

# ZEMİN GERİLMELERİNİN SAYISAL GERİLME ÇÖZÜMLEMESİ YÖNTEMİYLE TAHMİNİ

Cevdet Emin EKİNCİ, Müge Elif ORAKOĞLU\*

## Özet

Bu çalışmada tekil ve uniform yükün temel zemini üzerinde oluşturdukları gerilmeler sayısal gerilme çözümlemesi yöntemiyle bilgisayar ortamında modellendi. Zeminlerin elek analizi, kıvam limit değerleri, optimum su muhtevası, maksimum kuru birim hacim ağırlık ve şişme yüzdeleri belirlendi. Sonuç olarak; Phase2 bilgisayar programı ile modellenen zeminlerde uniform yük altında oluşan gerilme dağılımı ile tekil yük altındaki gerilme dağılımı arasında farklar gözlemlendi. Her iki yükün gösterdiği gerilme değerleri zemin emniyet gerilmesinden düşük olduğu anlaşıldı. Böylece sayısal gerilme çözümlemesi yöntemi sayesinde çok daha kısa sürede yapı-zemin etkileşimi ve zemin gerilme değerleri belirlenmiş oldu.

**Anahtar Kelimeler:** Phase2, Uniform Yük, Tekil Yük, Gerilme Faktörü, Temel Zemini

## PREDICTION WITH NUMERICAL STRESS ANALYSIS METHOD OF SOIL STRESSES

### Abstract

In this study, Stress factors are created on the foundation soil of point load and uniform load are modeled with finite elements method in computer. Engineering properties of soils under the sieve analysis, the limit values of consistency, optimum water content, maximum dry unit weight and swelling percentages were determined. As a result, on soils modeled by computer program, Phase2, under a uniform load consisting of stress distribution and under a point load consisting of stress distribution with the observed differences. Stress values shown in both the load is lower than soil safety factor. For this reason, the building to be constructed shall be transported easily to the foundation soil.

**Keywords:** Phase2, Uniform Load, Point Load, Strength Factor

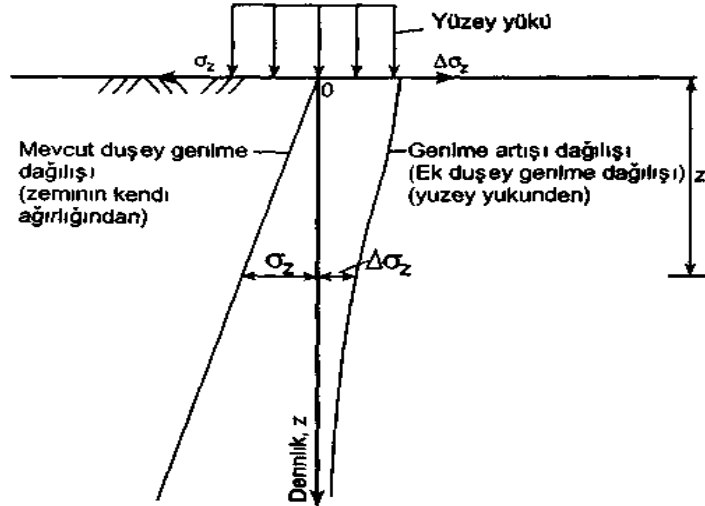
## 1. GİRİŞ

Zemin deformasyon problemlerinde, özellikle de oturma hesaplarında, kırılmadan (göçme) önceki safhalarda, yüzey ya da yüzeye yakın yüklerden, zeminde oluşan gerilmelerin, yer değiştirmelerin bilinmesi gerekir. Zeminin karmaşık olmasından dolayı, zemin için gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Bu nedenle, yaklaşık olmasına rağmen, genellikle “Elastisite Teorisi” kullanılmaktadır. Elastisite Teorisi kullanılırken, zemin için; elastik olup, gerilme-deformasyon ilişkisi doğrusaldır. Yani burada “Hooke Yasası” geçerlidir. Zemin ortamı homojendir. Diğer bir deyişle, elastik sabitler, Elastisite Modülü ve poisson oranı her noktada aynıdır. Zemin ortamı izotropdur. Özellikleri

\* Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ  
E-posta: [morakoglu@firat.edu.tr](mailto:morakoglu@firat.edu.tr)

bir noktada, her doğrultuda aynıdır. Zemin ortam, yarı-sonsuzdur. Yani bir düzlemin altında, her yönde, sonsuz uzunlukta uzanır. Gerçekte bu kabullerin çoğu gerçekçi değildir, bu kabullerle makul sonuçlar alınabilmektedir.

