

KUM ZEMİNE OTURAN KARE TEMEL ALTINDA OLUŞAN YANAL GERİLMELERİN DENEYSSEL VE TEORİK İNCELEMESİ

Hüseyin Suha AKSOY¹ (ORCID: 0000-0003-0564-457X)*

Damla KÜÇÜKAY² (ORCID: 0000-0003-2021-1318)

Mesut GÖR¹ (ORCID: 0000-0002-5463-9278)

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye

Geliş / Received: 16.08.2018
Kabul / Accepted: 13.02.2019

ÖZ

Bu çalışmada, farklı rölatif sıklıklarda hazırlanmış kum zemine oturan kare kesitli bir temel modellenmiştir. Model temelin düşey yüklenmesi sonucu oluşan yanıl gerilmeler deney tankının cidarına yerleştirilen basınçölçerler (transduser) yardımıyla belirlenmiştir. Deneyler 75x75x100cm boyutlarındaki kare kesitli bir kum tankı içerisinde gerçekleştirilmiştir. %10, %40, %65 ve %90 rölatif sıklıkta hazırlanan kum zemin üzerine yerleştirilen 15x15cm boyutlarındaki kare temel ile yüklemeler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, tank cidarındaki basınç gerilmeleri başlangıçta temele yakın olan ilk 20cm'de artış göstermiş, sonraki derinliklerde giderek azalmış ve 50 cm derinlikte minimum değere ulaştığı görülmüştür. Deneysel olarak ölçülen zemin kütlesi içerisinde oluşan yanıl gerilmeler, Boussinesq teorisinden hareketle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise geometrik parametreler ve rölatif sıklık gibi değişkenler yardımıyla zemin kütlesinde oluşacak gerilmelerin tahmini için kullanılabilecek bir bağıntı önerilmiştir. Yapılan regresyon analizi neticesinde, model deneyin yapıldığı ortama bağılı olan geometrik parametreler ile yanıl gerilmeler arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Model deneyleri, kare temel, rölatif sıklık, yanıl gerilme, regresyon analizi

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL ANALYSIS OF LATERAL PRESSURES UNDER SQUARE FOUNDATION RESTING ON SAND

ABSTRACT

In this study, a square foundation sitting on sandy soils are modelled. The lateral stresses resulting from the vertical loadings of the model foundation were measured with pressure transducers placed on the wall of the test tank. Experiments are carried out in a square sand tank with dimensions of 75x75x100cm in the laboratory. Sand which have 10%, 40%, 65% and 90% relative densities were prepared and a square foundation of 15x15cm placed on it. The stresses which occurred on sand tank walls initially increased in the first 20 cm, which was close to the base of the foundation, gradually decreased in the subsequent depths and reached the minimum value in 50 cm.

In the second part of the study, a correlation is proposed which can be used for estimation of stresses in the ground mass with the help of variables such as geometric parameters and relative densities. As a result of the regression analysis, the relationship between the lateral stresses and the geometric parameters depending on the environment of the model experiment was established.

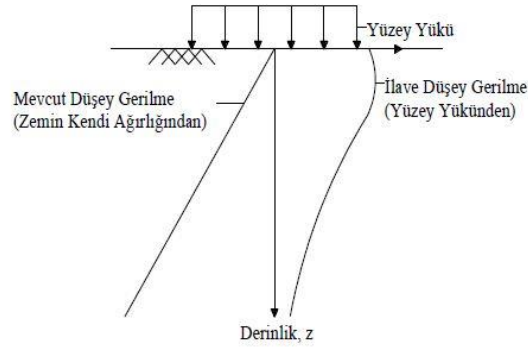
Keywords: Model experiments, square foundation, relative density, lateral stress, regression analysis

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 424 237 0000; e-mail / e-mail: saksoy@firat.edu.tr

1. GİRİŞ

Yapı yükleri ve temellerin kendi ağırlıkları, temeller vasıtasıyla taşıyıcı zemin tabakasına aktarılır. Aktarılan yüklerden dolayı zemin kütlesi içerisinde gerilme artışları oluşur. Yapı yüklerinin zemin içerisinde oluşturduğu bu gerilmeler, sabit olmayıp derinlik boyunca değişim göstermektedir. Zemin ortamında düşey yüklerle birlikte diğer doğrultularda da gerilmeler oluşur. Yapıların zeminde oluşturduğu düşey gerilme artışıyla birlikte zeminde meydana gelen yanal gerilme değerlerinin de bilinmesi büyük önem taşımaktadır.

