

KUMLU ZEMİNLERDE SİĞ TEMELLERİN OTURMA HESAPLARINDA DÜŞÜK SÜNME MODÜLÜNÜN UYGULANMASI

APPLICATION OF SMALL STRAIN STIFFNESS IN THE CALCULATION OF SETTLEMENT OF SHALLOW FOUNDATIONS ON SAND

Eriş Uygur*¹

Hugh Brocklebank²

Peter Sharp³

ÖZET

Sığ temellerin kumlu zeminlerdeki geoteknik tasarımı çoğu kez oturma kriterine bağlıdır, bunun sebebi bu tür zeminlerde genel olarak, zemin emniyet gerilmesinin oldukça yüksek bir değerde olmasıdır. Kumlu zeminlerde oturma önemli bir kısmı kısa vadede gerçekleşir ve dolayısı ile çok hassas bir hesaplama gerektirir. Ancak bu tür zeminlerden numune alınıp deneyler yapılarak laboratuvarında tasarım parametrelerinin incelenmesi zor veya imkansız olduğundan oturma hesapları arazi deneyleri sonuçlarına bağlı kalır. Bu deneylerden standart penetrasyon, koni penetrasyonu, kuyuda yanıl basınç ve plaka yükleme deneyleri en sık kullanılanlarıdır. Ancak bu deneyler de yüksek sünme değerlerinde gerçekleştirildiği için, normal yüklerdeki davranışa denk gelecek sıklık modülünü hesaplamak için bir dizi işlem gerektirmektedir. Yüksek sünme değerlerinde hesaplanan sıklık modülleri oturma hesaplarını olumsuz etkilemekte ve fazla konservatif olunmasına yol açabilmektedir. Bilgisayar kullanımı ile gelişmiş zemin modelleme teknikleri kullanılarak oturma hesaplarının gerçekleştirilmesi ise hem bazen zaman açısından zorlayıcı hem de hesapların kontrolünü zorlaştırmaktadır. Bu makalede analitik hesap teknikleri ile uygulanabilecek basit bir doğrusal olmayan oturma hesabı yöntemi önerilmektedir. Bu yöntem ile temsili sünme değerleri kullanılarak zeminin oturma profili ile uygun bir sıklık modülü profili uygulanıp oturma daha hassas bir biçimde hesaplanabileceği öne sürülmektedir.

Anahtar kelimeler: sığ temeller, oturma, elastik modül.

ABSTRACT

Geotechnical design of shallow foundations on sand is mostly governed by the settlement criteria as granular soils can commonly provide high bearing capacity. Most of the settlement in granular soils takes place during the short term and requires vigilant estimation. The prediction of settlement for foundations in sands is a challenge since undisturbed sampling, and therefore, accurate determination of insitu properties with

*1 Yrd. Doç. Dr., Doğu Akdeniz Üniversitesi, Kıbrıs, eris.uygur@emu.edu.tr (Yazışma yapılacak yazar)

² Associate, Ground Engineering Manager, Mott MacDonald Ltd UK, hugh.brocklebank@mottmac.com

³ Associate, Ground Engineering Manager, Mott MacDonald Ltd UK, peter.sharp@mottmac.com

laboratory testing is nearly impossible in practice. Therefore, the predictions mostly rely solely on insitu testing, such as standard penetration, cone penetration and pressuremeter tests. These tests are commonly used in practice for measurement of engineering properties of sands, but are meaningful only after they are interpreted using a set of correlations to indirectly estimate design parameters. The results in these tests are essentially obtained at a failure state and the design parameters estimated from these results can not be used to simulate realistic settlement behaviour under working stress levels for foundations. This fundamental problem in practice leads the published settlement prediction methods to generally overestimate the settlements, yielding conservative designs. The methods dealing with the nonlinearity are generally complicated and difficult to implement considering the time limitations in the practice. Therefore, a simple nonlinear settlement calculation methodology is proposed to help practising engineers increase the accuracy in their settlement assessments as well as bridging the gap between traditional methods and more complex nonlinear methods.

Keywords: shallow foundation, settlement, modulus of elasticity.

1. GİRİŞ

Kumlu zeminler için tasarlanan tekil, radye ve mütemadi temellerde tasarım genelde oturma hesabı sonuçlarına dayanır. Bunun ana nedeni kumlu zeminlerin, düşük yoğunluk indislerinde dahi, iyi zemin emninet gerilmesi sonuçları vermesidir. Statik durum düşünüldüğünde, kumlu zeminlerde oturma kısa vadede tamamlanır bu yüzden oturma yapılara etkisinin çok büyük bir bölümü neredeyse bina yapım aşamasında oluşur.

