

DONATISIZ VE DONATILI KUMLU ZEMİNLERE OTURAN DAİRESEL TEMELLER ALTINDA GERİLMELERİN DEĞİŞİMİ

Baki BAĞRIAÇIK*, Mustafa LAMAN**

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, 01330, Adana

**İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Karacaoğlan Yerleşkesi, 80000, Osmaniye

bbagriacik@cu.edu.tr, mustafalaman@osmaniye.edu.tr

(Geliş/Received: 26.10.10; Kabul/Accepted: 11.08.11)

ÖZET

Bu çalışmada, donatısız ve geogrid donatılı kumlu zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışları laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Bu amaçla zemin içerisinde belirlenen derinliklerdeki yatay düzlemler boyunca meydana gelen ilave düşey gerilme değerleri ölçülmüştür. Deneylerde gerilme değerlerini ölçmek için basınç algılayıcılar kullanılmıştır. Donatılı deneylerde, iki eksenli geogrid kullanılmıştır. İki eksenli geogrid donatı, $u=0,3D$ (u =donatı derinliği, D =temel çapı) derinliğe yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Sonuçta, geogrid donatılı kumlu zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmelerin, donatısız duruma göre, % 27 mertebelerinde fazladan azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İlave gerilme, donatılı zemin, basınç algılayıcı, dairesel temel.

DISTRIBUTION OF STRESSES IN UNREINFORCED AND REINFORCED SOILS INDUCED BY A CIRCULAR FOUNDATION

ABSTRACT

In this study, additional vertical stresses, which occur in a soil as a result of uniformly loaded circular foundation, resting on sandy soils unreinforced and reinforced by geogrids, have been investigated by laboratory model tests. Additional vertical stress values that occur on a horizontal planes of particular specified depths, have been measured. In the tests, pressure transducers have been used in order to measure stress values. Geogrid, which has double axis and placed into the depth of $u=0,3D$ (u =depth of reinforcement, D =diameter of foundation) at soil, have been used in the tests. Finally, it was concluded that additional vertical stress values, which occur in a soil as a result of uniformly loaded circular foundation on a horizontal planes of particular specified depths can be decreased significantly according to the unreinforced case.

Key Words: Induced stress, reinforced soil, pressure transducer, circular foundation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zeminler, mühendislik bakış açısıyla, homojen ve izotrop olmayan malzemelerdir. Özellikleri çevre koşullarına, jeolojik tarihçesine ve zamana bağlı olarak büyük değişiklikler gösterdiğinden, zeminlerin mühendislik davranışlarını tanımlayan genel analitik modellerin ve sabit malzeme katsayılarının belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Zemin özelliklerinin her proje sahası için deneysel olarak belirlenmesi ve bu yapılırken de arazide geçerli

olacak koşulların dikkatle göz önüne alınması gerekmektedir. Dolayısıyla deneysel yöntemler zemin mekaniğinin ayrılmaz ve vazgeçilmez bir parçasını oluşturmaktadır. Deneysel olarak belirlenen birçok zemin özelliği ise, ancak belirli koşullarda geçerliliğini korumaktadır. Kullanılan deneysel yöntemlerin ve zemin davranışını etkileyen faktörlerin iyi anlaşılması, elde edilen sonuçların birçok durumda yanıltıcı olmasına yol açabilmektedir [1]. Zeminlerin çok karmaşık bir malzeme olmaları nedeni ile, zemin mekaniği ve temel inşaatı problemlerinde

temel kavramların iyi anlaşılması ve mühendislik tecrübesi çok özel bir öneme sahiptir. Birçok inşaat malzemesi için, tasarım ve uygulama problemlerinin çözümünde genel olarak malzeme davranışının tam olarak kavranması gerekmeden belirli katsayıların kullanılması yeterli olmaktadır. Fakat zemin ile ilgili problemlerde kullanılacak malzeme özelliklerinin hangi koşullarda belirlendiği ve geçerliliğini koruduğunu anlamadan ve bu konuda yeterli tecrübe birikimine sahip olmadan güvenli ve ekonomik mühendislik çözümleri elde etmek mümkün olmamaktadır. Durumun böyle olması zemin mekaniği ve temel mühendisliğinin yani geoteknik biliminin önemini daha da artırmaktadır. Zeminler, çok karmaşık bir malzeme olmaları nedeni ile zemin içerisinde gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapmak da oldukça zordur. Bu amaçla Elastisite Teorisi kullanılırken şu kabuller yapılır:

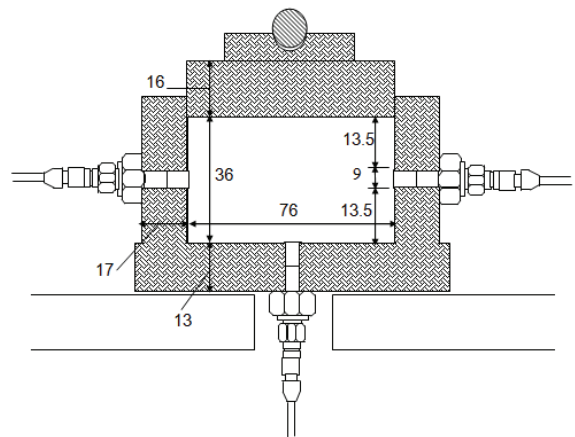
- Zemin, elastik olup, gerilme-deformasyon ilişkisi doğrusaldır.
- Zemin ortam homojendir. Diğer bir deyişle, elastik sabitler, elastisite modülü, E ve poisson oranı, μ her noktada aynıdır.
- Zemin ortamı izotropdur. Yani, özellikleri bir noktada, her yönde aynıdır.
- Zemin ortam yarı sonsuzdur. Yani, bir düzlemin altında, her yönde, sonsuz mesafeye uzanır [2].

Elastisite teorisinden yararlanarak elde edilen bu çözümlerde, düşey gerilme dağılımları zeminin malzeme özelliklerinden bağımsızdır. Ayrıca zeminin türü ve sıklık gibi parametreleri dikkate alınamamakta, her cins zemin için aynı gerilme dağılımları elde edilmektedir [3]. Zemin yüzüne uygulanan düşey yükler altında meydana gelen yatay gerilmeler ve bunların derinlikle değişimi de yine elastisite teorisi kullanılarak bulunmaya çalışılmaktadır. Bu çözümlerde düşey gerilmelerden farklı olarak yatay gerilmeler, zeminin elastisite modülü ve poisson oranına bağımlı olmaktadır. Bu durumda, bu zemin parametre değerlerinin gerçekçi olarak belirlenmesi başlı başına bir problem oluşturmaktadır [4]. Fakat zeminler için gerilme analizinde, zemin cinsinin ve onun aktaracağı gerilmelerin çok büyük önemi vardır. Bu yüzden, zeminlerde ilave yüklerden dolayı oluşan düşey gerilme değerlerinin deneysel yollarla bulunması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Kum zeminlerde oluşan düşey ve yatay gerilmelerin ölçülmesi amacıyla birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat donatılı kumlu zeminlerde oluşan söz konusu gerilmelerin ölçülmesi amacıyla yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, donatısız ve geogrid donatılı kumlu zeminler üzerine oturan dairesel bir temelden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışları laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Deneylerde beş farklı derinlikte yatay düzlemler boyunca meydana gelen ilave düşey gerilme değerleri basınç

algılayıcıları yardımıyla ölçülmüştür. Donatısız ve geogrid donatılı durumdaki sonuçlar karşılaştırılarak, temel mühendisliği problemlerinin çözümü için önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR (PREVIOUS STUDIES)

Zeminlerde oluşan düşey ve yatay gerilmelerin önemi bilindiğinden bunların belirlenmesi için birçok deney düzeneği ve tekniği geliştirilmiştir. Terzaghi, kum ve kil numunelerinde düşey yüklerden dolayı oluşan yatay ve düşey gerilmeleri deney düzeneğiyle ölçmüştür [5]. Yaptığı deneyler sonucunda, Donath [6] tarafından yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı şeklinde tarif edilen sükunetteki yanıl zemin basınç katsayısı, K_0 değerlerini elde etmiştir. Sonuçta kaba kum için $K_0=0,42$ değerini belirlemiştir. Kompaksiyonun K_0 değerleri üzerindeki etkileri de ilk olarak Terzaghi tarafından araştırılmış ve kum zeminin el kompaktörü ile tabakalar halinde sıkıştırılması durumunda, K_0 değerinin 0,6 ile 0,7 arasında değiştiği bildirilmiştir [7]. Scheidig ve Kögler, bir kum dolgusunu yükleyip bu yükün belli derinliklerde bulunan yatay düzlemlerin çeşitli noktalarında meydana getirdiği basınçları, bu noktalara yerleştirilen aletler yardımıyla ölçmüştür [8]. Kjellman, üç eksenli deney aletine benzeyen bir deney aleti geliştirerek kumlu zeminlerde meydana gelen gerilmeleri ölçmüş ve K_0 katsayısının zeminin gerilme tarihçesine bağlı olduğunu belirtmiştir. Sonuçta K_0 değerinin 0,5-1,5 arasında olduğunu belirlemiştir [9]. Bayliss, yanıl zemin basıncını ölçmek için bir alet geliştirerek, yapmış olduğu deneylerde kum ve orta plastisiteli organik kil için $K_0=0,5$ değerini ölçmüştür [10]. Hendron tarafından özel bir ödometre ile oluşturulan deney düzeneğinde, yanıl basınçlar, ödometre ringine yapıştırılan ötelenme ölçerler yardımıyla ölçülmüştür [11].