Yanal toprak basınçları birçok temel mühendisliği problemlerinde önemli bir tasarım parametresidir. İstinat duvarları ve palplanş perdelerde, kazı kaplamalarında, danelerin saklandığı depo ve silolarda, toprak veya kaya ile temas eden tünel duvarlarında ve diğer yeraltı yapılarının tasarım ve stabilite analizinde yanal basınç değerleri kullanılarak tasarımlar yapılmaktadır [1]. Şekil 1.' de zemin yüzeylerine etkiyen yükler ve zemin kütlesindeki basınç dağılımları görülmektedir [2].



Şekil 1. Zeminde mevcut düşey gerilme ve düşey gerilme artışı dağılımları [2]

Zeminlerde oluşan bu gerilmeler, geoteknik mühendisliğindeki birçok problemin çözüm aşamasında ve projelerin tasarımında oldukça önemlidir. İnşa edilecek yapının güvenliği için taşıyıcı görevi üstlenen zemin tabakasında göçmeler ve aşırı oturmaların meydana gelmemesi gerekmektedir.

Zeminin karmaşık yapısından dolayı zemin içerisinde gerçek bir şekilde gerilme-deformasyon ölçümü yapmak oldukça zordur [2]. Gerilme artışları bazı kabuller yaparak çözümlenmeye çalışılmıştır. Bu sebeple genellikle yaklaşık bir çözüm sunan elastisite teorisinden faydalanılır [3]. Bu teori kullanılırken zemin elastik, homojen, izotrop ve yarı sonsuz olarak kabul edilmektedir. Bu kabuller yaklaşık olmakla birlikte mühendislik analizlerinde makul sonuçlar vermektedir.

Elastisite teorisi ile yapılan hesaplamalarda, zemin cinsi ve sıklık gibi parametreler dikkate alınmaz ve her cins zemin için aynı gerilme dağılımları elde edilir [4]. Bununla birlikte yapılan deneysel çalışmalarda, granüler zeminde düşey gerilme değerlerinin, sıklığa bağlı olarak önemli ölçüde farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir [5]. Gerilme değerlerinin daha gerçekçi şekilde belirlenebilmesi için laboratuvar ortamında model deney teknikleri geliştirilmiştir. Bu deneysel çalışmalardan önce elastisite teorisinden faydalanarak çok sayıda teorik çalışma yapılmıştır. Elastisite teorisinden yararlanılarak elde edilen bu çözümlerden en çok kullanılanı Boussinesq [3] tarafından elde edilen çözümdür. Bu çözüme göre, temel üzerine etkiyen gerilme tesiri için, Boussinesq formülünde düşey gerilme Eşitlik 1.1'de verilmiştir. Bu eşitlikte, $\Delta\sigma_z$; düşey gerilme artışı (kN/m^2) q_0 ; birim yük miktarı (kN/m^2), I ise etki faktörünü göstermektedir.

$$\Delta\sigma_z = q_0 \cdot I \quad (1)$$

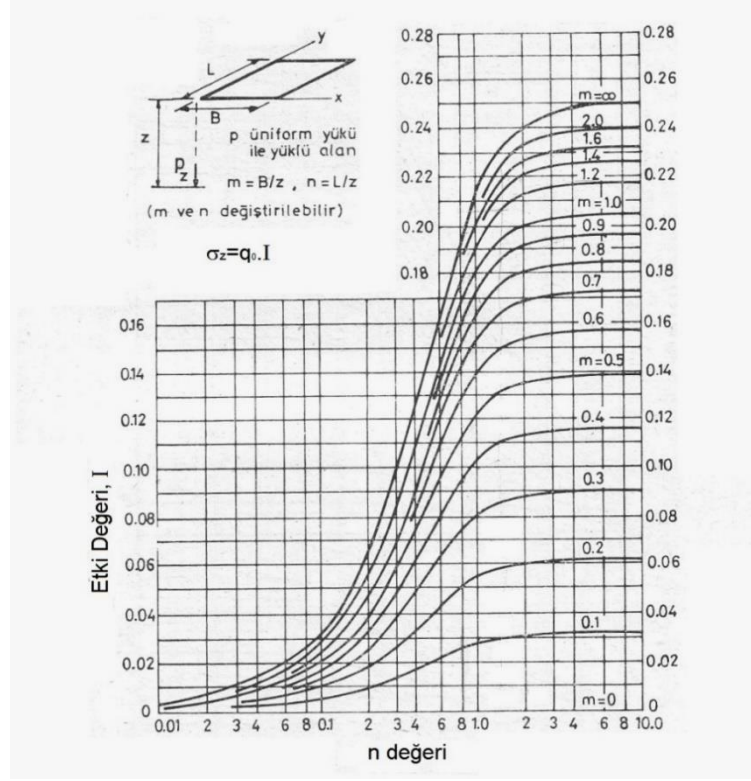
İstenilen derinlikteki düşey basıncı elde etmek için, Şekil 2'de verilmiş olan m ve n değerleri hesaplanır ve yine aynı şekilde abaktan I (etki değeri) değeri okunur. Son olarak Eşitlik 1.1 kullanılarak üniform şekilde yüklenmiş dikdörtgen alanın köşesi altındaki düşey gerilme elde edilir [6].