Kumlu zeminlerde arazi deneyleri ile dolaylı yöntemler kullanılarak tayin edilen mühendislik parametreleri dışında laboratuvarında örselenmemiş numuneler ile direk deneyler vasıtası ile mühendislik parametre tayini yapmak mümkün değildir. Bu yüzden, arazi deneylerinin çeşitliliği ve mühendislik parametrelerinin tayini için kullanılan dolaylı yöntemler, oturma hesapları ve tahminlerinin gerçek oturma miktarını temsiliyeti açısından çok büyük önem taşır.

Ancak mühendislik parametreleri her ne kadar hassasiyetle araştırılıp hesaplanırsa da arazi deneylerinin temel presibi ile temel oturma hesaplarının prensiplerinde bir uyumsuzluk vardır; arazi deneyleri zemin dayanımını ve sıklık modülünü yüksek sünme değerlerinde ölçer, halbuki temel tasarımı ve zemin içerisindeki gerilme ve sünme dağılımı düşünüldüğünde, yüksek sünmedeki sıklık modülü temel in sadece hemen altındaki katmanlardaki durumu temsil eder. Daha derinlerde ve yanal yönde temelden uzaklaşıldıkça, zemindeki sünme değeri azalır ve dolayısı ile sıklık modülü de farklı olur. Ayrıca tasarım prensiplerine göre de temel yükü hiçbir zaman zemin kayma dayanımına yaklaşmaz. Dolayısı ile temel in hemen altındaki katmanlarda dahi sünme, arazi deneyleri esnasında yapılan ölçümlerdeki sünmelerden çok daha küçüktür.

Ayrıntılı zemin modellemesi yapılarak sıklık modülünün sünmeye dayalı değişimi lineer olmayan bir eğri olarak bulunabilir ve temel yüklemesi sonucunda zeminde oluşacak gerilme ve sünme dağılımına göre de temel oturma hesabı daha hassas bir şekilde yapılabilir.

Bu makalede, kumlu zeminlerde temel oturma hesabının yukarıda bahsedilen prensipler göz önünde tutularak nasıl yapılabileceği konusunda bir uygulama ve bu uygulamanın

kullanıldığı bir proje olan ‘Mirdiff City Centre Mall’ projesi anlatılmaktadır. Ayrıca bu uygulamanın yapılması sırasında gerçekleştirilen arazi deneylerinden bahsedilerek, kullanılan mühendislik parametreleri ve hesaplanan oturmaya karşılık gelen temel yükleri sunulmaktadır.

2. KUMLU ZEMİNLERDE OTURMA HESABI

Kumlu zeminlerde temel oturma hesabı metodlarından Das ve Sivakugan (2007) ayrıntılı bir şekilde bahsetmişlerdir. Bu konuda yayınlanan metodlardan bazıları; Terzaghi ve Peck (1948), Schmertmann (1970), Schmertmann ve diğerleri (1978), Burland ve Burbridge (1985) ve Briaud (2007) olarak sıralanabilir. Bu metodlarda kullanılan mühendislik parametreleri, genelde elastikiyet teorisi, arazi deneyi ölçümleri ve arazide yapılan temel oturma gözlemleri ile kalibre edilmiştir. Kumlu zeminlerde uygulanan arazi deneyleri sıklıkla; Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) ve Plaka Yükleme Deneyini (PLT) içerir.

Oturma hesaplarının en önemli mühendislik parametresi sıklık modülü, E’dir. Sıklık modülü, üç eksenli yükleme deneyi düşünülürse, uygulanan düşey basınçtaki artış, $\Delta\sigma$, ile eksenel sünme, ϵ_a , eğrisinin eğimi hesaplanarak elde edilebilir. Özellikle kumlu zeminlerde, efektif basınç’a dayalı değişim göstereceğinden, E, derinliğe bağlı olarak hesaplanırsa oturma hesaplarında daha hassas bir sonucun elde edilmesine yardımcı olur.

Sıklık modülü çok küçük sünme değerlerinde (genelde 1×10^{-5}), en yüksek değerini alır ve sünme değeri arttıkça değer kaybeder. Bu değer kaybı lineer olmayan bir davranış gösterir ve çok yüksek sünme değerlerinde çok düşük seviyelere iner. Arazi deneylerinin uygulama prensipleri düşünüldüğünde yapılan tüm ölçümler, PLT deneyi hariç, her zaman çok yüksek sünme değerlerine denk gelmektedir. Temel tasarım prensipleri düşünüldüğünde, temel yükü hiçbir zaman bu denli yüksek sünme değerleri oluşacak şekilde tasarlanmaz, dolayısı ile hassas bir oturma hesabı gerçekleştirebilmek için E’nin sünme ile olan değişiminin elde edilmesi ve hesaplarda uygulanması gereklidir. Bu konuda yakın geçmişte yapılan araştırmalardan birinde Jardine ve diğerleri (1984), temel servis yüklerinde sünme değerlerinin düşük olacağını belirtmiştir. O’Brien ve Sharp (2001), konsolide killer (London Clay) için kullanılabilecek bu yönde bir hesaplama metodu geliştirmişlerdir. Ayrıca, Mayne ve diğerleri (1999), Lehane ve Fahey (2002) ve Loughlin ve Lehane (2010) bu konuda E’nin sünmeye dayalı mobilizasyonu konusunda çalışmalar yapmışlardır.

