

PLAKA GERİLMELEME DENEY SONUÇLARININ TOPRAK VE KAYAÇ ZEMİNLERDE GÖSTERDİĞİ FARKLILIKLAR

Kemal DOĞAN, M. Kemal GÖKAY

S.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, KONYA

Makalenin Geliş Tarihi: 02.02.2006

ÖZET: Plaka yükleme deneyleri, kaya mekaniğinde ve farklı zemin mekaniği uygulamalarında kullanılan bir arazi deney yöntemidir. Bu deney, kayaçların ve seçilen toprak zeminlerin yerinde yük taşıma değerlerini ve davranışlarını vermektedir. Bu araştırmada; Konya Çimento Fabrikası kireçtaşı açık ocağında ve ilgili fabrika civarında bulunan bakir, pek ve pekişmiş toprak-zeminlerde yapılan plaka yükleme deneyleriyle farklı lokasyonların yük taşıma davranışları belirlenmiştir. Yüzeyindeki gevşek örtü tabakası sıyrılmış pek toprak zeminlerde yapılan plaka yükleme deney sonuçlarından, pek toprak-zeminlerin bakir toprak zeminlere göre daha fazla yük taşıma potansiyeline sahip oldukları görülmüştür. Bu araştırma kapsamında deney yapılacak toprak yüzeylerine önceden yapılan yük uygulamasının ilgili yerde toprak pekişmesine neden olmasından dolayı, bu yüzeylerin ister bakir toprak yüzeyleri ister önceden pekişmiş toprak yüzeyleri olsun yük taşıma davranışlarında az deformasyonla daha fazla yük taşıma yönünde davranış farklılıkları izlenmiştir. Aynı şekilde önceden yük uygulanmış kayaç yüzeylerinde yapılan plaka yükleme testlerinde, aynı düşey deformasyon değerinde plakaların taşıyabildiği yüklerde artışlar izlenmiştir. Bunun nedeni, kayaçlarda ilk yük uygulaması sırasında oluşan sıkılaştırmanın (deformasyonların), kayacın davranışını yük taşıma açısından pozitif yönde etkilemiş olmasıdır. Aynı etkileşim toprak yüzeylerde pekişme şeklinde oluşmakta ve benzer şekilde toprak-zeminlerin yük taşıma kapasitesini pozitif yönde etkilemektedir. Kayaç ve toprak yüzeylerin gösterdiği yük taşıma davranış farklılıkları (gerilme-deformasyon eğrileri) temel tasarımı yapan mühendislerin üzerinde durması gereken konular arasındadır. Bu özelliği ve şartlarını bilmek, yapılacak olan mühendislik hizmetlerinin zemin sağlamlılığı için önemlidir.

Anahtar sözcükler: Plaka yükleme deneyi, kayaçların ve toprağın taşıma kapasitesi.

Differences in Plate Loading Test Results Performed on Soil and Rock Surfaces

ABSTRACT: Plate loading test is an in-situ test and it can be used for rock mechanic and soil mechanic applications. It is conducted to determine load carrying capacity of the selected rock and soil masses. In this research, load carrying behavior of the limestone rock located at the quarry of the Konya Cement Factory and soil masses near this factory were determined. As the test results demonstrate that untouched soil surface and compacted soil surface had lower load carrying capacity with respect to the limestone rocks tested. Compacted soil surface showed also relatively additional load carrying behavior with respect to untouched soil surface. It was also observed that when the soil compacted by means of any additional load application, it's load carrying behavior is effected in positive manner. This behavior change was observed in this research at untouched and pre-compacted soil test places. Additionally preload application to rock surfaces leaded also positive influence on final load carrying behavior of the tested limestone surfaces. The reason of this effect was the compaction (deformation) occurred inside the rock masses during the first load applications. For design engineers who plan foundations of engineering applications located on different soil and rock masses, load carrying behavior differences are the design factors which should be double checked. It is important to obtain information on them and their properties for receiving stable rock and soil foundations.

Keywords: Plate loading tests, load carrying capacity of rocks and soil.