Zemin yüzeylerine gelen yüklerden dolayı, zemin ortamında sadece düşey doğrultuda gerilme artışları meydana gelmez. Diğer doğrultularda da gerilmeler oluşur. Şekil 1’de zemin yüzeylerine gelen yükler ve dağılımları görülmektedir (Uzuner, 2005).

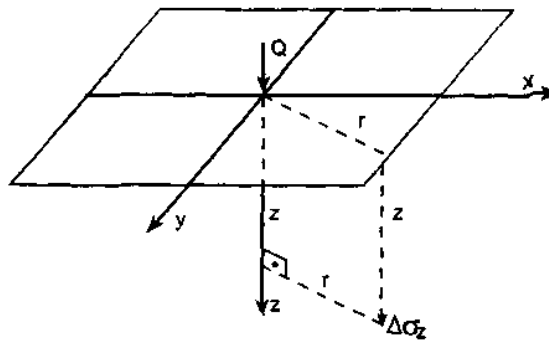


Şekil 1. Zeminde Mevcut Düşey Gerilme ve Düşey Gerilme Artışı Dağılımları (Uzuner)

Yüzey yüklerinden dolayı zemindeki gerilme artışları çeşitli biçimlerde tanımlanmaktadır. Eşit düşey gerilme artışlarına sahip noktaları birleştiren eğriler izobarlar, herhangi bir derinlikte, yatay bir düzlem veya doğrultu üzerindeki düşey gerilme artışının grafiksel gösterimi ve herhangi bir  $r = \text{sabit}$  uzaklıktaki bir düzlem veya doğrultudaki düşey gerilme artışının grafiksel gösterimi olarak farklı olarak zemin üzerindeki gerilmeler gösterilebilir. Çalışmada kullanılan bilgisayar programı gerilmeleri; uniform şerit ve kare temel için  $0.2q$  değeri; şerit yükü için  $3B$  derinliğine, kare yükte ise  $1.5 B$  derinliğine kadar inebilen izobarlar olarak göstermektedir (Çelik, 2004).

### 1.1 Tekil Yük Altındaki Gerilme Artışları

Boussinesq denklemleri hem kartezyen koordinatlarda hem de kutupsal koordinatlarda ifade edilebilir. Bu gerilmelerin bulunabilmesi için (Cernia 1995) tarafından bazı denklemler önerilmektedir. Tekil bir yükten dolayı zeminde oluşan Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Tekil Bir Yükten Dolayı Zeminde Oluşan Gerilmeler (Uzuner, 2005)

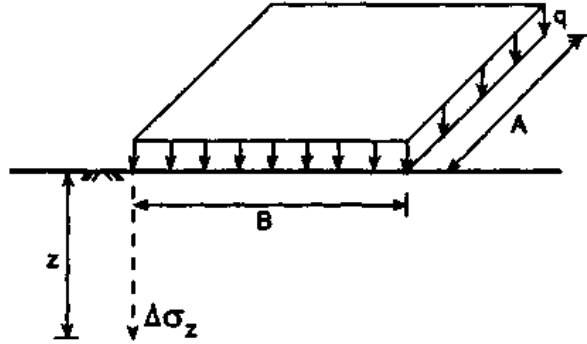
Boussinesq (1885), lineer, elastik, homojen, izotrop, yarım sonsuz ortamda, bir yüzey tekil yükünden oluşan gerilme problemini çözdü ve Q yüzey yükünden dolayı, z derinliğinde, r yatay uzaklığındaki bir noktada oluşan düşey gerilme artışı,  $\Delta\sigma_z$ , için şu

$$\text{bağıntıyı verdi: } \Delta\sigma_z = \frac{3}{2\pi} \left[ \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right]^{5/2} \frac{Q}{z^2} = K_B \frac{Q}{z^2}$$