2.1. Kumlu zeminlerde sıklık modülü mobilizasyonu

Sıklık modülünün sünmeye dayalı mobilizasyonu konusunda Fahey ve Carter (1993), Lee ve diğerleri (2004), Pestana ve Salvati (2006) ve Wang ve O’Rourke (2007) çok değerli çalışmalar yapmışlardır. Lee ve diğerleri (2004), kayma modülü mobilizasyonunu çalışmış ve Duncan-Chang hiperbolik ilişkisini ve Mohr-Coulomb kayma dayanımı kriterini kullanarak aşağıdaki matematiksel modele ulaşmıştır;

$$\frac{G}{G_{\max}} = 1 - f \left(\frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)^g \quad [1]$$

Denklem [1]’de,

G ; kayma modülü, G_{max} ; çok düşük sünmelerdeki kayma modülü, τ ; herhangi bir sünme değerinde oluşan kayma gerilmesi, τ_{max} ; kayma dayanımı, f, g ; model katsayılarıdır.

Yukarıdaki denklem ile ilişkilendirmek üzere kayma sünmesine bağlı kayma gerilmesi değişimi ve kayma dayanımı, Duncan ve Chang'ın (1970) hiperbolic modeli ve Mohr-Coulomb göçme kriteri düşünülerek, aşağıdaki denklemler kullanılarak elde edilebilir;

$$\tau = \frac{\gamma}{\frac{1}{G_{max}} + \frac{\gamma Rf}{\tau_{max}}} \quad [2]$$

$$\tau_{max} = c' + \sigma' \tan(\phi') \quad [3]$$

Denklem [2] ve [3]'te,

γ ; kayma sünmesi, Rf ; hiperbolik model katsayısı, c' ; kohezyon, σ' ; efektif gerilme, ϕ' ; içsel sürtünme açısıdır.

Denklem [1], [2] ve [3] kullanılarak, kayma modülünün değişen sünmeye göre mobilizasyon eğrisi elde edilebilir. Bu eğri elde edilirken mutlaka kayma dayanımı parametreleri kullanılarak kayma gerilmesi mobilizasyonu kontrol edilir ve herhangi bir kayma modülü değerinde kayma dayanımının aşılmaması sağlanır.

2.2. Kumlu zeminlerde sıklık modülünün davranışını çalışmak için kullanılacak arazi deneyleri ve korolasyonlar

Sıklık modülüne erişebilmek için laboratuvarında 'bender element' veya 'resonant column' üç eksenli deneyleri yapılabilir, ancak kumlu zeminlerde bu deneyler örselenmiş numuneler üzerine yapılabileceğinden değişik yoğunluk indislerinde deneylerin tekrarlanması ve parametrelerdeki değişimin çalışılması gerekir. Bu pratikte çalışan mühendisler için bazı durumlarda zaman kaybına sebep olabilir, ancak sıklık modülünün de çalışılabilmesi için en güzel metottur.

Diğer bir yöntem de kayma modülü için arazide ölçümler ve deneyler yapıp daha sonra korolasyonlar ve elastik teori kullanılarak sıklık modülünün elde edilmesidir. Çok düşük sünmelerdeki kayma modülü basit kayma dalgası hızı deneyi ile ölçülebilir, buna göre;

$$G_{max} = \rho v^2 \quad [4]$$

Denklem [4]' de,

ρ ; yoğunluk, v^2 ; kayma dalgası hızıdır.

Kayma modülünün değişimi de bir diğer arazi deneyi olan 'Pressuremeter' (araştırma kuyusunda yanal basınç yükleme) veya 'Dilatometer' (araştırma kuyusunda yanal plaka basıncı yükleme) deneylerinden elde edilecek 'shear stress vs cavity strain' (kayma gerilmesine karşılık boşluk sünmesi eğrisi) verilerinden elde edilebilir.