GİRİŞ

Plaka yükleme deneyleri, genellikle büyük çaplı mühendislik yapı temellerinin altında bulunan formasyonların (toprak veya kayaç) taşıyabilecekleri düşey yükün merak edilmesiyle ortaya çıkmıştır. Mühendislerin öngördüğü ve alınması gerekli bütün tedbirlere göre inşa edilen yapı iskeletlerinin temelinde bulunan zeminin, üzerindeki yükü taşıyamayacak özelliklerde olması; yapıyı etkileyecek ve zaman içinde yapının zemine batmasına neden olacaktır. Ayrıca mühendislik yapısının kendisinde oluşan çatlakların ilerlemesi sonucu belki de yapı yıkılacaktır. Mühendislik uygulaması olarak sıkça inşa edilen yapıların; tünel, viyadük, köprü, baraj kemeri, liman, kara ve demir yolu, bina veya gökdelen gibi yapılar olduğu düşünülürse ortaya çıkacak kayıpların büyüklüğü konusunda tahminler yapılabilir. Yerkürenin dış kabuğunu oluşturan toprak ve kayaçların yük taşıma kapasiteleri, bunların mukavemet özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle her birinin farklı yük taşıma karakterine sahip olması normal bir beklentidir. Toprak-zeminlerin ve kayaç-zeminlerin yük taşıma karakteristiğinin farklı olması, bu zeminlerin kendi aralarında çok sayıda alt gruba ayrılarak farklı yük taşıma özellikleri sergilemelerine neden olmaktadır. Zeminlerin yük taşıma özelliğindeki farklılıklar birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve farklı zamanlarda birçok araştırma yapılmıştır (Skempton, 1942; Meyerhof, 1955, 1965; Vesic, 1975; Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Gökay, 1988; Gökay, 2001; Ceylanoğlu ve Gül, 2004; Doğan, 2004, Gökay ve Doğan, 2004).

Mühendislikte incelenmesi gereken deney numuneleri, toprak veya kaya gibi özellikleri değişken kütlelerden alınıyorsa, bu kütlelerin gerçek özelliklerinin belirlenmesinde arazi deneyleri çok daha önem kazanmaktadır. Laboratuarda araziden alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerin, arazideki orijinal toprak veya kaya kütlelerini hangi oranda temsil ettiği ancak arazi deneyleri sayesinde kontrol edilebilir. Kaya mekaniği temel laboratuvar deneylerinin “kaya maddesi” üzerinde yapıldığı, laboratuvar deney föylerinin hemen başında vurgulanan bir uyanıdır. Buradaki amaç “kaya

maddesi” ile arazide bulunan “kaya kütleleri” arasındaki farkı öne çıkarmak ve deney yapan maden mühendisinin bunu asla unutmaması gerektiğini belirtmektir. Plaka yükleme deney sonuçlarının toprak ve kayaç zeminlerde nasıl farklılaştığının incelenmesi amacıyla yapılan bu araştırmada, özellikle arazideki deneylerin daha gerçekçi sonuçlar vermesi beklendiği için; deneyler Konya’nın Kuzey çıkışında bulunan Konya Çimento Fabrikası civarında seçilen lokasyonlarda yapılmıştır. Yapıların temelinde bulunabilecek zeminler, ilgili mühendislik yapısının nerede yapıldığıyla ilgilidir. Bununla birlikte zeminleri, mekanik davranış farklılığından dolayı toprak-zeminler ve kayaç-zeminler olarak iki ana gruba ayırmak gerekmektedir. Bu araştırmada ilgili 2 ana grubun özelliklerini ortaya koyması beklenen 3 farklı deney lokasyonu seçilmiştir. Seçilen lokasyonlar 3 farklı zemin çeşidini gösterecek şekilde ayarlanmıştır, bunlar; bakır toprak-zeminler, pekişmiş toprak-zeminler ve kayaç-zeminlerdir. Birinci türde, doğal toprak yüzeyi plaka yükleme deneyi için test yüzeyi olarak kullanılmıştır. Buradaki amaç doğal toprak zemin yüzeyinin yük taşıma davranışını bulmak ve diğer testlerle karşılaştırmaktır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar aynı zamanda doğal araziler üzerinde hareket etmek zorunda kalan; maden kamyonlarının, yükleyicilerin ve traktörlerin tekerleklerinden zemine uygulanacak baskı altında ne beklenmesi gerektiğini de gösterecektir. İkinci tür plaka deney lokasyonu pekişmiş toprak-zeminlerdir. Bu zeminler gevşek üst toprak seviyesinin kazılarak alınması sonucu, (toprak üzerinde yapılan inşaat temellerinin açılmasındaki durum gibi) alttan çıkan pek toprağı temsil ederler. Pekiştirilmiş toprak - zeminlerin karakteristiklerini görebilmek için ayrıca üzerinden kamyon, traktör ve otomobil gibi araçlar geçen toprak yolda da plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Üçüncü test lokasyonu olan kayaç-zeminler ise genelde sağlam olduğu düşünülen zeminlerdir. Arazide yapılan plaka yükleme deneyleri sayesinde kayaç-zeminler arasında farklılıkların olduğu daha önceki çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu araştırmada ise, düşük yük altında kayaç ve farklı özellikteki toprak zeminlerin sergiledikleri yük taşıma