Morgan ve Gerard'a göre granüler zeminlerde model temeller kullanılarak düşey gerilme ölçümü yapılmış çalışmalar özetlenmiş ve sonuçların elastisite teorisi kullanılarak elde edilen çözümlerle uyum içinde olduğunu belirlenmiştir [7]. Burland vd. non-lineerlik, non-homojenlik ve anizotropi etkilerini birçok zemin durumunu göz önüne alarak incelemiş ve Boussinesq denklemlerinin, yüklü alanlar altındaki gerilme dağılımını kabul edilebilir doğrulukta verdiğini belirtmiştir [8].

Yapılan bu çalışma kapsamında, farklı rölatif sıklıklarda hazırlanmış zeminlere oturan kare kesitli model temelin yüklenmesi neticesinde zemin kütlesinde oluşan yanal gerilmeler ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar Boussinesq yöntemiyle hesaplanan gerilmeler ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında ise deney

KUM ZEMİNE OTURAN KARE TEMEL ALTINDA OLUŞAN YANAL GERİLMELERİN DENEYSEL VE TEORİK İNCELEMESİ

sonuçlarından, açı ve mesafe gibi geometrik değişkenler ve zeminin rölatif sıklık değerleri yardımıyla zemin kütlelerinde oluşacak gerilmelerin tahmini için kullanılabilir bir bağıntı önerilmiştir.



Şekil 2. Üniform yüklenmiş dikdörtgen alanın köşesi altındaki düşey gerilme için etki değeri [6]