Büyük boyutlu plaka deneylerinden (PLT) de düşey basınç ve eksenel sünme eğrileri elde edilip sünmeye bağlı sıklık modülü değişimi direkt olarak bulunabilir. Ancak PLT

deneyleri noktasal olmayıp altındaki katmanların da sıkıştırılabilirliğini ölçeceğinden daha çok genel davranışı incelemek için tercih edilebilir.

2.3. Sıklık modülü değişimi için parametrik çalışma

Daha önce referans verilen matematiksel modeller kullanılarak sıklık modülünün efektif basınca, kayma dayanımı parametrelerine ve sünmeye bağımlı olarak değişimi, Elastisite Teorisi de kullanılarak, aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

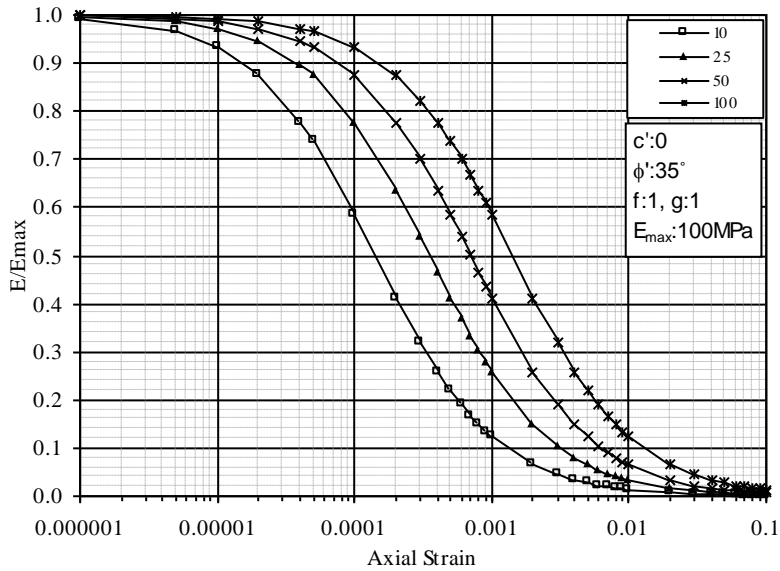
$$\frac{E}{E_{\max}} = 1 - f \left(\frac{1}{\frac{2\sigma'_m \tan \phi'}{\varepsilon_a E_{\max}} + Rf} \right)^g \quad [5]$$

Denklem [5]'te,

E; herhangi bir sünme değerindeki sıklık modülü, E_{\max} ; çok düşük sünme değerlerindeki sıklık modülü, σ'_m ; ortalama efektif gerilme, diye açıklanır. Ayrıca kayma sünmesi ve eksenel sünme, ε_a arasında da aşağıdaki gibi bir ilişki kurulabilir (ν ; Poisson oranı);

$$\varepsilon_a = \frac{\gamma}{(1 + \nu)} \quad [6]$$

Örnek olarak, Denlem [5] belirli bir parametre kümesi için uygulandığında Şekil 1'de gösterilen eğriler elde edilebilir;



Şekil 1. Efektif basınca bağımlı sıklık modülüne karşılık sünme eğrileri.

2.4. Derinliğe ve temel yükü dağılımına göre elastik metod ile oturma hesabı ve geliştirilen yöntemin gerçek veriler ile uygulanması

Parametre değişimi lineer olmayan bir metod ile değerlendirileceğinden hesaplama yöntemi olarak basit elastik yöntem kullanılabilir. Buna göre;

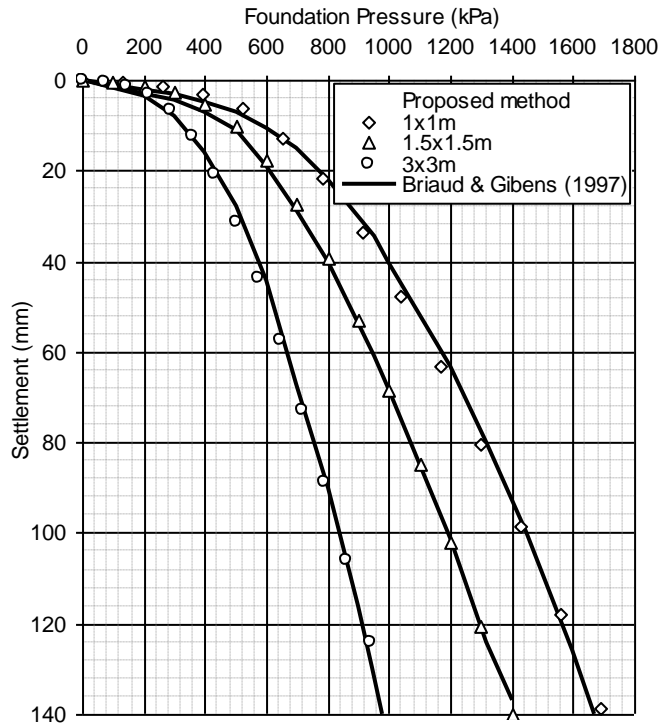
$$\Sigma \delta_i = \Sigma (\Delta t_i \Delta \sigma'_i / E_i)$$