$K_B$ : Boussinesq etki faktörü olup, Düşey gerilme artışı,  $\Delta\sigma_z$ , zeminin elastisite modülü (E) ve poisson oranından ( $\nu$ ) bağımsızdır (Uzuner, 2005; Turgut, 2008).

## 1.2 Uniform Yük Altındaki Gerilme Artışları

Üniform yüklü bir yükle bir alanın, bir köşesi altında z derinliğindeki bir noktadaki düşey gerilme Şekil 3'de verilmiştir. Üniform dikdörtgen yüklü temellerin altındaki zeminde oluşan kayma gerilmelerinin analitik çözümü sonunda elde edilen ifadeler, dörtgenin köşe noktası altındaki bir derinlikte oluşacak kayma gerilmesi artışını vermektedir. Köşe noktası dışında bir noktada kayma gerilmesi artışının hesaplanmak istenmesi durumunda, yüklü alan farklı parçalara bölünerek, her parçanın o noktada oluşturacağı etkinin belirlenmesi ve süperpozisyon kuralı ile net gerilme artışının hesaplanması gerekmektedir.



Şekil 3. Üniform Yüklü Dikdörtgen Alanın Bir Köşesi Altında Düşey Gerilme Artışı (Uzuner, 2005)

## 2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında zeminlerin mühendislik özellikleri belirlenerek sonlu elemanlar yöntemini esas alan Phase2 bilgisayar programıyla uniform ve tekil yük altındaki zemin gerilmeleri karşılaştırılmıştır.

Zemin numunelerinin alınmasında ve taşınmasında karşılaşılan problemler ile dayanım deneylerinin karmaşık-pahalı olması, bu tip deneylerin yapılmasını zorlaştırmaktadır (Aksoy, 2008). Bu zorlukları giderebilmek için bilgisayar programlarına yönelim hız kazanmıştır. Phase2, iki boyutlu yeraltı açıklıkları (tünel, galeri vb.) ve yerüstü kazılarının (şev, temel vb.) gerilme duraylılık çözümlerinde kullanabilen sonlu elemanlar tabanlı bir bilgisayar programıdır. Bu program, çok çeşitli kaya ve zemin mekaniği problemlerinin elastik (izotropik, düzlemsel anizotropik, ortotropik) ve elasto-plastik çözümlerini iki boyutlu (düzlem birim deformasyon, aksel simetrik) olarak başarıyla yapabilmektedir. Sayısal gerilme çözümlerinde sonuçların birbiriyle karşılaştırılabilmesi için mekanik özellikler ve davranış açısından aynı ya da birbirine çok yakın malzemelerin göz önünde bulundurulması gereklidir (İpşir, 2005). Örneğin; Mohr-Coulomb yenilme ölçütünün kullanıldığı çözümlerlerdeki dayanım özellikleriyle birbirine eşdeğer olması zorunludur.

Aksi halde, farklı yenilme ölçütlerine göre yapılan çözümleme sonuçlarının karşılaştırılması anlamsız olacaktır. Programda, zemin özelliklerini tanımlayabilmek amacıyla Mohr-Coulomb modeli kullanılmış ve düzlem deformasyon şartlarının geçerli olduğu kabul edilmiştir. Phase2 programı sıvılaşma analizi yapmadığından, dinamik analizlerde sıvılaşma göz önünde bulundurulmamıştır. Analizlerde kullanılan Mohr-Coulomb modeli için beş parametreye ihtiyaç vardır. Bunlar, zeminin elastisite modülü, poisson oranı, zeminin kayma mukavemeti açısı, kohezyon ve genişleme açısıdır.