Şekil 1. Deney Düzeneği (Test Equipment) (Ölçüler mm cinsindedir) [3]

Sağlamer, Şekil 1'de görülen düzeneği geliştirerek kumlu zeminlerde düşey ve yatay gerilmeleri ölçmüştür. Gerilmeleri ölçmek için üç adet algılayıcı kullanmış ve yüksek gerilmeler altında ölçümler

almıştır. Oluşturulan bu düzeneğin, konu ile ilgili çalışılan diğer lme aletlerinden üstünlüğü, herhangi bir yanal gerilme olmaksızın ölümlerin doğrudan yapılabilmesidir. Diğer düzeneklerin birçoğunda ise gerilmeler, deformasyon cinsinden dolaylı olarak llmştr [3].

Hanna ve Ghaly, kumlu zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri, gerilme algılayıcıları kullanarak ölçmüşlerdir. Bu çalışmada, 1,0m x 1,0m x 1,25m ebatlarında metal bir kasa içerisine algılayıcılar yerleştirilmiş ve farklı sıklıklarda kum numuneler hazırlanarak, oluşan yatay ve düşey gerilmeler llmştr. Ayrıca deneysel olarak hesaplanan K_0 değerleri Jaky [12] tarafından verilen $K_0=1-\sin \phi$ değerleri ile karşılaştırılarak, sıklığın artmasına bağlı olarak deneysel ve teorik K_0 değerlerinin azaldığı, deneysel olarak llen ilave gerilmelerin teorik değerlerden oldukça büyük olduğu görülmüştür [7]. Cho ve Vipulanandan, kumlu zeminlerde gerilme dağılımını belirlemek amacıyla, basınç algılayıcıları kullanmış ve ölümler gerçekleştirmişlerdir. Deneyler 61,0cm uzunluk, 51,0cm genişlik ve 91,4cm yüksekliğinde metal bir kasada yapılmıştır. Çalışmada apı 8,9cm, kalınlığı 2,54cm olan diyafram tipi algılayıcılar kullanılmıştır. Deneyde kullanılan kumun sıklık derecesi $D_r=70\%$ olacak şekilde kasa içerisine yerleştirilerek yk rijit bir plaka ile uygulanmıştır. Deneyler sonunda elde edilen düşey gerilme değerleri, Van Horn [14] tarafından verilen teorik zmlle karşılaştırılmıştır. Sonuçta deneysel ölümlerin teorik hesaplama uyum içinde olduğu görülmüştür [13].

Hanna ve Soliman-Saad, kumlu zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri ölçmek için basınç algılayıcıları kullanmışlardır. Ayrıca kompaksiyonun gerilme değerlerine etkisini araştırmak amacıyla metal bir kasa içerisine, değişik sıklıklarda yerleştirilen kum numunelerde oluşan gerilmeleri ölçmüşlerdir. Sıkıştırma işlemi el kompaktörü ile yapılmıştır. Kompaksiyon süresince kum numunelerin birim hacim ağırlığında oluşacak değişmeleri tespit edebilmek amacıyla, her tabakanın içine yoğunluk kapları yerleştirilmiş ve her deney sonunda çıkarılarak birim hacim ağırlıklar elde edilmiştir. Her deney sonunda kayma mukavemet açıları da hesaplanmıştır. llen yatay gerilmelerin düşey gerilmelere oranlanmasıyla bulunan K_0 değerleri, $K_0=1-\sin \phi$ formülü ile karşılaştırılmıştır. Burada, ϕ açısı arttıkça $1-\sin \phi$ formülü ile hesaplanan K_0 değerlerinin azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca yatay gerilmelerin düşey gerilmelere oranı olarak bulunan K_0 değerlerinin ise arttığını belirlemişlerdir [15].

Laman ve Keskin, kumlu zeminler üzerine oturan kare temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme değerlerini, model deneyler yaparak incelemişlerdir. Deneyler, kare kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiş ve gerilme değerlerini ölçmek için 1 adet basınç algılayıcısı kullanılmıştır.

Sıklığın ilave düşey gerilme değerlerine etkisinin araştırılması için deneyler iki farklı sıklıkta hazırlanan kum zeminler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deney düzeneği, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenip PLAXIS paket programı yardımıyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut teorik yöntemler ve deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Sonuçta, derinlik arttıkça gerilme artışı değerlerinin azaldığı, deney sonuçlarının üç farklı derinlikte de Boussinesq çözümlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür [16].

Laman ve ark., kumlu zeminlere oturan dairesel temellerden dolayı zemin içinde oluşan düşey ve yatay gerilme değerlerini model deneyler yaparak incelenmişlerdir. Deneylerde gerilme değerlerini bulmak için 1 adet basınç algılayıcısı kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı sıklıkta kum numuneler hazırlanmış ve iki farklı çapta dairesel temel kullanılmıştır. Ayrıca model deney düzeneği, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek, PLAXIS paket programı ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut teorik yöntemler ve deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlardan, temel tabanından z derinliğinde bulunan yatay düzlemlerdeki gerilme dağılışının aynı karakteristik şekli gösterdiği, ölüm derinliğinin artmasıyla temel plakası merkezinin altındaki basıncın da azaldığı ve kum numunenin herhangi bir noktasındaki gerilme değerinin uygulanan yük ile orantılı olarak arttığını görülmüştür. Ayrıca kum numunelerin sıklık oranının arttırılmasıyla, aynı yükler altında daha büyük gerilme değerlerinin oluştuğu gözlenmiştir. Temel genişliğinin artmasıyla da benzer durumun oluştuğu görülmüştür [17].

Keskin ve ark., kumlu zeminlere oturan üniform yüklü kare temellerin merkezi altında oluşan ilave düşey gerilme değerlerini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Elde edilen değerler Boussinesq yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deneyler, kare kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiş ve düşey gerilme değerlerini bulmak için basınç algılayıcısı kullanılmıştır. Sayısal çalışmada zemin, iki boyutlu aksel simetrik ve üç boyutlu koşullarda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, lineer elastik ve non-lineer elasto-plastik malzeme olarak modellenmiş ve analizlerde kullanılan bu modellerin ilave düşey gerilme değerlerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda deneysel, sayısal ve teorik sonuçlar arasında belli derinliklerde genel bir uyum gözlenmiştir [18].

Chuang ve ark., kazıklı dolgularda derinlik boyunca meydana gelen düşey gerilmeleri belirlemek amacıyla, iki farklı dolgu yüksekliğinde ($H=0,35m$ ve $0,70m$) gerçekleştirdikleri model deneylerden elde ettikleri sonuçlarla geliştirdikleri teorik sonuçları karşılaştırmışlardır. Model deney sonuçları ile teorik sonuçların uyum içerisinde olduğunu ve bu tür

problemlerin çözümünde araştırmacılara yol göstereceğini belirtmişlerdir [19].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

3.1. Zemin Özellikleri (Soil Properties)

Çalışmalarda, Çukurova Bölgesindeki Çakıt nehir yatağından çıkarılan kum numuneler kullanılmıştır (Şekil 2). Kum numune, TS 1500'e göre sırasıyla 1mm çaplı (No. 18) ve 0,074mm çaplı (No. 200) eleklerden yıkanarak elenmiştir. Bu işlem sonucunda No. 18 ile No. 200 arasında kalan kumlar, etüvde kurutulduktan sonra, Şekil 3'te görüldüğü gibi, uygun bir alana serilerek oda sıcaklığında dinlendirilmiştir. Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında deney kumunun endeks ve kayma mukavemeti özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yapılmıştır [20].