[6]

Denklem [6]'da,

Temel'in altından başlayarak zeminin tabakalar olarak modellendiği, ve temel yükünün derinliğe göre değişiminin elde edildiği bir hesaplama yönteminde, $\Sigma \delta_i$; toplam zemin oturması, Δt_i ; tabaka kalınlığı, $\Delta \sigma'_i$; tabaka ortasının derinliğinde hesaplanan temel yükü transferi; E_i ; tabaka derinliğinde ve sünme değerine uygun olarak elde edilen sıkılık modülü (elde edilen eğrilerden iterasyon yapılarak).

Geliştirilen hesaplama yöntemi literatürde yayımlanan ayrıntılı veriler ışında uygulanarak geçerliliği kontrol edilmiştir. Bu konuda Briaud ve Gibbens (1997)'in tam ölçekli temel yükleme deneylerinin sonuçları kullanılarak arazi ölçümleri matematiksel hesapla modellemeye çalışılmıştır, Şekil 2'de karşılaştırılmalı sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 2. Temel basıncı oturma eğrileri, karşılaştırmalı tam ölçekli deney verileri (Briaud ve Gibbens, 1997) ve matematiksel model sonuçları.

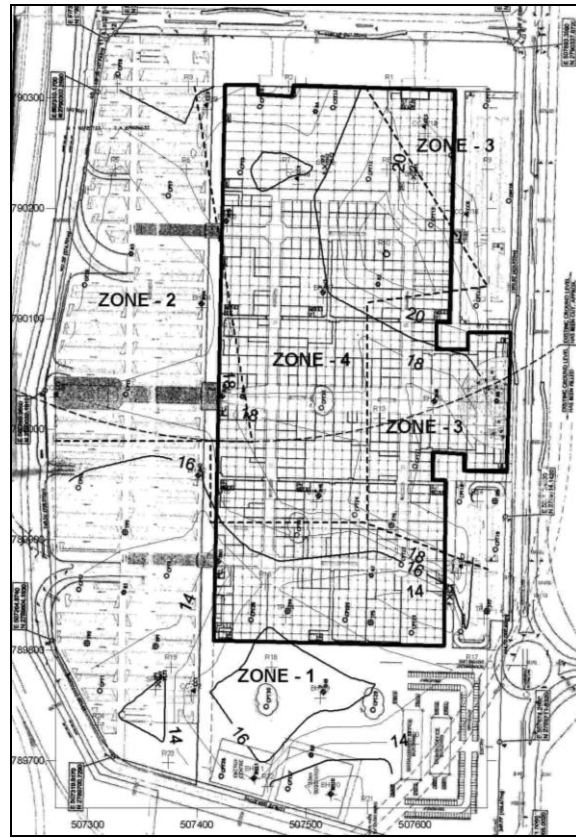
3.PROJE; MIRDIF CITY CENTRE, ALIŞ VERİŞ MERKEZİ VE EĞLENCE MERKEZİ

Mirdiff şehir merkezi projesi Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri ülkesinde 2007 yılında gerçekleştirilen alışveriş merkezi ve eğlence merkezi inşaatı projesidir. Tasarlanan ana yapı genelde yüksek tavanlı, ve yüksek pencereci açıklıkları olan oturmaya hassas betonarme karkas sistem üzerine inşa edilmiş seri halinde yerleşik binalardır.

Bu projenin gerçekleştiği arazinin jeolojik yapısı değişken sıkılıkta genelde sert çöl rüzgarlarının şekillendirdiği komplike kumulların oluşturduğu bir karaktere sahiptir. Bu proje gerçekleşmeden önce bu civarda inşaa edilen otobanlar sebebi ile arazi çeşitli kazı ve dolgu işlemlerine maruz kalmış genelde gevşek sıkılıkta siltli ince kum içermektedir.