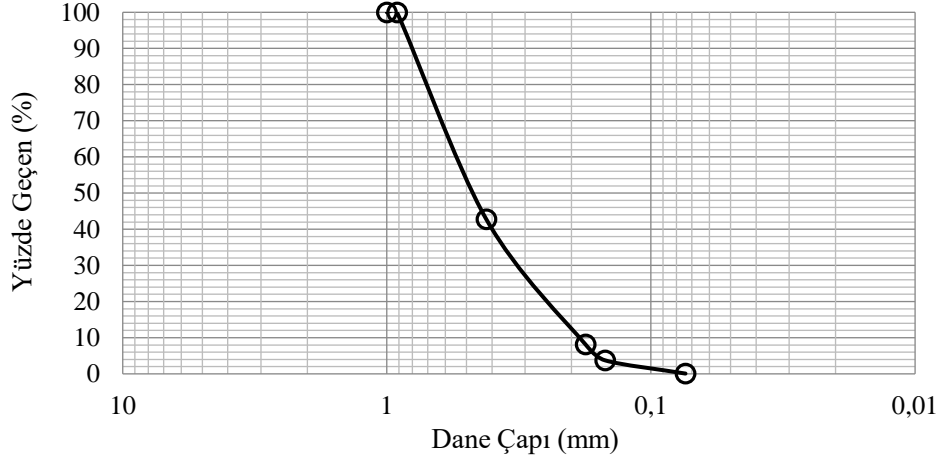
2. MATERYAL VE METOT

Laboratuvarda yapılan model deneylerinde kullanılmak üzere dere kumu temin edilmiş ve yıkanıp elenerek uygun granülometride hazırlanmıştır. Hazırlanan kumun toplam hacmi $2m^3$ tür. Deneyler, İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'nda bulunan $75 \times 75 \times 100$ cm boyutlarındaki kare kesitli bir kum tankı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney kasasının iskeleti çelik profillerden olup ön ve arka yüzeyi 8mm kalınlığındaki cam, malzemenin yapılmıştır. %10, %40, %65 ve %90 rölatif sıklıklarda hazırlanan kum zemin üzerine yerleştirilen 15×15 cm boyutlarındaki kare temel üzerine yüklemeler yapılmıştır. Zemin kütleleri içerisindeki gerilme değişimleri mini basınçölçerler (pressure transducer) yardımıyla ölçülmüştür. Deney sonuçları Testbox 1001 marka dijital datalogger kullanılarak bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.

2.1. Deneylerde Kullanılan Zemin Özellikleri

Laboratuvar deneylerinde, Elazığ ilinden temin edilen dere kumu kullanılmıştır. Dere kumu malzemesinin rengi siyah tonda olup bazalt kökenlidir. Bu zemin, birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre SP (kötü derecelendirilmiş kum) sınıfındadır. Deneylerde kullanılan kumun granülometri eğrisi Şekil 3'te görülmektedir.

Deneylerde kullanılan zemin üzerinde, ASTM C127-15, ASTM D854-14 ve ASTM D422- 63(2007)e2 standartlarına uygun şekilde yapılan deneyler sonucunda bu zeminin indeks özellikleri elde edilmiştir ve Tablo 1.'de gösterilmiştir [9-10-11]. Yukarıda verilen rölatif sıklıkta hazırlanmış kum numuneler üzerinde ASTM D3080 / D3080M-11 standardına uygun olarak kesme kutusu deneyleri yapılmıştır [12]. Kesme kutusu deneyleri sonucunda her bir sıklıktaki numuneler için içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri belirlenmiştir. Bulunan içsel sürtünme açısı değerleri yardımıyla sükunetteki toprak basıncı katsayısı ($K_0 = 1 - \sin \phi$) değerleri hesaplanmıştır. İçsel sürtünme açısı ve K_0 değerleri Tablo 2.'de verilmiştir.



Şekil 3. Deneysel kum zeminin granülometri eğrisi

Tablo 1. Deneysel kum zeminin indeks özellikleri

Dane birim hacim ağırlığı, G_s	2,77
D_{10} (mm)	0,18
D_{50} (mm)	0,45
Maksimum - Minimum Dane Boyutu, $D_{maks}-D_{min}$ (mm)	1-0,074
Maksimum Kuru Birim Hac. Ağ.(kN/m^3)	17,5
Minimum Kuru Birim Hac. Ağ.(kN/m^3)	14,3
Maksimum Boşluk Oranı, e_{maks}	0,903
Minimum Boşluk Oranı, e_{min}	0,553

Tablo 2. Farklı sıklıklardaki kum zeminlerin içsel sürtünme açıları ve K_0 değerleri

Rölatif Sıklık (D_r)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı
%10	42,8	0,32
%40	45,4	0,29
%65	49,4	0,24
%90	51,7	0,22

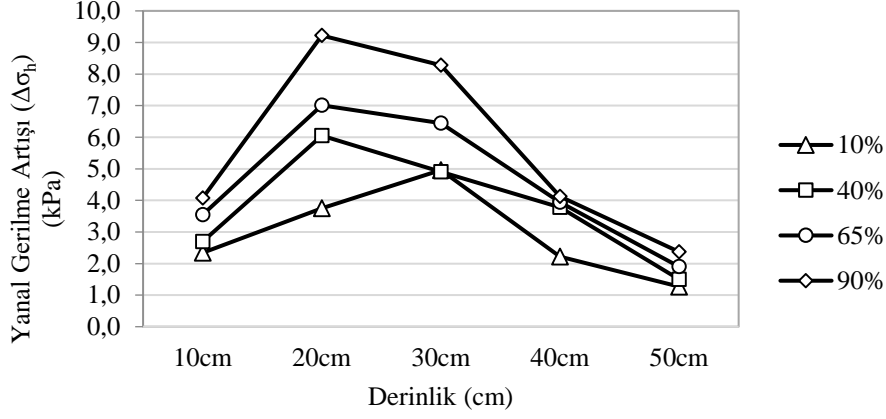
2.2. Deney Sisteminin Özellikleri

Model deneylerinde, 15x15cm boyutlarındaki radye plak, planda 75x75cm boyutlarında olan ve derinliği 100cm olan kum tankı 90cm'ye kadar farklı sıklıkta doldurularak yüklenerek gerilme deformasyon ilişkisi belirlenmiştir (Şekil 4.) Ayrıca kum tankının cidarında farklı derinliklere yerleştirilmiş 6mm çaplı basınçölçerler vasıtasıyla yanal gerilme değerleri ölçülmüştür.