Şekil 2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kum (Sand Used in Experimental Studies)



Şekil 3. Deney Kumunun Kurutulması (Sand Dried for Experimental Studies)

Deneysel çalışmada kullanılan kumun Türk standartlarına göre dane çapı dağılımı elde edilmiştir. Dane çapı dağılım eğrisinden deney kumunun, zemin sınıfı, TS 1500'e göre uniform temiz kum (SP) olarak

belirlenmiştir. Elek analizi deney sonuçları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Zemin Özellikleri (Soil Properties)

Granülometri Parametreleri	Birim	Değer
Orta Kum Yüzdesi	%	46,40
İnce Kum Yüzdesi	%	53,60
Efektif Dane Çapı, D_{10}	mm	0,18
D_{30}	mm	0,30
D_{60}	mm	0,50
Üniformluk Katsayısı, C_u	-	2,78
Derecelenme Katsayısı, C_c	-	1,00
Zemin Sınıfı	-	SP

3.2. Deney Kasası (Test Box)

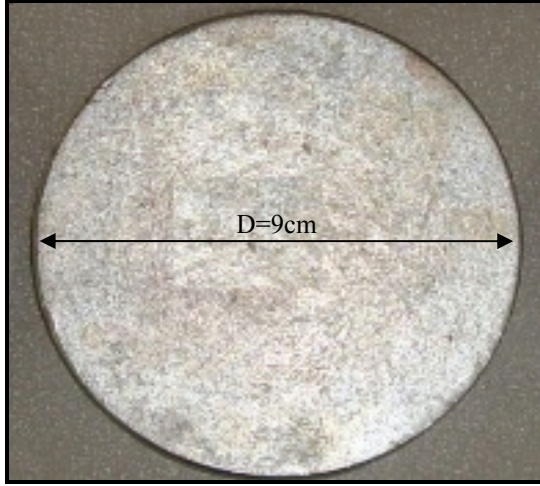
Kumlu zeminlerde gerilme ölçümü ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında 50cm genişliğinde ve 40cm yüksekliğindeki kare kesitli kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Deney kasası iskeleti çelik profillerden olup, ön ve arka yüzü 6mm kalınlığında cam, yan yüzeyler ile alt taban ise, 20mm kalınlığındaki ahşap malzemeden imal edilmiştir [20].



Şekil 4. Deney Kasası (Test Box)

3.3. Model Temel (Model Footing)

Deneysel çalışmada daha çok çapı 9cm olan dairesel temel kullanılmıştır (Şekil 5). Ayrıca ölçek etkisini araştırmak amacıyla, 6 ve 12cm çaplı dairesel temeller üzerinde de sınırlı sayıda deneyler yapılmıştır. Deney sırasında, yükleme nedeniyle temel tabanındaki basınç dağılımının üniform olarak dağılmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 5. Model Temel (Model Footing)

3.4. Yükleme Sistemi (Loading System)

Farklı yükleme hızlarında çekme ve basınç uygulayabilen özel bir yükleme düzeneği geliştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Yükleme düzeneği İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarındaki yükleme kirişine monte edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Yükleme Sistemi (Loading System)

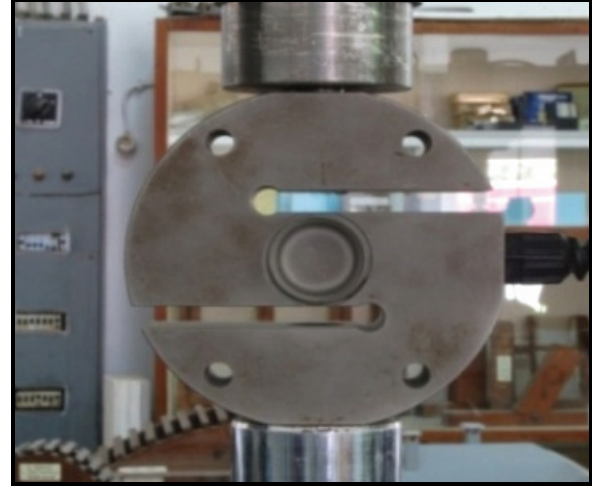
3.5. Yük Hücresi (Load Cell)

Deneylerde, temel plakalarına gelen yük değerlerini belirlemek amacıyla ESİT firması tarafından üretilen elektronik yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 7).

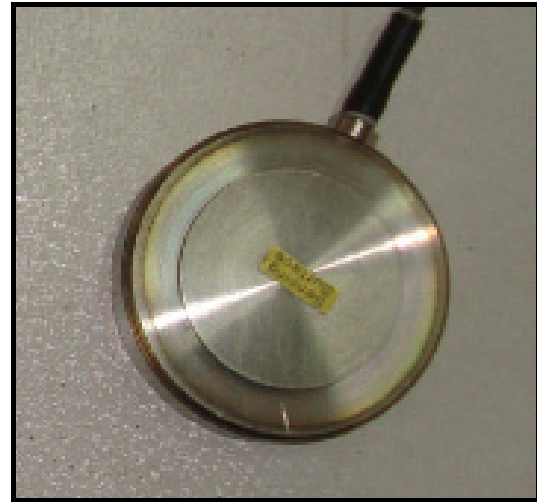
3.6. Basınç Algılayıcı (Pressure Transducer)

Zemin ortamında ilave yüklerden dolayı meydana gelen düşey gerilmeleri ölçebilmek amacıyla kullanılan yöntemlerden biri de zemin içerisinde gerilme ölçülecek derinliklere basınç algılayıcıları yerleştirmektir. Basınç algılayıcıları kullanarak gerilme ölçmenin diğer yöntemlere göre önemli bir avantajı, gerilme değerlerinin doğrudan ölçülebilmesidir.

Zeminde meydana gelen düşey gerilmeleri ölçmek için 200 kPa kapasiteli Japon Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd. firması tarafından imal edilen basınç algılayıcı kullanılmıştır (Şekil 8).



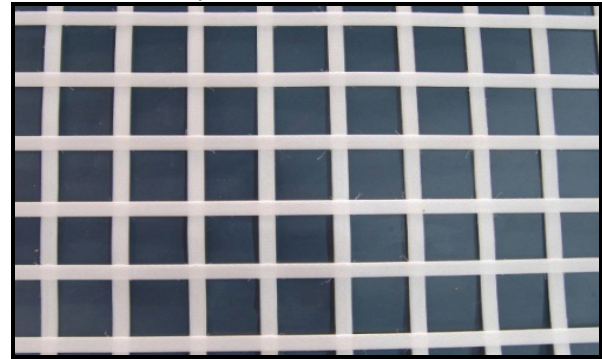
Şekil 7. Yük Hücresi (Load Cell)



Şekil 8. Basınç Algılayıcı (Pressure Transducer)

3.7. Geogrid (Geogrid)

Deneyisel çalışmada, Secugrid® 60/60 Q1 (İki Eksenli Geogrid) markalı geogrid kullanılmıştır. Üretici firmadan temin edilen donatı özellikleri Tablo 2'de donatı resmi ise, Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. Geogrid (Geogrid)

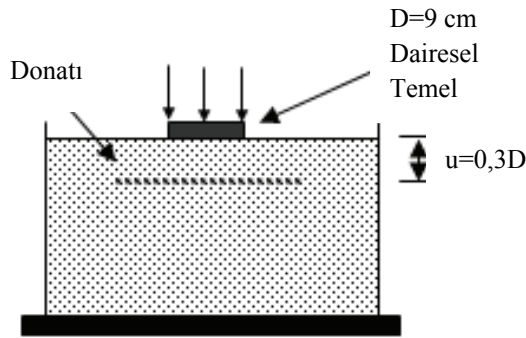
Tablo 2. Secugrid® 60/60 Q1

Teknik Özellikler	Birim	60/60 Q1
Malzeme	-	Polipropilen
Maks. Çekme Dayanımı, md/cmd*	kN/m	≥ 60 / ≥60
%2 uzamada çekme dayanımı, md/cmd*	kN/m	22 / 22
%5 uzamada çekme dayanımı, md/cmd*	kN/m	48 / 48
Açıklık, md × cmd*	mmxmm	31 × 31
Rulo genişliği / uzunluğu	m x m	4,75 × 100

*md = machine direction, *cmd= cross mach. dir.

3.8. Donatının Yerleştirilmesi (Placement of Geogrids)

Deneysel çalışmada kullanılan geogrid donatı Yıldız [21] tarafından önerildiği gibi, optimum değer olarak, temel yüzeyinden $u=0,3D$ (u =donatı derinliği, D =temel çapı) derinlikte Şekil 10'da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Çift sıra donatı kullanılan deneylerde ise ikinci donatı, ilk donatıdan $0,3D$ derinliğe yerleştirilmiştir.