### 3. Bulgular

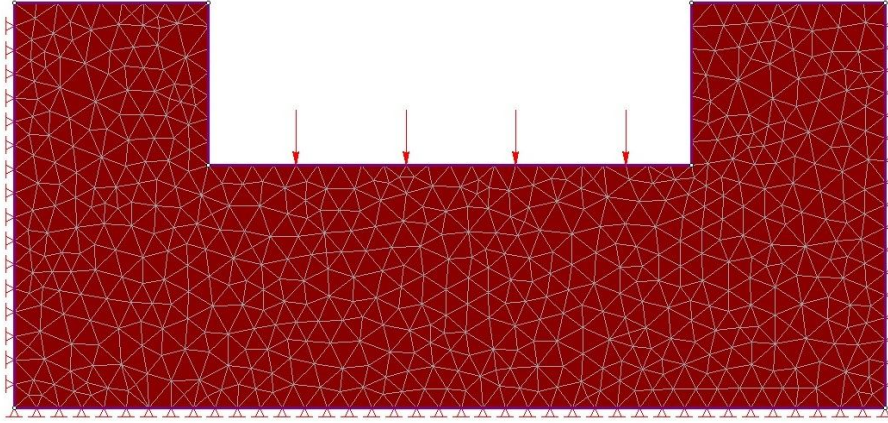
Zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla, araziden alınan örselenmiş zemin numuneleri üzerinde yapılan elek analizi, kıvam limitleri, proktor, CBR deneyleri ve temin edinilen SPT deney sonuçlarından yararlanılmıştır (Orakoğlu ve Ekinci, 2010; Bowles, 1979; Özaydın, 1989). Temel çukurlarından alınan zemin örneklerinin 3'ü tekil yükün etkidiği alandan (T1, T2, T3), 3'ü de uniform yükün etkidiği alandan (U1, U2, U3) alınmıştır. Yapılan analizlere ait sonuçlar Tablo 1'de gösterildiği gibidir.

Tablo 1. Zeminlerin Mühendislik Özellikleri

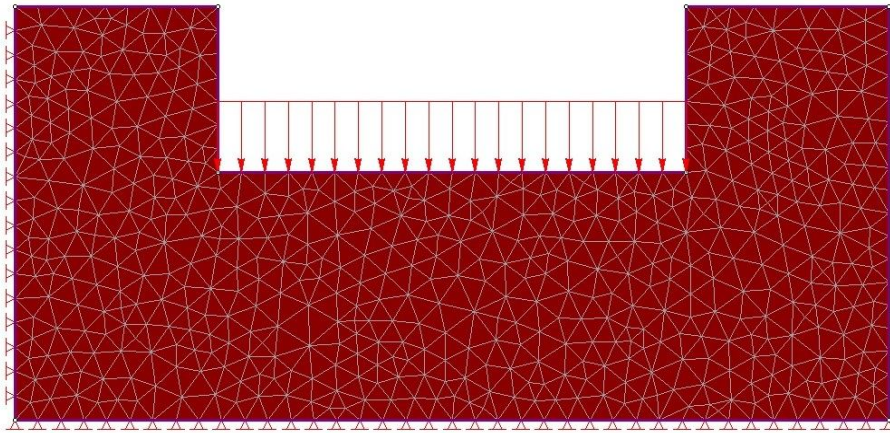
		T1	T2	T3	U1	U2	U3
Kıvam Limitleri	Likit Limit (%)	25,1	22,9	26,6	31,5	26,2	30,8
	Plastisite İndisi (%)	3,3	2,4	2,7	10,5	5,5	9,8
Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması		SM	SM	ML	CL	CL-ML	CL
Proktor Deneyi	Optim. Su İçeriği (%)	12,20	11,23	11,22	13,62	13,81	16,40
	Maksimum Kuru Yoğunluk (t/m <sup>3</sup> )	1,823	1,882	1,655	1,768	1,724	1,773
CBR	Şişme Yüzdesi	0,13	0,12	0,08	0,31	0,23	0,20