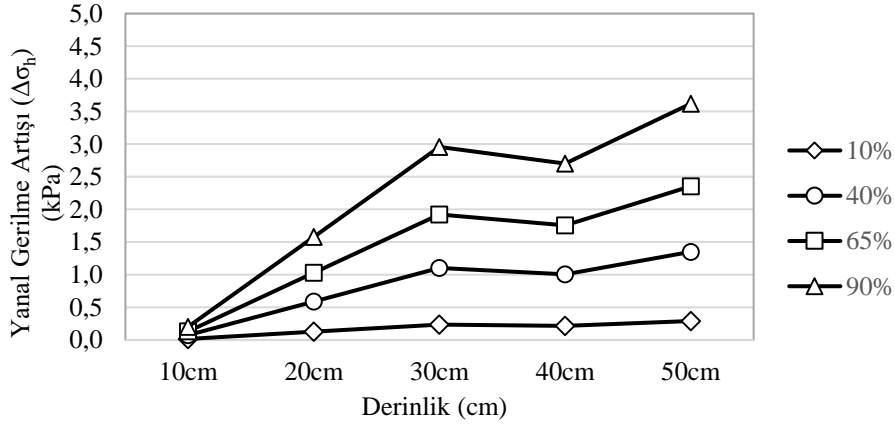
Kum zemini deney tankı içerisine tabakalar halinde dört farklı sıklıkta yerleştirilmiştir. Bu amaçla her 10 cm de bir kum tabakası, elektrikle çalışan 12 joule 'lük el kompaktörü ile sıkıştırılmıştır. Farklı zemin sıklıkları elde etmek için yağmurlama ve el kompaktörü kullanılmıştır. D_r =%10 için sadece yağmurlama, D_r =%40, D_r =%65 ve D_r =%90 için yağmurlamaya ilaveten zemin yüzeyine sırası ile 1, 3 ve 15 saniye el kompaktörü uygulanmıştır. Kum zemin, 10cm'lik tabakalar halinde sıklık derecesi, D_r =%10 ve kuru birim hacim ağırlığı $\gamma_k= 14,9 kN/m^3$, D_r =%40 ve kuru birim hacim ağırlığı $\gamma_k=15,7 kN/m^3$, D_r =%65 ve kuru birim hacim ağırlığı $\gamma_k= 16,5 kN/m^3$, D_r =%90 ve kuru birim hacim ağırlığı $\gamma_k= 17,4 kN/m^3$ olacak şekilde yerleştirildikten sonra temel bu yüzeyler üzerine yerleştirilip yük- deformasyon ilişkisi belirlenmiştir. Basınçölçerler (transduser) tank cidarına Şekil 4'te

Tablo 3. Model temelin taşıma gücü değerleri

Rölatif Sıklık (D_r)	Maks. Yük (kN)	q_{smr} (kN/m ²)
%10	1,44	64,00
%40	7,43	330,22
%65	15,49	688,44
%90	26,60	1182,22



Şekil 6. Deneysel yanıl gerilme- derinlik ilişkisi



Şekil 7. Teorik (Boussinesq) yanıl gerilme- derinlik ilişkisi

Tablo 4. Deneysel veriler ile teorik verilerin oranları

Derinlik	Deneysel / Teorik ($\Delta\sigma_h$ deneysel / $\Delta\sigma_h$ teorik)			
	%10	%40	%65	%90
10 cm	142,7	35,4	26,8	20,0
20cm	29,5	10,3	6,8	5,8
30cm	20,9	4,4	3,4	2,8
40cm	10,2	3,8	2,2	1,5
50cm	4,4	1,1	0,8	0,7

KUM ZEMİNE OTURAN KARE TEMEL ALTINDA OLUŞAN YANAL GERİLMELERİN DENEYSEL VE TEORİK İNCELEMESİ

Üniform yüklenmiş dikdörtgen alanın köşesi altındaki düşey gerilme değerleri için model deney sistemi geometrisi kullanılarak Boussinesq yöntemine göre düşey gerilme hesabı yapılmıştır. Dört farklı sıklık için kesme deneyleri ile hesaplanan içsel sürtünme açılarına bağlı K_0 değerleri kullanılarak, deneylerden elde edilen düşey gerilmeler yardımıyla yanal gerilme artışları hesaplanmıştır.