davranış farklılıklarının incelenmesi hedeflenmektedir.

MATERYAL VE METOD

Plaka Yükleme Deneylerinin Uygulanması

Bu çalışma çerçevesinde gerçekleştirilen arazi çalışmaları Konya Çimento Fabrikası civarında (Konya'nın Kuzey-Doğusunda, Konya-Ankara karayolu 8. km'de) yapılmıştır (Doğan, 2004). Plaka yükleme deneylerinde seçilen zemin üzerine yük uygulayabilmek için, yükü oluşturacak ve ölçecek hidrolik bir krikoya ihtiyaç vardır. Ayrıca deneylerde seçilen zemin üzerine konulan plakalara yükleme yapabilmek için, hidrolik krikonun karşı destek alabileceği, zemine uygulanacak yüke göre daha fazla ağırlığa sahip, hareketsiz bir karşı reaksiyona ihtiyaç duyulmuştur. Arazide yapılan plaka yükleme deneyleri sırasında ilgili karşı destek, üzerindeki 3500 kg kumla beraber yaklaşık 4500 kg ağırlığa sahip bir traktör römorkundan alınmıştır (Şekil 1). Böyle bir karşı ağırlığın seçilmesi test lokasyonlarının değiştirilmesini kolaylaştırmıştır. Bu araştırma çalışmasında farklı lokasyonlarda toplam 36 adet arazi plaka

yükleme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan ekipman ve materyallerin özellikleri şu şekilde seçilmiştir;

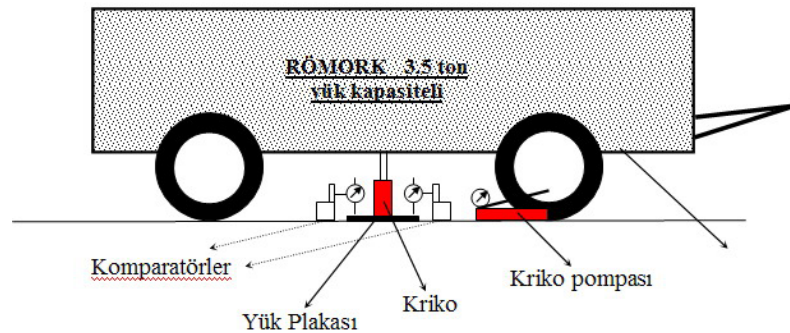
Yükleme plakaları

Farklı boyutlarda yüksek kaliteli çelikten hazırlanan plakalar (Çizelge 1) üzerlerine uygulanan yükü düzgün dağıtabilmeleri için 3 cm kalınlıkta hazırlanmıştır. Hazırlanan plakalar deney uygulamaları sırasında zemin şartlarına göre değişimli olarak kullanılmıştır. Hidrolik kriko, arazide yapılan plaka yükleme deneylerinde, seçilen yükleme plakasının üzerine normal yükü veren hidrolik kriko 10 ton yükleme kapasitesindedir. Hidrolik kriko, pompa ve kriko bölümü olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır (Şekil 1 ve 2). Bu iki ünite arası hidrolik hortum ile bağlanmıştır. Bu sistem sayesinde krikoya yağ basma sırasında hidrolik deney düzeneğinin sarsılması minimum seviyeye indirilmiş olmaktadır. Hidrolik krikonun bu özelliği sayesinde plaka yükleme deneyi sırasında ölçülen düşey deformasyon verilerinin hiçbir şekilde pompalama titreşiminden etkilenmemesi sağlanmıştır.