Tekil yükün etkidiği alandaki zeminlerin optimum su muhtevaları %11,55, likit limit %24,86, plastisite indisi %2,8, şişme yüzdeleri 0,08-0,13 arasında olup, bu zeminler siltli-kum ve düşük plastisiteli siltten oluşmuştur. Uniform yükün etkidiği alandaki zeminlerin optimum su muhtevaları %14,61, likit limit %29,5, plastisite indisi %8,6 şişme yüzdeleri 0,20-0,31 arasında olup, bu zeminler düşük plastisiteli siltten ve kilden oluşmuştur. Ayrıca SPT sonuçlarına göre kumlu seviyeler için  $\gamma_n$ , 18kN/m<sup>3</sup>; içsel sürtünme açısının 27°; siltli-killi seviyelerinin  $\gamma_n$ , 20 kN/m<sup>3</sup>; kohezyon 5 kPa ve içsel sürtünme açısının 30° olduğu belirlenmiştir (Orhan, Özer ve Işık, 2004; Das, 1992).

Zemin mühendislik özellikleri belirlenen zeminlerin, Phase2 bilgisayar programı modellenmesi için radye temel tipinin uygulandığı bir bölge tercih edilmiştir. İncelenen temel çukurları, hem radye yükü hem de bina zati yükü etkisi altındadır. Bu temel çukurları üzerine etkiyen hem uniform yayılı yük hem de tekil yük altındaki dayanım değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir zemin modelinde her iki taraftan temel genişliğinin 20 katı kadar uzaklık alınmış ve modelin taban sınırı da yer altı su seviyesinin üzerinde 15 katı kadar derinlikte olacak şekilde tasarlanmıştır. Modelin genel görünümü Şekil 4-5 'de gösterilmiştir. Şekil 4 ve 5 'de de görülebileceği gibi, modelin yükleme bölgesi ortasından geçen düzleme göre bir simetri göstermektedir.



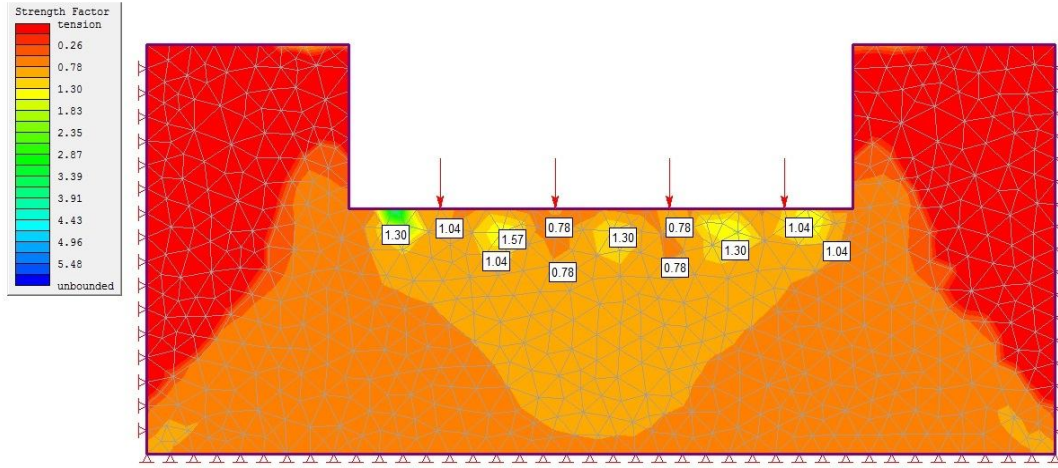
Şekil 4. Tekil Yük Altındaki Temel Zemininin Genel Görünümü