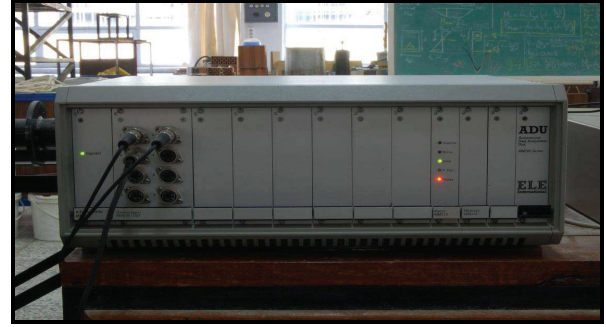


Şekil 10. Donatının Yerleştirilmesi (Placement of Geogrids)

3.9. Data Kaydetme Ünitesi (ADU) (Autonomous Acquisition Data Unit)

Uygulanan düşey yükler, yük hücresi yardımıyla EL27-1495 seri numaralı ve 8 kanal girişli ADU (Autonomous Acquisition Data Unit) data logger cihazına aktarılmıştır (Şekil 11). Bu veriler daha sonra bilgisayar ortamında DIALOG programı yardımıyla sayısal değerlere dönüştürülmüştür.

Uygulanan düşey yüklerden dolayı meydana gelen düşey gerilmeler ise, basınç algılayıcıları yardımıyla, Şekil 12'de görülen Japon Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. firması tarafından imal edilen TML markalı TDS-301 modelindeki taşınabilir data loggerden elde edilmiştir.



Şekil 11. ADU Cihazı Programı (ADU System)

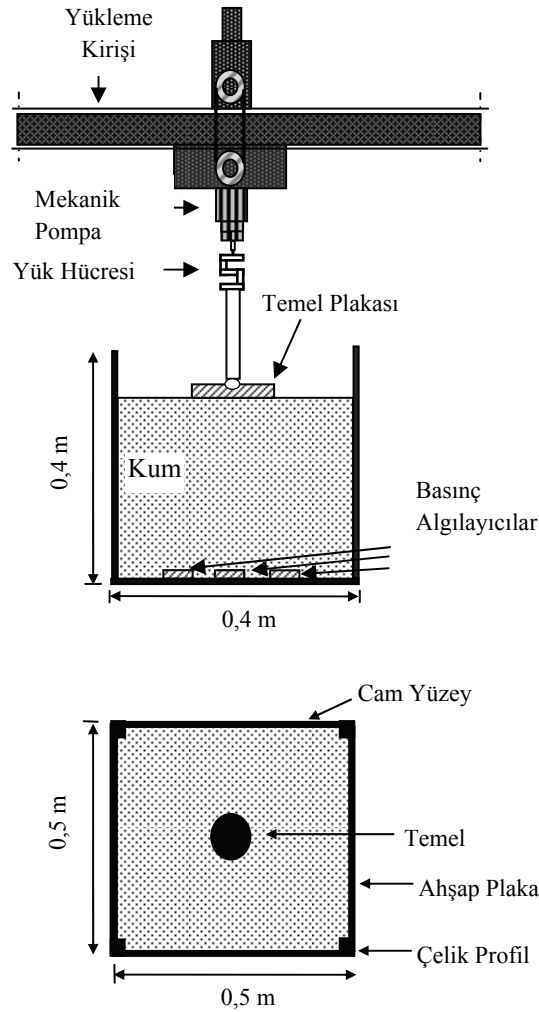


Şekil 12. Taşınabilir Data Logger (Portable Data Logger)

3.10. Deneysel Programı (Test Program)

Çalışmada, donatısız ve geogrid donatılı kumlu zeminler üzerine oturan dairesel bir temelden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışları laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Deneysel düzeneği plan ve kesit görüntüsü Şekil 13'te görülmektedir. Model deneylerde, beş farklı derinlikte ($Z=0,5D$, $Z=1,0D$, $Z=1,5D$, $Z=2,0D$, $Z=2,5D$), yatay bir düzlem boyunca meydana gelen ilave düşey gerilme değerleri ölçülmüştür. Deneyler aşağıda

belirtilen hususlara dikkat edilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 13. Deneysel Düzeneği (Test Equipment)

- Basınç algılayıcıları deney kasesinin içerisine deney esnasında hareket etmeyecek şekilde tabana yapıştırılarak sabitlenmiştir [20].

- Kum zemin, kasa içerisine tabakalar halinde ve birim hacim ağırlığı $\gamma_k = 15,03 \text{ kN/m}^3$ olacak şekilde sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Bu amaçla, her tabaka için gerekli kum ağırlığı önceden hesaplanarak kontrollü bir şekilde sıkıştırma yapılmıştır.

- Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra zemin üst yüzeyinin düzgünlüğü su terazisi ile kontrol edilmiş ve temel plakası zemin yüzeyine yerleştirilmiştir. Bu aşamada temel plakasının basınç algılayıcılarına göre, konumunun uygun yerleştirilmesine dikkat edilmiştir [20].

- Uygulanan yükün temel plakası merkezine düşey yönde ve uniform olacak şekilde etki ettirilmesine özen gösterilmiştir.

- Deneysel sırasında, kademeli olarak yüklemeye devam edilmiş ve yükleme hızı her kademede sabit tutulmuştur [20].

- Her yükleme kademesinde oluşan gerilmeler, TML markalı TDS-301 modelindeki taşınabilir data loggerden okunarak kaydedilmiştir [20].

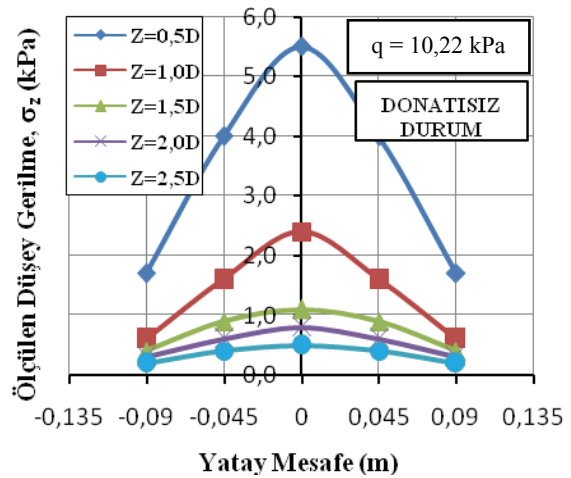
- Donatılı deneylerde, donatı sayısı (N) 1 ve donatı derinliği (u) ise Yıldız tarafından önerildiği gibi, optimum değer olarak, temel yüzeyinden $u=0,3D$ derinlikte (D=Temel Çapı) alınarak analizler gerçekleştirilmiştir [21].

4. DENEY SONUÇLARI (TEST RESULTS)

4.1. Donatısız Deneyler (Unreinforced Experiments)

4.1.1. Farklı Derinliklerde, Yatay Düzlemde Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of the Vertical Stress Values Occuring along with Horizontal Surfaces at Different Depths)

Donatısız durumda 9cm'lik dairesel temelin merkezinde, $X=0,5D$ ve $X=1,0D$ merkezden uzağında yatay düzlem boyunca oluşan ilave düşey gerilmeler, 5 farklı derinlikte ($Z=0,5D$, $Z=1,0D$, $Z=1,5D$, $Z=2,0D$, $Z=2,5D$) grafikler halinde sunulmuştur.



Şekil 14. Donatısız Durumda Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Vertical Stress Values in Unreinforced Soil)

Tablo 3. Donatısız Durumda Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Vertical Stress Values in Unreinforced Soil)

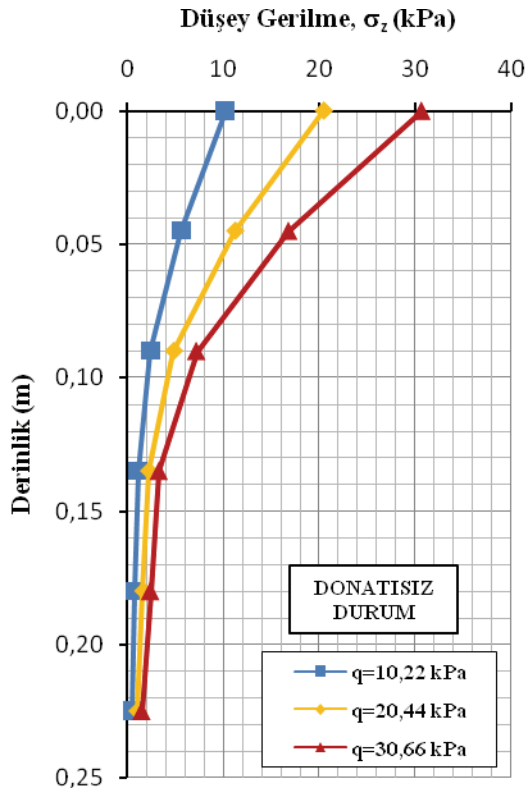
X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Z ↓					
0,5D	1,70	4,00	5,60	4,00	1,70
1,0D	0,70	1,60	2,40	1,60	0,70
1,5D	0,30	0,90	1,10	0,90	0,30
2,0D	0,20	0,60	0,80	0,60	0,20
2,5D	0,10	0,40	0,50	0,40	0,10

(X=Yatay Mesafe, Z=Derinlik)

Şekil 14 ve Tablo 3'ten, uygulanan düşey yüke bağlı olarak oluşan gerilme değerlerinin temel merkezinde maksimum bir değer verdiği ve temel merkezinden 0,09m ($X=1,0D$) yatay mesafede meydana gelen düşey gerilmeler incelendiğinde, zemin yüzeyine göre $Z=0,5D$ derinlikte temel merkezinden 0,09m ($X=1,0D$) yatay mesafede, gerilmede %70 civarında azalmalar meydana gelirken, $Z=2,5D$ 'de bu oranın %80 civarında olduğu belirlenmiştir.