3.2. İstatistiksel Analiz

Laboratuvar çalışmalarından elde edilen; yanal gerilme artışları ($\Delta\sigma_h$), rölatif sıklık (D_r), temel orta noktasıyla basınç trasduserini birleştiren doğrunun yatayla yaptığı açı (α) ve basınç trasduserinin yüzeyden itibaren derinliği (z) Tablo 5’de özetlenmiştir. Numunelere ait tanımsal istatistik parametreler Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 5. Model deneylere ait deneysel sonuçlar

Deney No	$\Delta\sigma_h$ (kPa)	α (°)	z (cm)	z/B	D_r (%)
PT-10-1	0,036563	14,93	10	0,67	10
PT-10-2	0,058594	28,07	20	1,33	10
PT-10-3	0,077500	38,66	30	2,00	10
PT-10-4	0,034688	46,85	40	2,67	10
PT-10-5	0,019844	53,13	50	3,33	10
PT-40-1	0,008146	14,93	10	0,67	40
PT-40-2	0,018321	28,07	20	1,33	40
PT-40-3	0,014839	38,66	30	2,00	40
PT-40-4	0,011447	46,85	40	2,67	40
PT-40-5	0,004542	53,13	50	3,33	40
PT-65-1	0,005157	14,93	10	0,67	65
PT-65-2	0,010182	28,07	20	1,33	65
PT-65-3	0,009369	38,66	30	2,00	65
PT-65-4	0,005723	46,85	40	2,67	65
PT-65-5	0,002760	53,13	50	3,33	65
PT-90-1	0,003443	14,93	10	0,67	90
PT-90-2	0,007799	28,07	20	1,33	90
PT-90-3	0,007004	38,66	30	2,00	90
PT-90-4	0,003485	46,85	40	2,67	90
PT-90-5	0,002005	53,13	50	3,33	90

Tablo 6. Numunelerin tanımsal istatistik parametreleri

	$\Delta\sigma$ (kPa)	α (°)	z/B	D_r (%)
Ortalama	0,01707	36,328	2	0,5125
Minimum	0,002005	14,93	0,67	0,1
Maksimum	0,0775	53,13	3,33	0,9
Stn. Sapma	0,020151	13,95125	0,97	0,3043
Çarpıklık	2,037849	-0,38246	-1,5E-15	-0,11236
Basıklık	3,821821	-1,20304	-1,32	-1,348

H.S.AKSOY, D. KÜÇÜKAY, M. GÖR

İstatistiksel analizde, rölatif sıklık (D_r), temel orta noktasıyla basınç trasduserini birleştiren doğrunun yatayla yaptığı açı (α) ve basınç trasduserinin yüzeyden itibaren derinliği (z) parametreleri kullanılarak tank cidarındaki yanıl gerilme artışlarının ($\Delta\sigma_h$) belirlenebilmesi için regresyon analizi yapılmıştır. Ancak bu şekilde yapılan analiz sonucunda basınç trasduserinin yüzeyden itibaren derinliği (z) parametresinin, tahmin sonuçlarını olumsuz yönde etkilediği görüldüğünden bu parametrenin temel genişliğine (B) bölünmesi ile elde edilen (z/B) parametresinin kullanılmasının daha uygun olacağı anlaşılmıştır.

Yapılan regresyon analizlerinde polinom fonksiyonlar denenmiş ancak elde edilen en iyi determinasyon katsayısı $R^2 = 0,84$ olmuştur. Elde edilen determinasyon katsayısının düşük olması nedeniyle pek çok üstel fonksiyon denenmiş sonuçta determinasyon katsayısı $R^2 = 0,99$ olarak elde edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizlere ait sonuçlar Tablo 7.'de verilmiştir. Deneylerden elde edilen ve tahmin edilen verilerin karşılaştırılması Şekil 8'de görülmektedir. (2) eşitliğinde kullanılacak değişkenlere ait katsayılar Tablo 8.'de görülmektedir.

