allowable Settlement of Structures", Proceedings, European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Weisbaden, Germany, Vol. III, 135-137
- Institution of Structural Engineers, ISE, (1989). "Soil-Structure Interaction The Real Behavior of Structures", London
- National Research Council, (1985). "Liquefaction of Soils During Earthquakes", Committee on Earthquake Engineering, Washington
- Polshin, D. E. ve Tokar, R. A. (1957). "Maximum Allowable Nonuniform Settlement of Structures", Proceedings, 4th Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, Vol. I, 402-406
- Rutledge, P.C. (1970). "Utilization of Marginal Lands for Urban Development", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 96, No. SM1, 3-22
- Skempton, A. W. ve MacDonald, A. D. (1956). "Allowable Settlement of Buildings", Proceedings, Institute of Civil Engineers, Part III, Vol.5, 727-768
- Terzaghi, K. ve Peck, R. B. (1948). "Soil Mechanics in Engineering Practice" 1st ed., John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y.
- Tokimatsu, K. ve Yoshimi, Y. (1983). "Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Value and Fines Content", Soils and Foundations, JPSSFE, 56-74
- Wahls, H. E. (1981). "Tolerable Settlement of Buildings", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.107, No. GT11, 1489-1504