4.1.2. Farklı Derinlik ve Yüklerde Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Vertical Stress Values at Different Depth and Pressure)

Donatısız durumda ve 3 farklı yük kademesinde ($q=10,22$ kPa, $q=20,44$ kPa, $q=30,66$ kPa) 9cm'lik dairesel temel altında, beş farklı derinlikte ($Z=0,5D$, $Z=1,0D$, $Z=1,5D$, $Z=2,0D$, $Z=2,5D$), oluşan ilave düşey gerilmeler toplu olarak grafik halinde sunulmuştur.



Şekil 15. Donatısız Durumda Farklı Derinlik ve Yük Kademelerinde Meydana Gelen Düşey Gerilmelerin Derinlikle Değişimi (The Variation of Vertical Stresses with Depth at Different Pressure)

Şekil 15'ten, derinlik boyunca oluşan düşey gerilmelerin derinlik arttıkça azaldığı ve uygulanan düşey yük artışına bağlı olarak aynı derinlikte meydana gelen ilave düşey gerilme değerinin de arttığı görülmektedir. Temel yüzeyinden 0,225m ($Z=2,5D$) derinlikte meydana gelen düşey gerilmeler incelendiğinde, temel yüzeyine göre tüm yük

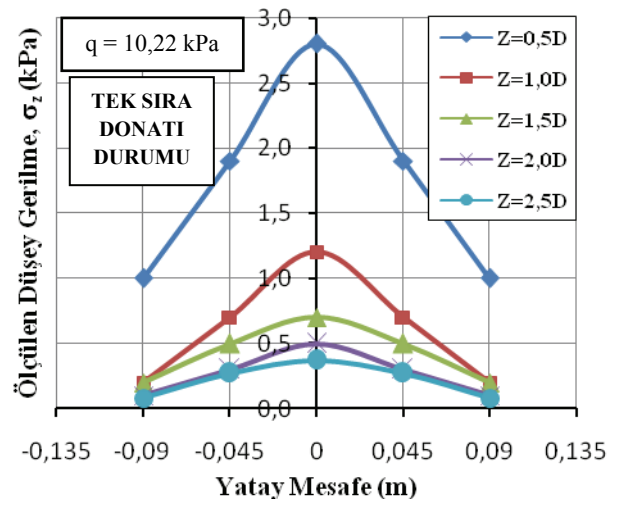
kademeleri için gerilmede %95 oranında azalmalar meydana gelmektedir.

4.2. Donatılı Deneyle (Reinforced Experiments)

4.2.1. Farklı Derinliklerde, Yatay Düzlemde Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması

(Comparison Between Results of the Vertical Stress Values Occuring along with Horizontal Surfaces at Different Depths)

Donatılı durumda 9cm'lik dairesel temel merkezinde, $X=0,5D$ ve $X=1,0D$ merkezden uzağında yatay düzlem boyunca oluşan ilave düşey gerilmeler, 5 farklı derinlikte ($Z=0,5D$, $Z=1,0D$, $Z=1,5D$, $Z=2,0D$, $Z=2,5D$) grafikler ve tablo halinde sunulmuştur.



Şekil 16. Donatılı Durumda Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Vertical Stress Values of Reinforced Soil)

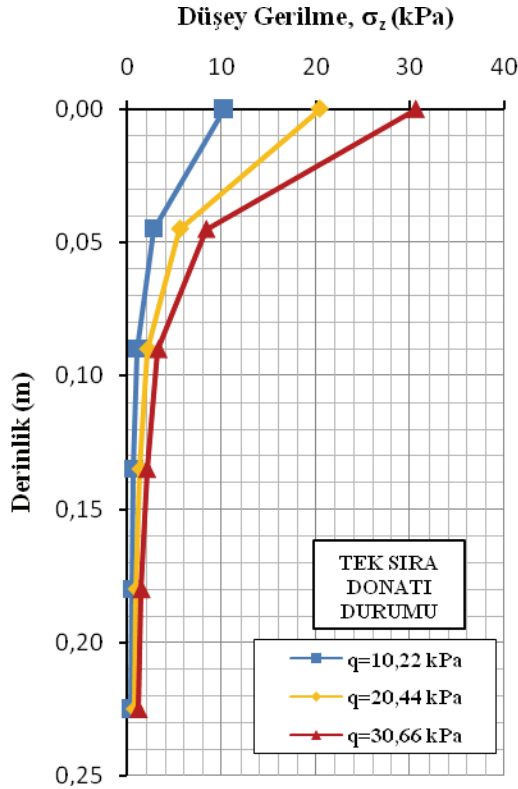
Tablo 4. Donatılı Durumda Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Vertical Stress Values of Reinforced Soil)

X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Z ↓					
0,5D	1,00	1,90	2,80	1,90	1,00
1,0D	0,35	0,70	1,10	0,70	0,35
1,5D	0,20	0,50	0,70	0,50	0,20
2,0D	0,13	0,30	0,50	0,30	0,13
2,5D	0,10	0,30	0,40	0,30	0,10

Şekil 16 ve Tablo 4'ten, uygulanan düşey yüke bağlı olarak oluşan gerilme değerlerinin temel merkezinde maksimum bir değer olduğu görülmektedir. Temel merkezinden 0,09m ($X=1,0D$) yatay mesafede meydana gelen düşey gerilmeler incelendiğinde, zemin yüzeyine göre $Z=0,5D$ derinlikte temel merkezinden 0,09m ($X=1,0D$) yatay mesafede, gerilmede %64 civarında azalmalar meydana gelirken, $Z=2,5D$ 'de bu oranın %75 civarında olduğu belirlenmiştir.

4.2.2. Farklı Derinlik ve Yüklerde Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Vertical Stress Values at Different Depth and Pressure)

Donatılı durumda ve 3 farklı yük kademesinde ($q=10,22$ kPa, $q=20,44$ kPa, $q=30,66$ kPa) 9cm'lik dairesel temel altında, beş farklı derinlikte ($Z=0,5D$, $Z=1,0D$, $Z=1,5D$, $Z=2,0D$, $Z=2,5D$), oluşan ilave düşey gerilmeler toplu olarak grafik halinde sunulmuştur.



Şekil 17. Donatılı Durumda Farklı Derinlik ve Yük Kademelerinde Meydana Gelen Düşey Gerilmelerin Derinlikle Değişimi (The Variation of Vertical Stresses with Depth at Different Pressure)

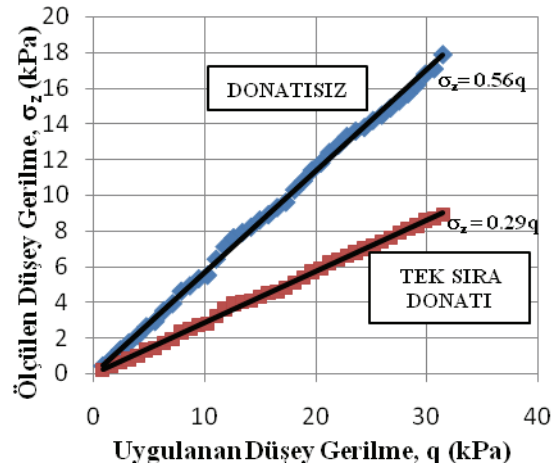
Şekil 17'den, derinlik boyunca oluşan düşey gerilmelerin derinlik arttıkça azaldığı ve uygulanan düşey yük artışına bağlı olarak aynı derinlikte meydana gelen ilave düşey gerilme değerinin de arttığı görülmektedir. Temel yüzeyinden 0,225m ($Z=2,5D$) derinlikte meydana gelen düşey gerilmeler incelendiğinde, temel yüzeyine göre tüm yük kademeleri için gerilmelerde %96 oranında azalmalar meydana gelmektedir.