Çizelge 1. Arazi deneylerinde kullanılan plaka boyutları.

Table 1. Plate dimensions used at in-situ tests.

Plaka Şekli	Plaka Boyutu (mm)	Plaka taban alanı (cm ²)
Daire (çapı)	30	7,06
Kare	50 x 50	25,0
Dikdörtgen	50 x 80	40,0
Dikdörtgen	400 x 320	1280,0



Şekil 1. Plaka yükleme deney düzeneği.

Figure 1. Plate loading test set-up.

Mikrometreler

Plaka yükleme deneyi sırasında, plakanın düşey hareketini gösteren 2 adet, 0,01mm hassasiyetli ve en fazla 30 mm'ye kadar ölçme kapasiteli mikrometreler (komparatörler) kullanılmıştır.

Deneylerin Yapılması

Arazide yapılan plaka yükleme deney hazırlıkları, deney düzeneğinin seçilen deney lokasyonlarına ulaştırılmasıyla başlamıştır. Toprak-zeminlerde yapılacak deneylerin bakir ve pekişmiş toprak-zeminlerde yapılması planlandığı için, deney lokasyonları Konya-Selçuklu-Horozluhan mahallesi sınırları içerisinde seçilmiştir. Bu lokasyonlarda, yüzeyinde organik içeriği zengin killi ve çok ince taneli toprak bulunmaktadır. Kayaç-zemin deneyleri ise, toprak-zeminler için yapılan plaka yükleme test lokasyonlarına yaklaşık 2 km uzaklıktaki Konya Çimento Fabrikasına ait taşocağının tabanında (en derin basamak noktasında) bulunan kireçtaşı yüzeylerinde gerçekleştirilmiştir.

Bakir toprak-zemin deneyleri, uzun süre üzerinden hiçbir araç geçmemiş, herhangi bir tarım ekipmanıyla kazılmamış ve terk edilmiş bir tarlada yapılmıştır. Pekişmiş toprak deney lokasyonlarının bir bölümü (pek toprak yüzeyler için), bakir toprak için seçilen tarlanın alt katmanlarından; (yüzeydeki gevşek toprak deney öncesi kazılıp alındıktan sonra ortaya çıkan pek yüzeylerden) seçilmiştir. Bir başka bölümü ise (pekiştirilmiş toprak yüzeyler için) üzerinden yıllardan beri araç (kamyon, traktör, otomobil v.d.) geçmiş toprak yol üzerinden seçilmiştir. Kayaç-zeminler için seçilen deney lokasyonlarında, üzerinde deney yapılacak kayacın içinde patlatmalardan dolayı sonradan oluşmuş çatlakların olmadığından emin olunmuştur. Deney sırasında deney ekipmanlarının yükleme plakasını titretmesi, sarsması gibi özel durumlara izin verilmemiş, bu gibi durumların oluştuğu deneyler durdurularak iptal edilmiştir.

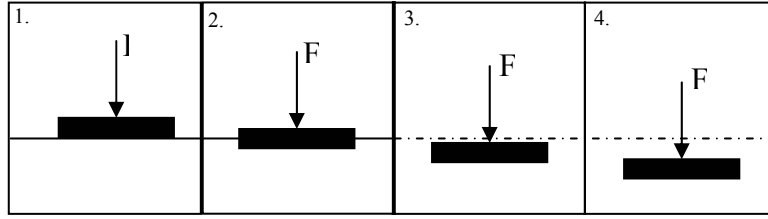
Arazide yapılan plaka deneyi uygulamalarında; zemine plakalar yerleştirilmeden önce zeminin yüzeyi temizlenmiştir. Üzerine yük uygulanarak deney