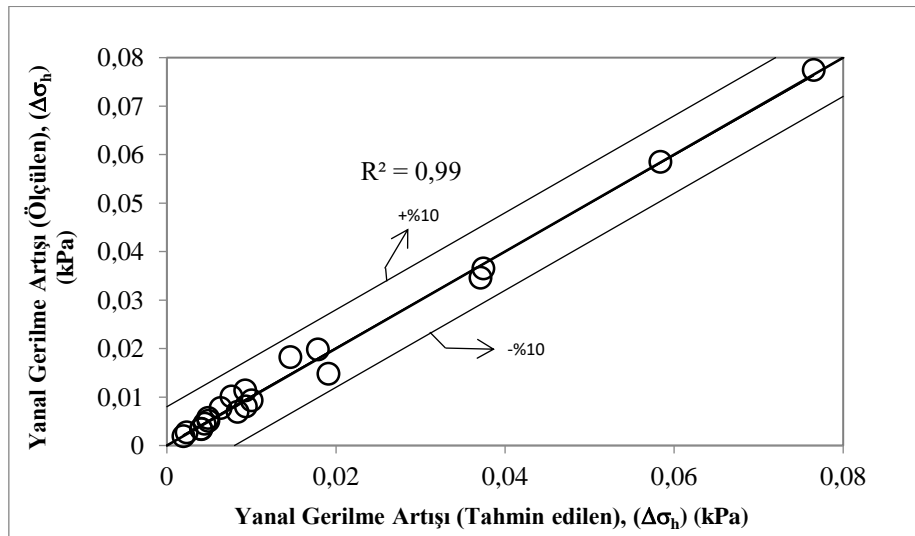
Tablo 7. Yapılan istatistiksel analizlerin toplu sonuçları

	Model
α	0,1949
z/B	1,2068
D_r	-6,4752
Sabit	-3,1168
R^2	0,992
Tahminin Ortalama Hatası	0,1242

$$\Delta\sigma = e^{(A.\tan(\alpha)+B.\left(\frac{z}{B}\right)+C.\left(\frac{z}{B}\right)^2+E.D_r+F.D_r^2+G)} \quad (2)$$

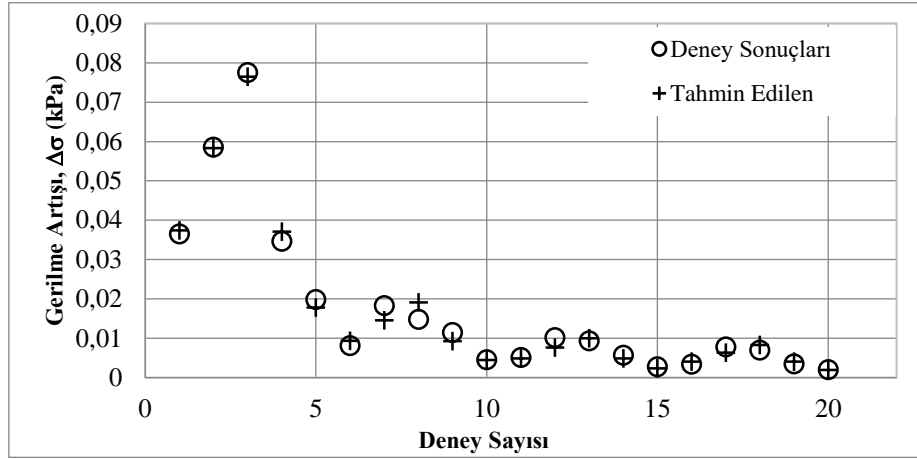
Tablo 8. Değişkenlere ait katsayılar

A	B	C	E	F	G
0,195	1,207	-0,384	-6,475	3,704	-3,117



(a)

KUM ZEMİNE OTURAN KARE TEMEL ALTINDA OLUŞAN YANAL GERİLMELERİN DENEYSEL VE TEORİK İNCELEMESİ



(b)

Şekil 8. (a), (b) Deneysel verilerinin tahmin edilen veriler ile karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Dört farklı rölatif sıklıkta hazırlanmış zeminlere oturan kare kesitli bir temelin zemin kütlesi içerisinde oluşturduğu yanıl gerilme artışları, laboratuvar ortamında model deneyleri ile belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar kullanılarak istatistiksel analizler yapılmış ve yanıl gerilmelerin tahmini için bir bağıntı ($R^2=0.99$) önerilmiştir.