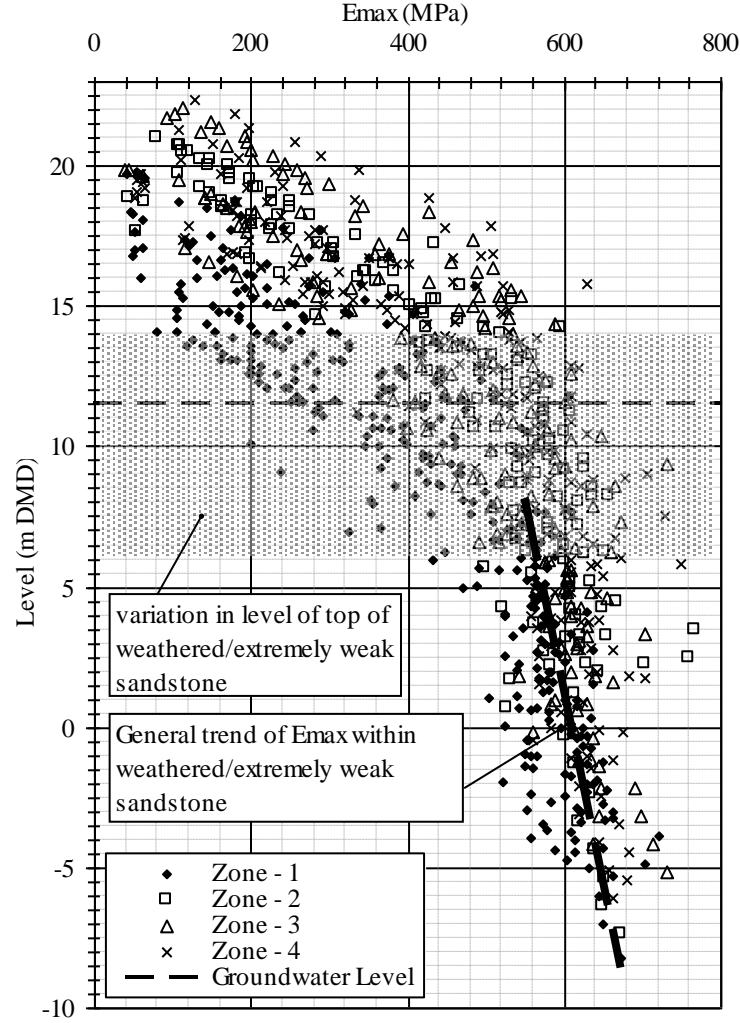
Kayaç tabakaları tasarlanan yapının etkisi düşünülduğünde oldukça derindedir ve bu oluşumlar genel tabirle Kalsit, Silttaşı ve Kumtaşı (Miliolite Sandstone) oluşumlarından meydana gelmektedir. Bu oluşum ayrıca önemsenecek miktarda kalsiyum karbonat (ince kum taneciklerine dönüşmüş kabuk parçacıkları halinde, yaklaşık 30% - 35% oranında) içermektedir.

Kazılan 24 rotary araştırma deliklerinden elde edilen bilgiye göre kayaç seviyesi oldukça değişken olmakla birlikte, derin ve düzensiz kalınlıkta ve sıklıkta aynı araziden elde edildiği düşünülen dolgu tabakaları gözlemlenmiştir. Arazinin genel profili derinliğe göre sırası ile değişen kalınlıklarda; 1- gevşek – orta sıklıkta siltli ince kum dolgu (SPT= 8 – 25), 2- orta – sert sıklıkta ince kum ve yer yer kumtaşı bandları (SPT= 25 – 50), ve 3- kayaç tabakası olarak çok düşük, zayıf dayanımlı, kumtaşı (SPT>50) olarak gözlemlenmiştir. Arazi bu tabakaların kalınlıklarına ve plan olarak dağılımına göre Şekil-3'teki gibi bölümlere ayrılmıştır.



Şekil 3. Arazinin zemin profiline göre plan olarak modellenmesi.

Tüm arazide gerçekleştirilen zemin etüdü sonuçları kullanılarak elde edilmiş sıklık modülünün derinliğe göre değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



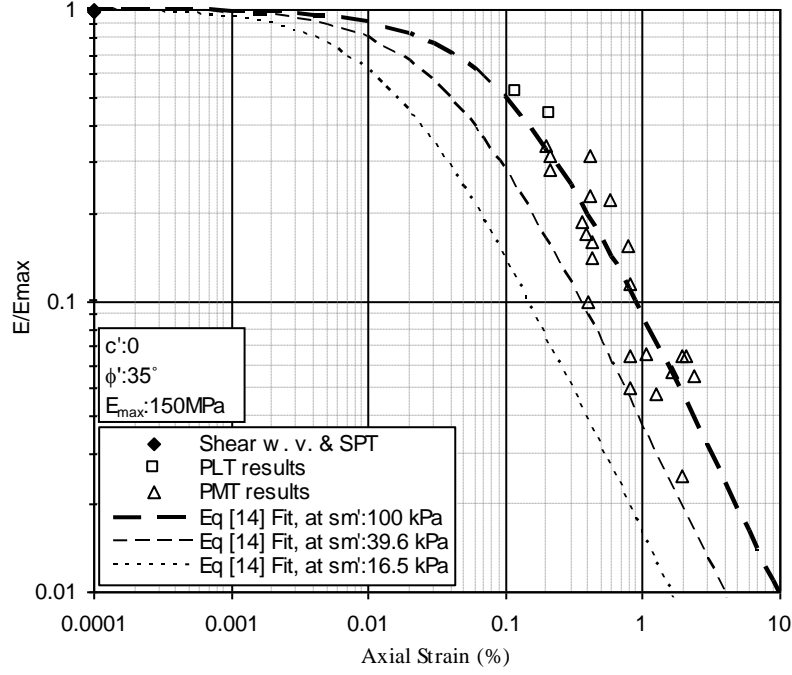
Şekil 4. Zemin etüdü sonuçları; derinliğe göre sıkılık modülü.