4.3. Donatılı ve Donatısız Deneilerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Reinforced and Unreinforced Soils)

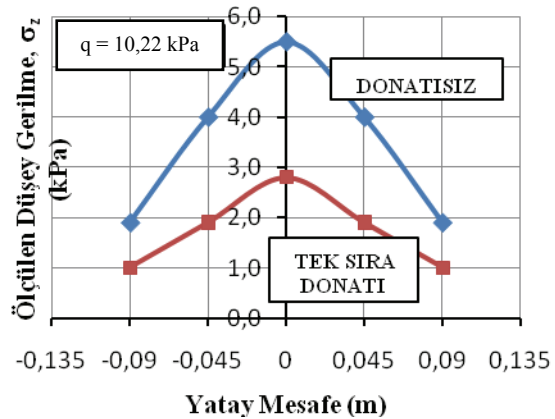
Hazırlanan kum zemin içerisinde beş farklı derinlikte ($Z=0,5D$, $Z=1,0D$, $Z=1,5D$, $Z=2,0D$, $Z=2,5D$) ve düşey konumda yerleştirilen algılayıcılar yardımıyla

donatılı ve donatısız durumlarda ölçümler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak aşağıda sunulmuştur.

Şekil 18'den, $Z=0,5D$ derinlikte, uygulanan düşey gerilmeye bağlı olarak temel merkezi altında donatılı ve donatısız durumda ölçülen düşey gerilme değerleri görülmektedir. Donatılı ve donatısız durumda, uygulanan yükün ölçülen gerilme ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Donatılı ve donatısız durumlar için doğru denklemi türetildiğinde, sırasıyla $\sigma_z=0,29q$ ve $\sigma_z=0,56q$ elde edilmiştir. Buna göre, temel yüzeyinden $u=0,3D$ derinlikte 1 sıra donatı kullanılması durumunda tüm yük kademelerinde, donatısız duruma göre, ortalama olarak gerilmelerde %27 oranında ilave azalmalar meydana gelmiştir. Şekil 19, 20, 21, 22 ve 23'te (Tablo 5, 6, 7, 8 ve 9'da is sayısal olarak) ise, 1 sıra donatı kullanılması durumunda, temel merkezinde, $Z=0,5D$, $Z=1,0D$, $Z=1,5D$, $Z=2,0D$, $Z=2,5D$ derinliklerinde, donatısız duruma göre, sırasıyla %27, %13, %4, %3, %1 oranlarında fazladan gerilme azalmaları meydana geldiği, aynı derinliklerde yatay bir düzlemde temel merkezinden $X=1,0D$ kadar yatay mesafede bu oranların daha da düştüğü görülmüştür.



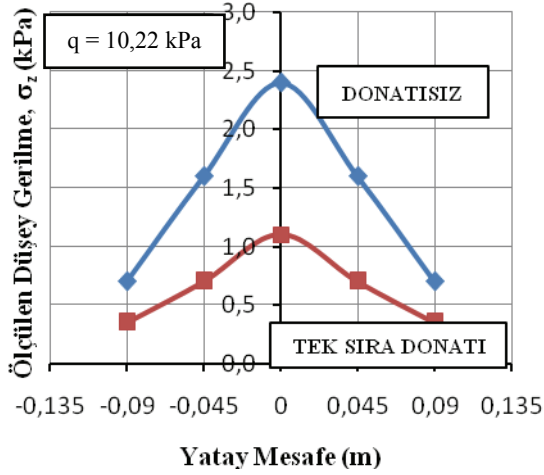
Şekil 18. $Z=0,5D$ Derinlikte Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 0,5D)



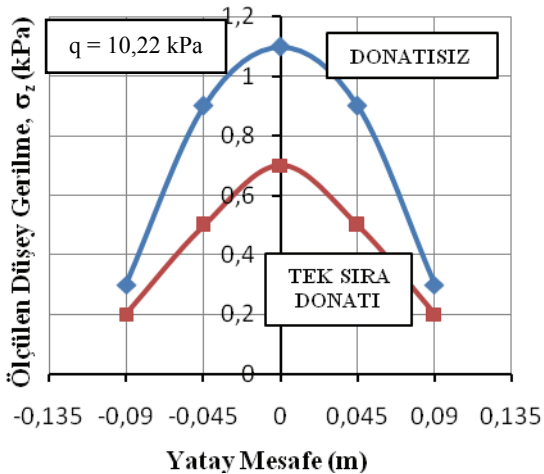
Şekil 19. $Z=0,5D$ 'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 0,5D)

Tablo 5. Z=0,5D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 0,5D)

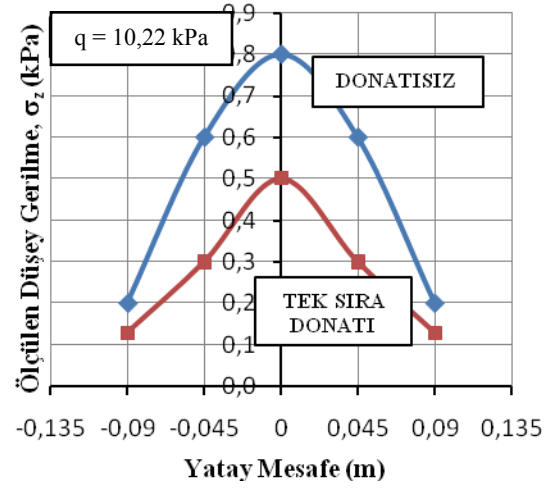
Z=0,5D					
X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Donatısız	1,70	4,00	5,60	4,00	1,70
Donatılı	1,00	1,90	2,80	1,90	1,00

**Şekil 20.** Z=1,0D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 1,0D)**Tablo 6.** Z=1,0D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 1,0D)

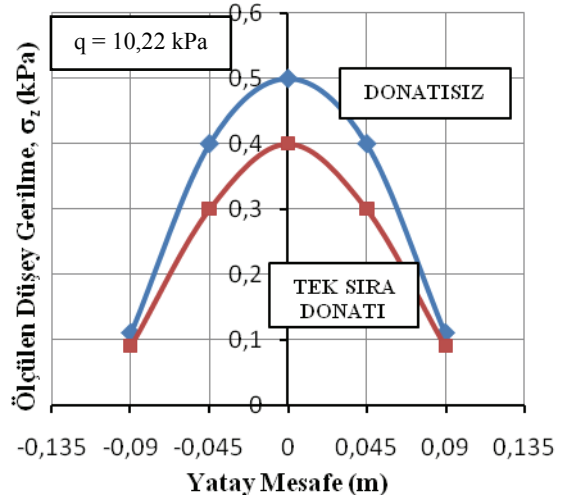
Z=1,0D					
X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Donatısız	0,70	1,60	2,40	1,60	0,70
Donatılı	0,35	0,70	1,10	0,70	0,35

**Şekil 21.** Z=1,5D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 1,5D)**Tablo 7.** Z=1,5D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 1,5D)

Z=1,5D					
X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Donatısız	0,30	0,90	1,10	0,90	0,30
Donatılı	0,20	0,50	0,70	0,50	0,20

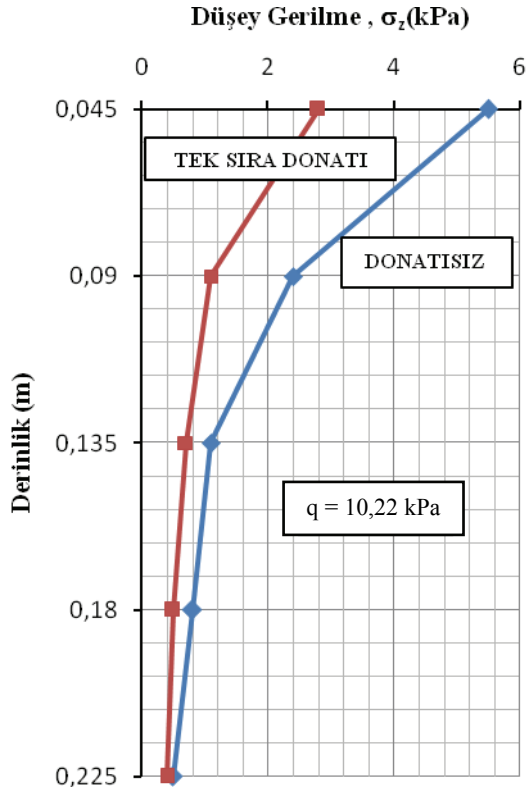
**Şekil 22.** Z=2,0D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 2,0D)**Tablo 8.** Z=2,0D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 2,0D)

Z=2,0D					
X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Donatısız	0,20	0,60	0,80	0,60	0,20
Donatılı	0,13	0,30	0,50	0,30	0,13

**Şekil 23.** Z=2,5D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 2,5D)**Tablo 9.** Z=2,5D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 2,5D)

Z=2,5D					
X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Donatısız	0,10	0,40	0,50	0,40	0,10
Donatılı	0,10	0,30	0,40	0,30	0,10

Şekil 24 ve Tablo 10'dan, temel yüzeyinden 0,225 m (Z=2,5D) derinlikte, temel yüzeyine göre, gerilmelerde donatısız durumda %95, donatılı durumda ise %96 oranında azalmalar meydana gelmektedir.