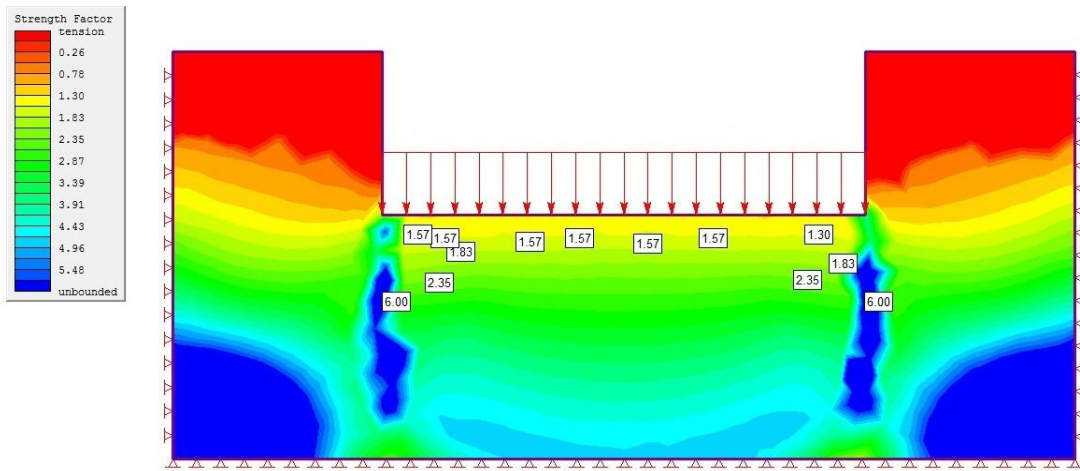
Şekil 5. Uniform Yük Altındaki Temel Zemininin Genel Görünümü

Sayısal gerilme çözümlerinde sonuçların birbiriyle karşılaştırılabilmesi için mekanik özellikler ve davranış açısından aynı ya da birbirine çok yakın malzemelerin göz önünde bulundurulması gereklidir. Örneğin; Mohr-Coulomb yenilme ölçütünün kullanıldığı çözümlerdeki dayanım özellikleriyle birbirine eşdeğer olması zorunludur. Aksi halde, farklı yenilme ölçütlerine göre yapılan çözümlerinin karşılaştırılması anlamsız olacaktır. Yapılan analizlerde Mohr-Coulomb modeli kullanılarak düzlem deformasyon şartlarının geçerli olduğu kabul edilmiştir.

Phase2 programıyla analizi yapılan zeminlerin dayanım parametreleri Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir. Burada her bir renk farklı bir sınır değerini ifade etmektedir. Temel zeminlerindeki bu basınç soğanları üzerlerine gelen tekil ve uniform yükleri güvenle taşıyabilmektedir. Bunların dışında kalan bölgelerde ise zemin emniyet gerilmesi aşıldığından temel zemini üzerindeki binalar için risk taşıyacaktır (Ardıç, 2006).



Şekil 6. Tekil Yük Altındaki Zeminlerin Dayanım Faktörleri



Şekil 7. Uniform Yük Altındaki Zeminlerin Dayanım Faktörleri

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Temel zeminlerine etkiyen tekil ve uniform yüklerin deformasyonlarının önceden belirlenmesi, zemin ortamında oluşturdukları gerilmelerin ve yer değiştirmelerin tahmin edilmesi konuyla yakından ilgili proje ekiplerine ve uygulamacılara avantaj sağlayacaktır. Zeminlerin karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı, gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapılması ve bu sonuçların uygulama sürecine yansıtılması oldukça zordur. Bundan dolayı, günümüzde, hem güvenilirlik hem de tutarlılık göstermesi açısından bilgisayar programlarıyla bu gerilmelerin belirlenmesi hız ve önem kazanmaya başlamıştır.

Bu çalışmada zeminlerin mühendislik özellikleri bazında modellenen temel zemini ve üzerine gelen tekil ve üniform yüklerin zeminlerde oluşturacağı gerilmeler elastisite teorisine uygun olarak belirlenmiştir. Zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi konusunda yapılan genel laboratuvar çalışmaları ve Phase2 programı ile yapılan analizler sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir. Buna göre;

- İnceleme alanındaki siltli kum tabakasının boşluk hacimleri fazla olduğundan bu mukavemet değerlerinin optimum su içeriği (%) ve maksimum kuru yoğunluk ( $t/m^3$ ) değerlerine göre uygun stabilizasyon yöntemleri (dinamik sıkıştırma, önceden yükleme, yeniden yerleştirme vb.) uygulandıktan sonra temel yatağı için uygun derinlik belirlenmelidir.