Sıkılık modülünün aksenel sünme değişimine göre mobilizasyonu Şekil 5'te gösterilmiştir. İndeks yoğunluk deneyleri sonucunda doğal siltli ince kum tabakalarının en yüksek boşluk oranı 0.788 ve en düşük boşluk oranı da 0.598 olarak ölçülmüştür. Tüm zemin profili toprak katmanlarının rölatif yoğunluğunun da genelde 30% - 60% aralığında değiştiği hesaplanmıştır.

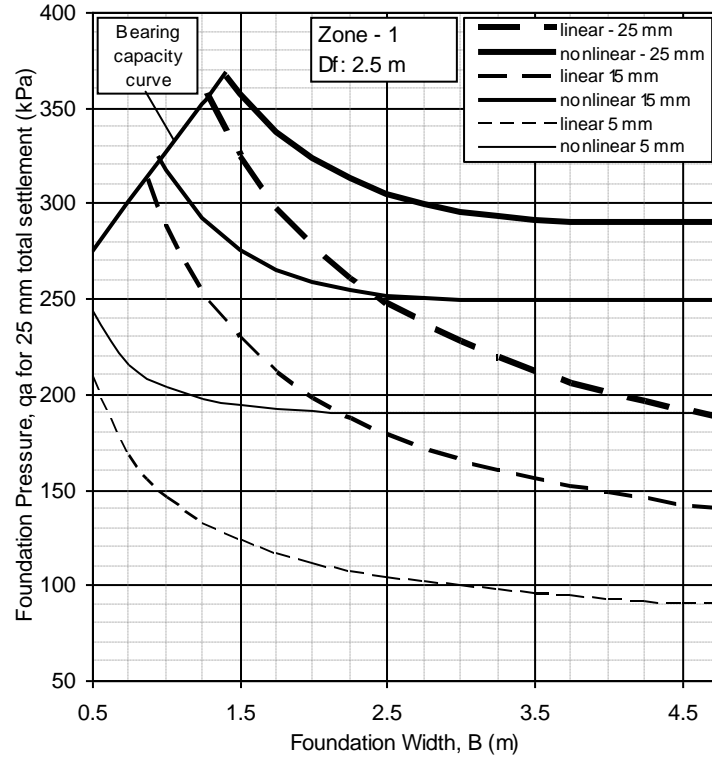
Araştırma kuyusunda yanal basınç yüklemesi deneyleri sonucunda, yanal gerilme katsayısının yaklaşık olarak 1.0 olduğu tespit edilmiştir.

Oturma hesapları sonucunda sığ temel seçeneğinin daha ekonomik olabileceği elde edilmiş ve bu doğrultuda değişen temel boyutlarına ve zemin profili modeline göre temel tasarım eğrileri çizilmiştir. Buna örnek olarak da Şekil 6'daki sonuçlar gösterilmiştir.

Normal hesaplama yöntemi ile gerçekleştirilen hesapların sonuçları da Şekil 6'da gösterilerek bir karşılaştırma yapılmıştır. Buna göre önerilen doğrusal olmayan hesaplama yöntemi ile özellikle düşük kolon yükü taşıyan temellerde neredeyse yarıya düşen bir oturma değeri gözlemlenebilmektedir. Kolon yükü yükseldikçe, artan oturmaya karşılık doğrusal ve doğrusal olmaya hesaplamalar arasında elde edilen fark gittikçe düşmektedir.



Şekil 5. Zemin etüdü sonuçları; sıklık modülü mobilizasyonu.



Şekil 6. Örnek oturma hesabı sonuçları.

3.SONUÇLAR

Sığ temel tasarımında uygulanmak üzere kumlu zeminler için kullanılabilir doğrusal olmayan ve sıklık modülünün sünmeye bağımlı değişimini göz önünde bulunduran bir

hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ayrıca sıklık modülünün derinliğe bağımlı ortalama efektif gerilmeye karşılık değişimini de dikkate almaktadır.