yapılan yerdeki toprak veya kayaç zemin içine batırılmaya çalışılan çelik plaka, yatay pozisyonda deney yerine yerleştirilmiştir. Plaka tabanının zemine tamamen temas etmesi, deneyin önemli ve vazgeçilmez ön şartıdır. Bu nedenle plaka tabanının zemine tamamen temas ettiğinden emin olduktan sonra hidrolik kriko plakanın üzerine yerleştirilir (Şekil 2). Kriko ile römork tabanı arasındaki boşluk, gerekli çelik plakalar yardımıyla doldurulduktan sonra deney plakası yük almaya hazır hale getirilmiş durumdadır. Bu aşamadan sonra tabana konulan plakanın iki çapraz köşesinde ki deformasyonları okuyabilmek için komparatörler yerleştirilmiştir (Şekil 2). Bu komparatörleri tutan tutturgaçlar deneyden etkilenmeyen kısımdadırlar ve komparatör uçları deney sırasında zemine batmaya zorlanacak plakanın hareketini ölçmeye ayarlanmıştır. Hazırlanan arazi plaka yükleme deney düzeneğine yük vermeye başlanmış ve kriko pompasından sabit hızla basılan hidrolik yağla plaka üzerindeki yük artırılmıştır. Krikodan verilen hidrolik basıncın farklı kademelerinde, hidrolik basınç değeri ve komparatör değerleri okunarak kaydedilmiştir. Plaka yükleme deneyi; bakir toprak-zemin ve pekişmiş toprak-zemin deneylerinde genellikle 1280,00 cm² taban alanlı plakayla yapılmıştır.



Şekil 2. Plaka yükleme deney düzeneğinin bakir toprak-zemin üzerinde deneye hazır durumdaki görüntüsü.

Figure 2. Photograph of the plate loading test set-up prepared for the testing of the untouched soil surface.



Şekil 3. Plaka yükleme deneyinde hidrolik krikoyla yüklenen plakanın zemine zorlanarak batırılma aşamaları.

Figure 3. Punching of the loading plate into tested soil surface during the plate loading test.



Şekil 4. Konya – Binkonut mahallesinin zemini (yük taşıyıcı ana kayaç-zemin üzerinde bulunan 1 – 3 m kalınlığındaki “toprak-zemin” açıkça görülebilmektedir).

Figure 4. Foundation of the buildings at Konya-Binkonut, (soil foundation, 1-3 m in thickness, over main load carrying rock foundation).

Bu araştırmada yapılan 31 ayrı plaka yükleme deneyinde 400x320 mm boyutlu plaka kullanılmıştır. Bunlara ek olarak 2 farklı lokasyonda 25 cm² taban alanlı 50x50 mm’lik plaka test amacıyla kullanılmıştır. Daire kesitli plakayla 2 farklı lokasyonda deney yapılmıştır. Bu deneylere ek olarak 40 cm²’lik taban alanına sahip 50x80 mm boyutlu çelik plakayla sadece bir lokasyonda deney yapılmıştır.

Konya’nın Kuzey-Doğu’sunda bulunan bazı mahallelerin altında, birkaç metre (1-3 metre) toprak katmanından sonra kireçtaşları bulunmaktadır (Şekil 4). Bazı noktalarda kireçtaşları mostra bile vermekte olup, bu bölgelerde yüzey toprak tabakası kalınlığı neredeyse hiç yoktur. Bu araştırma kapsamında yapılan arazi plaka yükleme deneyleriyle hedeflenen; toprak-zemin ve kayaç-zeminlerin yük taşıma davranışlarında gösterdikleri farklılıkları grafiksel olarak ifade etmektir. Şekil 4

benzeri lokasyonlarda mühendislik yapısı (bina, köprü, tünel, galeri, yeraltı deposu v.d) planlayan mühendislerin toprak-zemin ve kayaç-zemin arasındaki mekanik davranış farklılığını sayısal olarak arazi deneyleriyle görmeleri, teorik veya analitik yaklaşımlardan çıkan sonuçları daha iyi değerlendirmelerini sağlayacaktır.