- İncelenen temel zeminler; siltli kum, düşük plastisiteli silt, düşük plastisiteli silt ve kilden oluşmaktadır. Yeraltı suyunun etkisi altında bulunan bu kohezyonlu zeminlerde şişme meydana geldiğinden (Tablo 1), bunun bir sonucu olarak da hasar verecek şişme veya göçmelerin önlenmesi için inceleme alanının önceden ıslatılması, nem bariyerleri ve su geçirmez membranların kullanılmasında fayda vardır. Ayrıca yeraltı suyu derinliğine bağlı olarak zeminlerde sıvılaşma tehlikesi olabileceği de göz ardı edilmemelidir.
- Şekil 6'da görüleceği üzere, tekil yük altındaki temel zemini yükün etki ettiği bölgelerde renk değişimine uğramış ve 0,78 olan gerilme değeri 1,04'e yükselmiştir. Derinliğe bağlı olarak bu yükün zemin üzerinde oluşturduğu gerilmede artış olmuştur. Zemin emniyet gerilmesi bakımından mevcut yük rahatlıkla bu zemine taşıtırılabileceği söylenebilir. Fakat, yine de temel zemini olası göçmelere karşı aşırı yüklemeye maruz bırakılmamalıdır.
- Şekil 7'de görüleceği üzere, uniform yük altındaki temel zemini tekil yük altındaki zeminden daha farklı bir gerilme deformasyonu göstermektedir. Gerilmeler eşit olarak zemin üzerine yayıldığı söylenebilir. Zemin emniyet gerilmesi değerinden küçük olan bu gerilmeler temel zemini üzerinde herhangi bir deformasyona oluşturma ihtimali çok düşüktür. İnceleme kapsamında zemine aktarılan tekil ve üniform yükler (Tablo 1) güvenle bu zeminin mühendislik özellikleri çerçevesinde taşıtırılabılır. Üniform yük altındaki zeminlerde oluşan gerilme değerlerinin derinlikle arttığı söylenebilir. Bunun temel nedenleri arasında zeminlerin konsolidasyon ve şişme özellikleri gösterilebilir.

## Kaynaklar

- Aksoy, H. S., 2008. Normal Konsolide Zeminlerin Tek Eksenli Kayma Dayanımlarının İstatistiksel Yaklaşımla Belirlenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi, 20 (3), 509-515.
- Ardıç, Ö., (2006). Analysis Of Bearing Capacity Using Discrete Element Method, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bowles, J.E., (1979). Physical and Geotechnical Properties of Soils. McGraw-Hill Book Company.
- Çelik, S., (2004), Zeminlerde Gerilme ve Deformasyon Özelliklerinin Yapay Sınır Ağları ile Modellenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Das, B.M., (1992). Soil Mechanics Laboratory Manual, Engineering Press. Texas.
- İpsir, S., (2005). Kaya Temellerin Taşıma Kapasitelerinin Kestiriminde Kullanılan Yöntemlerin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Orakoğlu, M.E. ve Ekinci, C.E., (2010). Elazığ Kent Merkezindeki Kohezyonlu Zeminlerin Kütle Özelliklerinin İncelenmesi. International Science and Technology Conference (ISTEC), Famagusta-Kıbrıs, 263-269,.
- Orhan, M., Özer, M. ve Işık, N., (2004). Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, Cilt 1. Ankara.
- Özaydın, K., (1989). Zemin Mekaniği. Meya Matbaacılık ve Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul.
- Turgut, P., (2008). *Tekil Temellerin Optimum Tasarımında Genetik Algoritma Kullanımı*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14:2.
- Uzuner, B.A., (2005). *Temel Zemin Mekaniği*, Teknik Yayınevi, Ankara, 189-206.