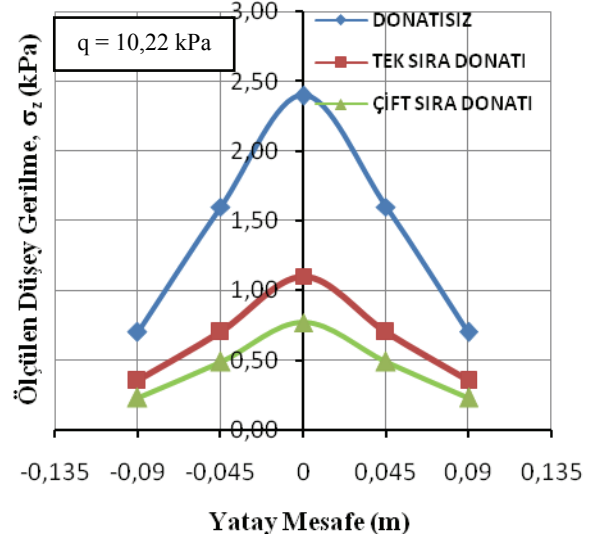


Şekil 24. Donatısız ve Donatılı Durumda Farklı Derinliklerde Meydana Gelen Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Vertical Stress Values at Unreinforced and Reinforced Soils at Different Depth)

Tablo 10. Donatısız ve Donatılı Durumda Farklı Yük Kademelerinde Meydana Gelen Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Vertical Stress Values at Unreinforced and Reinforced Soils at Different Depth)

DERİNLİK	TEMEL MERKEZİNDE	
	DONATISIZ	DONATILI
Z=0,5D	5,60	2,80
Z=1,0D	2,40	1,10
Z=1,5D	1,10	0,70
Z=2,0D	0,80	0,50
Z=2,5D	0,50	0,40

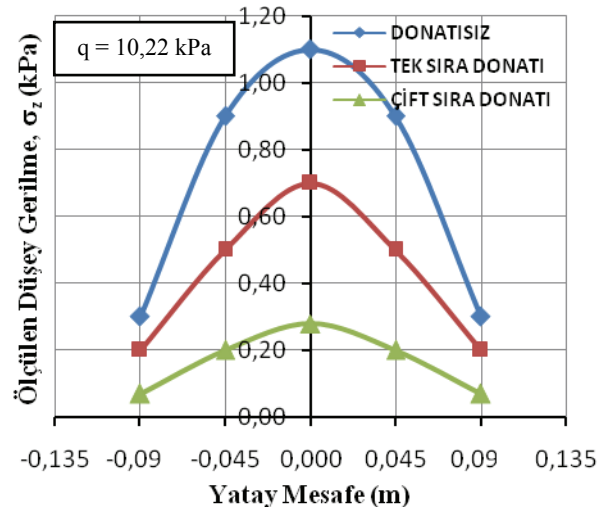
Ayrıca Şekil 25, 26 ve 27'de (Tablo 11, 12 ve 13'de ise sayısal olarak) ise, çift sıra donatı kullanılması durumunda, donatısız duruma göre, temel merkezinde, Z=1,0D, Z=1,5D ve Z=2,0D derinliklerinde sırasıyla %16, %8 ve %6 oranlarında, tek sıra donatılı duruma göre ise, sırasıyla %3, %4 ve %3 oranlarında fazladan gerilme azalmaları meydana gelmiştir.



Şekil 25. Z=1,0D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 1,0D)

Tablo 11. Z=1,0D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 1,0D)

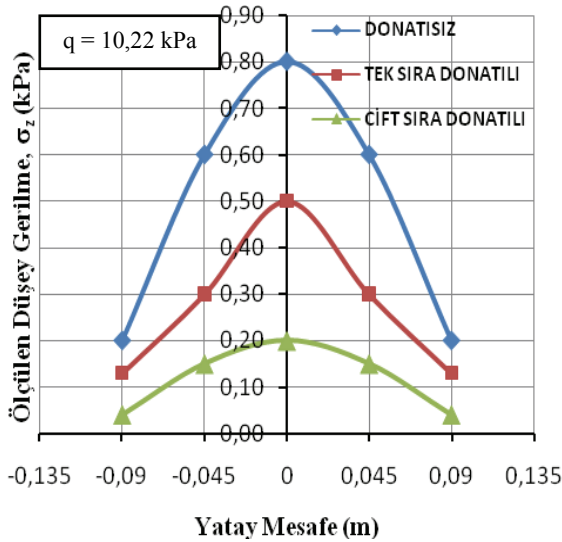
Z=1,0D					
X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Donatısız	0,70	1,60	2,40	1,60	0,70
Tek Sıra Donatı	0,35	0,70	1,10	0,70	0,35
Çift Sıra Donatı	0,23	0,49	0,77	0,49	0,23



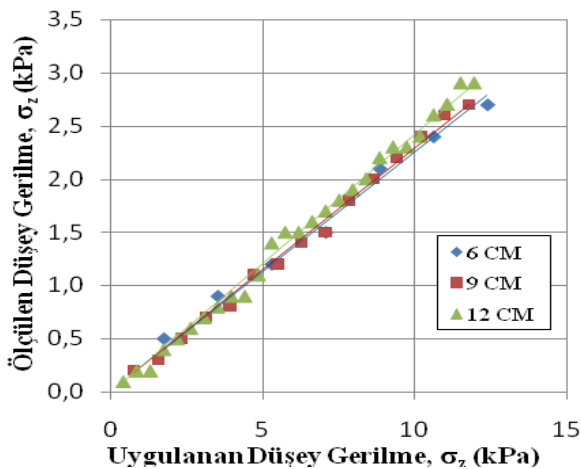
Şekil 26. Z=1,5D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 1,5D)

Tablo 12. Z=1,5D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 1,5D)

Z=1,5D					
X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Donatısız	0,30	0,90	1,10	0,90	0,30
Tek Sıra Donatı	0,20	0,50	0,70	0,50	0,20
Çift Sıra Donatı	0,07	0,20	0,28	0,20	0,07

**Şekil 27.** Z=2,0D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 2,0D)**Tablo 13.** Z=2,0D'de Düşey Gerilmeler (The Vertical Stress Values at the Depth of 2,0D)

Z=2,0D					
X →	-1,0D	-0,5D	0,0D	0,5D	1,0D
Donatısız	0,20	0,60	0,80	0,60	0,20
Tek Sıra Donatı	0,13	0,30	0,50	0,30	0,13
Çift Sıra Donatı	0,04	0,15	0,20	0,15	0,04

**Şekil 28.** Ölçek Etkisinin Araştırılması (Investigation of Scale Effect)**4.4. Ölçek Etkisinin Araştırılması (Investigation of Scale Effect)**

Büyük ölçekli deneyler ile küçük ölçekli model deneyler arasında belirlenen ilişki "ölçek etkisi" olarak adlandırılmaktadır. Geoteknik bir tasarım açısından önemli olduğu için, bu çalışmada ölçek etkisi de araştırılmıştır. Bu amaçla, 3 farklı çaptaki (D=6cm, D=9cm ve D=12cm) dairesel temeller altında, aynı derinlikte (Z=1,0D) oluşan ilave düşey gerilmeler belirlenerek, Şekil 28'de grafik halinde toplu olarak sunulup karşılaştırılmıştır.

Şekilden, farklı çaplarda dairesel temeller altında ve Z=1,0D'de yapılan ölçümlerden gerilmenin doğrusal olarak artış gösterdiği, deney yapılan kum zeminde kayda değer herhangi bir ölçek etkisi olmadığı görülmüştür.