Plaka Yükleme Deney Sonuçlarının Analizi

Bu çalışma için seçilen arazi deney lokasyonlarında deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada normal plaka yükleme deneyleri yapıldıktan sonra belirli bir süre beklenmiş ve aynı noktalarda tekrar ikincil plaka yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde her iki aşamada ulaşılan deney sonuçları sunulmuştur.

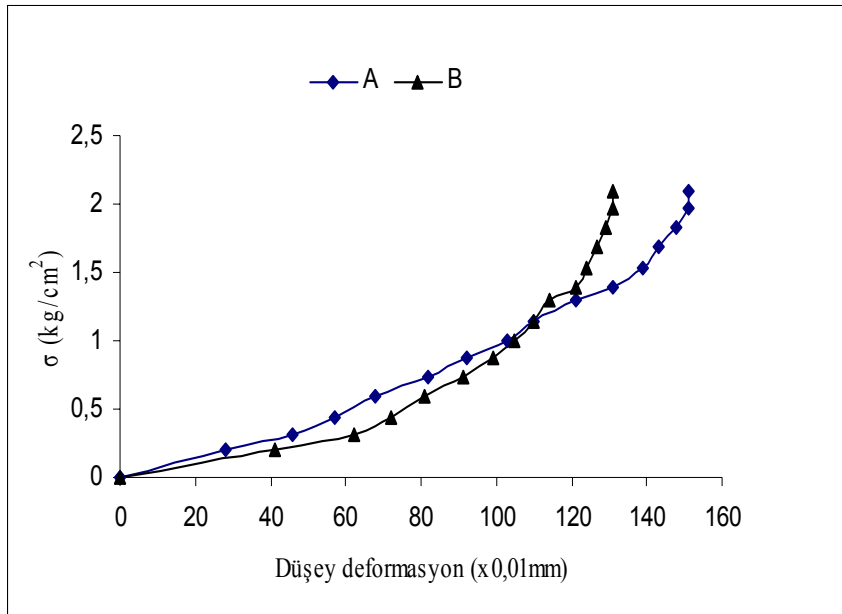
Birincil Plaka Yükleme Deney Sonuçları

Arazide yapılan deneyler sonrası plaka yükleme deneylerini karakterize eden gerilme (σ , kg/cm²)-düşey deformasyon (d, mm) eğrileri hazırlanarak bu grafikler ayrı ayrı incelenmiştir. Deneylerde plakaların zemine hareketini izlemek için kullanılan komparatörlerden ölçülen değerler grafiklerde ayrı ayrı gösterilmiştir. Aşağıdaki grafiklerde aynı deney için çizilen A ve B eğrileri, deney plakasının çapraz köşelerine yerleştirilen komparatör saatlerinden okunan düşey deformasyon değerlerine göre elde edilen grafiklerdir. Bu grafiklerde izlendiği gibi, aynı deney için çizilen A ve B eğrileri aynı değerleri göstermeseler de genel anlamda benzer deformasyon davranışları sergilemektedirler.

Arazide yapılan plaka yükleme deneyleri sırasında, deney plakasının iki farklı köşesinden deformasyon ölçümü alınmasının nedeni; arazi şartlarının tam olarak bilinemeyeceği gerçeğidir. Diğer nedenlerde; plaka tabanındaki toprak veya kayacın heterojen davranış sergileme olasılığı ve deney plakasının üzerine verilen yükün deney sırasında homojen dağılımının bozulması gibi faktörlerdir. Bu araştırmada elde edilen gerilme-düşey deformasyon eğrileri, arazi deneyleri için