Model deneyler sonucunda, rölatif sıklık arttıkça temelin taşıma gücünün ($Q_{sınır}$) ve ölçülen yanıl gerilme değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Deneysel olarak ölçülen yanıl gerilme değerleri, $D_f=10\%$ dışında tüm sıklıklarda 20cm derinliğinde (4B/3) maksimum değeri verdiği gözlemlenmiştir.

Boussinesq yöntemine göre hesaplanan yanıl gerilme artış değerlerinin ise 30cm (2B) derinliğe kadar arttığı bu değerden sonra bir miktar azaldıktan sonra artmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Boussinesq yöntemine göre hesaplanan yanıl gerilme değerlerinin 50cm (10B/3) civarında maksimum olduğu ve bu derinlikten sonra azalmaya başladığı hesaplanmıştır. Ancak deneysel veriler yanıl gerilmelerin artan derinlikle ($z>4B/3$) beraber azaldığının ve 50cm (10B/3) değerinden sonra ihmal edilebilecek seviyelere ulaştığını göstermektedir. Teorik bağıntılarla hesaplanan yanıl gerilme değerlerinin 40cm (8B/3) derinliğe kadar gerçek değerlerden oldukça düşük olduğu ve bu derinlikten sonra gerçek değerlere yaklaşmaya başladığı belirlenmiştir.

Model deneyin gerçekleştiği ortam geometrisi ve zeminin farklı rölatif sıklık değeri dikkate alınarak yanıl gerilme artış değerlerinin belirlenmesi için istatistiksel analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. Yapılan istatistiksel analizde, kare bir temel altındaki yanıl gerilme değerlerini belirli bir yaklaşımla tahmin etmenin mümkün olacağı sonucuna varılmıştır. Bu amaçla bir eşitlik sunulmuştur. Analiz sonuçları göstermiştir ki, $\Delta\sigma$ değerinin yeterli bir yaklaşımla hesaplanabilmesi için rölatif sıklık, zemine oturan temelin transduserlere olan mesafesinin ve temel orta noktasıyla basınç transduserini birleştiren doğrunun yatayla yaptığı açı dikkate alınması yeterli olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, SP sınıfı bir zeminde laboratuvar ortamında yapılan model deneyleri neticesinde temellerin altında farklı derinliklerde oluşan yanıl gerilmelerin gerçeğe yakın olarak tahmin edilebileceği anlaşılmıştır. Yanıl gerilmelerin tahmin edilebilmesi, özellikle istinat yapıları gibi yanıl gerilmelere göre projelendirilen mühendislik yapılarının boyutlarının doğru bir şekilde belirlenmesini ve proje maliyetlerinin düşmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] BOWLES, J.E., Foundation Analysis and Design, Peoria, IL,1997.
- [2] UZUNER, B.A., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2005.
- [3] BOUSSINESQ, J., Application des Potentiels a L'étude de L'équilibre et du Movement des Solids Elastiques, Gauthier-Villars, Paris, France, 1885.
- [4] SAĞLAMER, A., Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul,1972.
- [5] LAMAN,M., KESKİN, M.S., "Kumlu Zeminlere Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi",

H.S.AKSOY, D. KÜÇÜKAY, M. GÖR

- Türkiye Mühendislik Haberleri, İMO, 431, 53-57, 2004.
- [6] HOLTZ, R.D, KOVACS, W.D., SHEAHAN, C.T., An Introduction to Geotechnical Engineering, 2nd Edition, Pearson Co., Upper Saddle River, NJ, 2015.
- [7] MORGAN, J.R., GERRARD, C.M., “Behavior of Sands Under Surface Loads”, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 97 (SM 12), 1675-1699,1971.
- [8] BURLAND, J.B., BROMS, B.B., DE MELLO, V.F.B., “Behaviour of Foundations and Structures”, In Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 495–538, Tokyo, Japan, 1977.
- [9] ASTM C127-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- [10] ASTM D422-63(2007)e2, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.
- [11] ASTM D854-14, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- [12] ASTM D3080 / D3080M-11 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.