5. BULGULAR (FINDINGS)

Bu çalışmada, donatısız ve geogrid donatılı kumlu zeminler üzerine oturan dairesel temellerden dolayı zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme davranışları laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmada daha çok çapı 9cm olan dairesel temel kullanılmıştır. Ayrıca ölçek etkisini araştırmak amacıyla, 6 ve 12cm çaplı dairesel temeller üzerinde de sınırlı sayıda deneyler yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda;

1. Geogrid donatının kullanıldığı deneylerde, donatılarda herhangi bir kopma veya sıyrılmaya gözlenmemiştir.
2. Temel yüzeyinden u=0,3D derinlikte tek sıra donatı kullanılması durumunda Z=0,5D derinlikte temel merkezinde tüm yük kademelerinde gerilmelerde ortalama olarak %72,6 oranında azalmalar meydana geldiği, donatısız durumda ise gerilmelerdeki azalmanın %45,2 oranında kaldığı görülmektedir. Bu durumda, bir sıra donatı ile dahi, donatısız duruma göre %27'ye varan fazladan gerilme azalmaları oluştuğu görülmüştür.
3. Temel merkezinde Z=0,5D derinlikte tek sıra donatı kullanıldığında, donatısız duruma göre gerilmelerde %27'e varan fazladan azalmalar meydana gelirken, bu oran Z=2,5D derinlikte %1'lere düşmektedir. Ayrıca Z=1,0D derinlikte tek sıra donatı kullanıldığında, donatısız duruma göre, %13'e varan fazladan azalmalar meydana gelirken, çift sıra donatı kullanıldığında bu oranın %16 olduğu görülmüştür. Z=2,0D derinlikte ise, tek sıra donatı kullanıldığında, donatısız duruma göre, %3'e varan fazladan azalmalar meydana gelirken, çift sıra donatı kullanıldığında bu oranın %6 olduğu görülmüştür. Bu durumda aşağı kısımda da donatı sayısı artırılarak istenilen gerilme değerlerine dolayısıyla istenilen taşıma

gücüne ve oturma miktarına ulaşılacağı anlaşılmıştır.

4. Uygulanan düşey yüke bağlı olarak oluşan gerilme değerlerinin temel merkezinde maksimum bir değer verdiği ve temel merkezinden $X=1,0D$ yatay mesafede donatısız durumda, $Z=0,5D$ derinlikte gerilmeye %70 civarında azalmalar meydana gelirken, $Z=2,5D$ derinlikte bu oranın % 80 civarında olduğu, tek sıra donatı durumunda ise, $Z=0,5D$ derinlikte gerilmeye %64 civarında azalmalar meydana gelirken, $Z=2,5D$ derinlikte bu oranın %75 civarında olduğu belirlenmiştir. Buradan, donatı kullanılması durumunda, temel merkezinden yatay bir düzlem boyunca uzaklaştığında zeminin herhangi bir derinliğinde gerilme değerlerinin donatısız duruma göre %5–6 mertebelerinde daha düşük oranda azaldığı görülmektedir.

6. SONUÇLAR (RESULTS)

Kumlu zeminler üzerine inşa edilen dairesel temelden etkileyen yükün artmasıyla zeminde ölçülen gerilme değerleri artmakta ve zeminin yüklenme durumundan bağımsız olarak gerilme dağılımının yatay ve düşey düzlemler boyunca hep aynı formda olduğu ve bu formdaki eğrilerin eğiminin doğrusal olmadığı görülmüştür.

Geogrid donatı kullanılarak zeminlerin ıslah edilmesi sonucunda, temel merkezinden yatay bir düzlem boyunca uzaklaştığında zeminin herhangi bir derinliğinde gerilme değerlerinin donatısız duruma göre daha düşük oranda (%5–6 mertebeleri) azaldığı görülmektedir.

Ayrıca, donatı sayısı artırılarak temel zeminindeki gerilme değerlerinin istenilen seviyeye indirilebileceği anlaşılmaktadır.

Böylece temellere gelen yüklerin zemine aktarılırken, geogrid donatı sayesinde, zeminlere uniform olarak etki edeceği, dolayısıyla meydana gelecek olan farklı oturumların, donatısız duruma göre donatılı durumda bu oranda daha az olacağı anlaşılmaktadır.

Ayrıca, temellere gelen yükler zemine aktarılırken, geogrid donatı kullanılması durumunda, derinlik boyunca donatısız duruma göre, daha fazla gerilme azalmaları (%27 mertebelerinde) meydana gelmektedir. Bu da, geogrid donatı kullanımı ile kum zeminlerde rijitlik artışı meydana geleceğini, kum zeminlerin taşıma kapasitesinin artacağını ve oturma miktarının ise azalacağını göstermektedir.

Farklı çaplardaki temellerle deney yapılan kum zeminde kayda değer herhangi bir ölçek etkisi bulunmadığı görülmüştür.

Kumlu zeminler üzerinde yapılan bu deneysel çalışma sonucunda, geogrid donatı kullanılarak zayıf zeminin, taşıma gücünün artırılacağı, oluşacak oturumların azaltılacağı ve farklı oturumların önlenebileceği anlaşılmaktadır.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

c	: Kohezyon
D	: Dairesel Temelin Çapı
C_u	: Üniormluk Katsayısı
C_c	: Süreklilik Katsayısı
D_r	: Relatif sıklık oranı
D_{10}	: Efektif dane çapı
D_{30}	: Granülometre Eğrisinde %30'a karşılık gelen dane çapı
D_{60}	: Granülometre Eğrisinde %60'a karşılık gelen dane çapı
E	: Elastisite modülü
K_0	: Toprak basıncı katsayısı
q	: Yayılı yük
u	: Donatının temel yüzeyinden derinliği
z	: Yatay mesafe
ϕ	: Kayma mukavemet açısı
γ	: Birim hacim ağırlığı
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı
μ	: Poisson oranı
σ_x	: Yatay gerilme
σ_z	: Düşey gerilme

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın birinci yazarı TÜBİTAK tarafından yüksek lisans aşamasında, yurt içi yüksek lisans bursu ile desteklenmiştir. Ayrıca doktora aşamasında ise yurt içi doktora bursu ile desteklenmeye devam etmektedir. Birinci yazar bu desteklerden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kumbasar, V. ve Kip, F., **İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği**. Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 350s, 1984.
2. Uzuner, B.A., **Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği**, Ankara, Teknik Yayınevi, 1998.
3. Sağlamer, A., **Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi**, Ph. D. Thesis in Civil Engineering, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1972.
4. Özyayın, K., **Zemin Mekaniği**. MEYA Matbaacılık ve Yayıncılık, İstanbul, 395s, 1989.
5. Terzaghi, K., Old Earth Pressure Theories and New Test Results, **Engrg. News-Rec.**, 85 (14), 632-637, 1920.

6. Donath, A.D., **Untersuchungen Veber den Erddruck auf Stuetzwaende. Zeitschrift fuer Bauwesen**, Berlin, Germany, 1891.
7. Hanna, A. and Ghaly, A., Effects of K_0 and Overconsolidation on Uplift Capacity. **Journal of Geotechnical Engineering**, 118 (9), 1449-1469, 1992.
8. Scheidig and Kögler, **Die Verteilung Senkrechter Drücke in Schüttungen**, Dissertation, Freiberg, 1926.
9. Kjellman, W., Report on an Apparatus for the Determination of the Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest. Proc. **1st Int. Conf. on Soil Mech. And Fnd. Engrg.**, Harvard Printing Office, Cambridge, Mass., 2, 16-20, 1936.
10. Bayliss, J., **Desing, Calibration and Use of The Lateral Earth Pressuremeter**. MS Thesis, Princeton University, 1948.
11. Hendron, A.J., **The Behaviour of Sand in One Dimensional Compression**. Ph. D. Thesis, University of Illinios, USA, 1963.
12. Jaky, J., Pressure in Soils. Proc. **2nd Conf. On Soil Mech. and Found. Engrg.**, A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 1, 103-107, 1948.
13. Cho, S. and Vipulanandan, C., **Verification of Stress Distribution in a Soil Box**, 1998.
14. Van Horn, A.D., A Study of Loads on Underground Structures. **Part III, Iowa Engineering Experiment Station**, 1963.
15. Hanna, A.M. and Soliman-Saad, N., Effect of Compaction Duration on the Induced Stress Levels in a Laboratory Prepared Sand Bed. **Geotechnical Testing Journal**, 24 (4), 430-438, 2001.
16. Laman, M. ve Keskin, M.S., Kumlu Zeminlerde Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi. **Türkiye Mühendislik Haberleri**, Sayı 431-2004/3, 53-57, 2004.
17. Laman, M., Keskin, M.S. ve Yıldız, A., Farklı Sıklıktaki Kumlu Zeminlere Oturan Dairesel Temeller Altında Gerilme Analizi, **Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi**, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.
18. Keskin, M.S., Laman, M. ve Baran, T., Kuma Oturan Kare Temeller Altında Oluşan Düşey Gerilmelerin Deneysel Tespiti ve Sayısal Analizi, **İMO Teknik Dergi**, pp. 4521-4538, No 299, 2008.
19. Chuang, Y., Songyu, L., Linyou, P. and yuanqiang, C., **The Characteristic of Vertical Stress in Fill of the Piled Embankments**, GeoHunan International Conference: Challenges and Recent Advances in Pavement Technologies and Transportation Geotechnics, China, 2009.
20. Bağrıaçık, B., **Zeminlerdeki Gerilme Durumlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2010.
21. Yıldız, A., **Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi**, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2002.