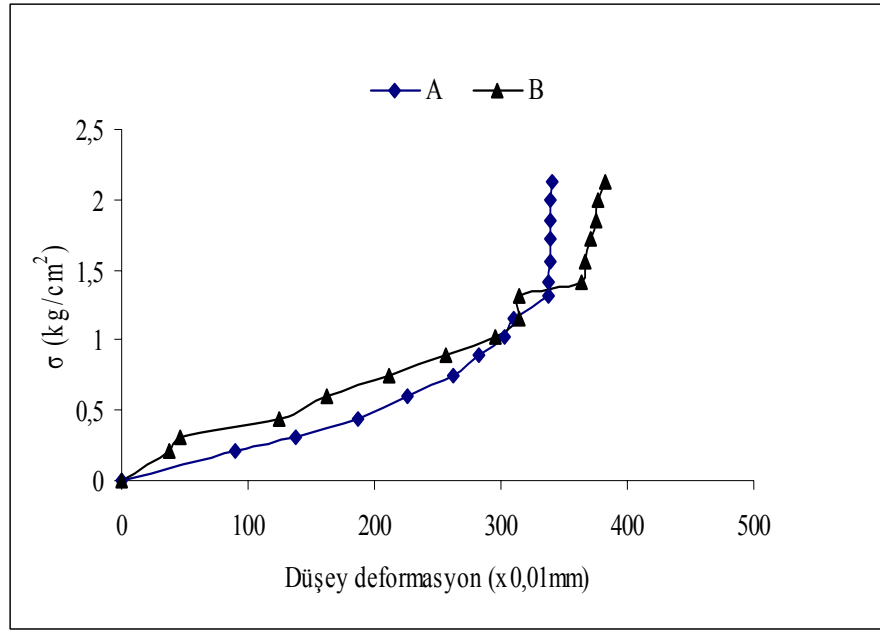
özellikle seçilen üç farklı zemin çeşidine göre değerlendirilmiştir. Bakır toprak-zemin üzerinde yapılmış olan deneyler sonrası elde edilen grafiklere örnek olarak Şekil 5 gösterilebilir. Örnek olarak seçilen bu deneyde kullanılan plakanın çapraz köşelerindeki komparatörlerden elde edilen düşey deformasyon değerleri birbirlerine yakın değerler vermişlerdir. Fakat düşey deformasyon değeri yaklaşık olarak 1,10 mm'ye ulaştığında A ve B komparatörlerinden giderek daha farklı okumaların alınmaya başlandığı gözlenmektedir. Bu farklılaşmanın nedeni toprak yüzeyin altındaki zeminin okuma alınan çapraz plaka köşelerinde, yük altında pekişme ve deformasyona uğrama konusunda farklılık göstermesidir.

Toprak-zeminin farklı pekişme durumlarında, bunlar üzerinde yapılan plaka yükleme deney sonuçları değişmektedir. Şekil 6 ve 7'de görüldüğü gibi; deney yapılan lokasyonların deney öncesi durumunda, toprağın pekliliği veya pekiştirilme miktarı düşük ise plaka yükleme deney plakası, üzerine yük almadan önce zemine biraz daha fazla batmaktadır. Deney öncesi pekişme seviyeleri farklı iki ayrı toprak-zemin lokasyonunda, aynı plaka boyutuyla yapılan yükleme deney sonuçları Şekil 6 ve 7 de verilmektedir.

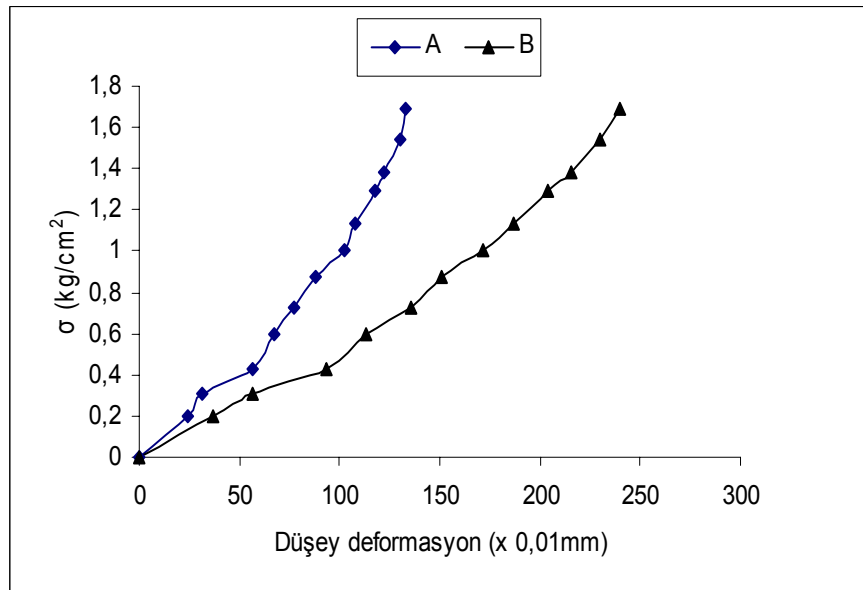


Şekil 5. Bakır toprak-zeminlerde yapılan örnek plaka yükleme deney sonucu.