Geliştirilen yöntem tam ölçekli temel deneyi sonuçlarına göre kontrol edilmiş ve kabul edilebilir ölçüde bir hassasiyet elde edilmiştir. Ayrıca yöntem, bir projede tasarım metodu olarak kullanılmıştır. Bu projede doğrusal olmayan temel oturma metodu ile tasarım eğrileri oluşturulmuştur. Bu tasarım eğrileri, değişik temel boyutlarına göre hem temel oturmasını hem de zemin emniyet gerilmesini göz önünde bulundurmıştır. Böylelikle, tüm projede temel tasarımı için uygulanabilecek pratik bir hesaplama aracı geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

Kaynak bir makale ise;

- [1] Das, B.M. and Sivakugan, N., “Settlements of shallow foundations on granular soils - an overview”, International Journal of Geotechnical Engineering, Vol 1(1), pp. 19-29, 2007.
- [2] Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948), “Soil Mechanics in Engineering Practice”, Wiley, New York.
- [3] Schmertmann, J.H., “Static cone to compute static settlement over sand”, ASCE Journal of Soil Mechanics & Foundations Division, Vol 96 (3), pp. 1011-1043, 1970.
- [4] Schmertmann, J.H., Hartmann, J.P. and Brown, P.R., “Improved strain influence factor diagrams”, ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol 104 (GT8), pp. 1131-1135, 1978.
- [5] Burland, J.B., and Burbidge, M.C., “Settlement of foundations on sand and gravel”, Proceedings Institution of Civil Engineers, Vol 78(1), pp. 1325-1381, 1985.
- [6] Briaud J. L., “Spread Footings in Sand: Load Settlement Curve Approach”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 133(8), pp. 905-920, 2007.
- [7] Jardine, R.J., Symes, M.J, and Burland, J.B., “The measurement of soil stiffness in triaxial apparatus”, Geotechnique, Vol 34(3), pp. 323-340, 1984.
- [8] O’Brien, A.S., Sharp, P., “Settlement and heave of over consolidated clays – a simplified non-linear method of calculation Part 1”, Ground Engineering, pp. 28-32, 2001a.
- [9] O’Brien, A.S., Sharp, P., “Settlement and heave of over consolidated clays – a simplified non-linear method of calculation Part 2”, Ground Engineering, 48-53, 2001b.
- [10] Mayne, P. W., Schneider, J. A., Martin, G. K., “Small- and large-strain soil properties from seismic flat dilatometer tests”, Proceedings of a Conference on the Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials (Jamilowski, Lancellotta and Lo Presti (eds)). Balkema, Rotterdam, pp. 419-426, 1999.
- [11] Lehane B.M., Fahey M.F., “Investigating a simple settlement prediction method for foundations on sand”, Canadian Geotechnical J., Vol 39(2), pp. 293-303, 2002.
- [12] O’Loughlin, C. D., Lehane, B. M., “Non-linear cone penetration test-based method for predicting footing settlements on sand”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 136(3), pp. 409-416, 2010.
- [13] Fahey, M. and Carter, J., “A finite element study of the pressuremeter using a nonlinear elastic plastic model”, Canadian Geotechnical Journal, Vol 30(2), pp. 348-362, 1993.

- [14] Lee, J., Salgado, R., Carraro, J.A.H., “Stiffness degradation and shear strength of silty sands”, Canadian Geotechnical Journal, Vol 41(5), pp. 831-843, 2004.
- [15] Pestana, J. M., L. A. Salvati, “Small Strain Behavior of Granular Soils: I. Model for Cemented and Uncemented Sands and Gravels”, J. Geotech. Geoenviron. Eng., Vol 132(8), pp. 1071-1081, 2006.
- [16] Wang, Y., O’Rourke, T.D., “Interpretation of Secant Shear Modulus Degradation Characteristics from Pressuremeter Tests”, J. Geotech. Geoenviron. Eng., Vol 133(12), pp. 1556-1566, 2007.
- [17] Briaud, J. L., Gibbens. R.,(1997), “Large scale load tests and data base of spread footings on sand”, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Report FHWA-RD-97-068.

Yaptığınız çalışmanın hangi başlık altında yer aldığını lütfen aşağıda belirtiniz.

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

1. Zemin Özellikleri ve Zemin Davranışı
2. Temel Mühendisliği
3. Zemin İyileştirmesi
4. Derin Kazı ve İksa Yöntemleri
5. Geoteknik Deprem Mühendisliği
6. Şevler, Heyelanlar ve Çevre Geotekniği
7. Yapı - Zemin Etkileşimi