Figure 5. Plate loading test result for untouched soil surface.



Şekil 6. Yüzey toprağı altındaki pek toprak-zeminlerde yapılan plaka yükleme deney sonucu.
Figure 6. Plate loading test result for compact soil surface.



Şekil 7. Yüzeyi pekiştirilmiş toprak-zeminde (toprak yolda) yapılan plaka yükleme deney grafiğı.
Figure 7. Plate loading test result for compacted soil surface.

Şekil 6 gevşek yüzey toprağı alınmış ve alttan çıkan pek toprak-zeminler üzerinde yapılan deney sonuçlarından birisini gösterirken, Şekil 7 üzerinden geçen araç trafiğı ile sıkışarak pekiştirilmiş toprak bir yol üzerinde yapılan deney sonuçlarından birisini

göstermektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde, toprak yoldaki pekiştirilmiş toprak-zemin sonuçlarının (Şekil 7), yüzey toprağı alınmış pek toprak-zemin sonuçlarından (Şekil 6) farklı olduğu görülmektedir. Şekil 6 incelenirse pek toprak-zemin; 3,40 mm'ye kadar 20°-24° eğim

açısıyla deforme olmuş daha sonra, çok az düşey deformasyon vererek üzerine daha fazla yük almaya (daha az deformasyonla daha fazla yük taşımaya) başlamıştır.



Şekil 8. Konya-Çimento Fabrikası kireçtaşı ocağı.

Figure 8. Limestone quarry of Konya Cement Factory.

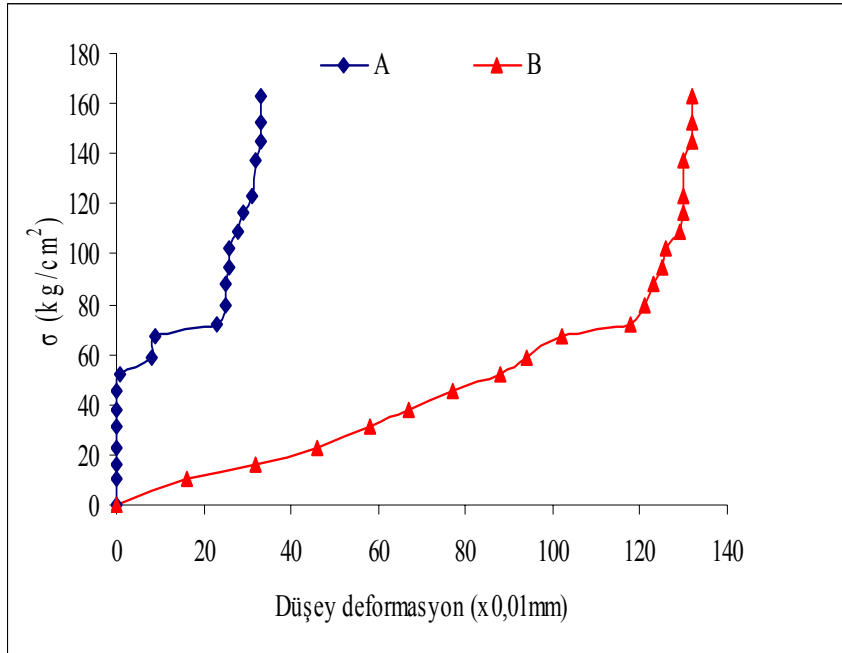
Kayaç-zemin üzerinde yapılan plaka yükleme deneyleri Konya Çimento Fabrikası kireçtaşı ocağında yapılmıştır (Şekil 8). Deneyler

sırasında üzerine yük uygulanan kireçtaşının görüntüsü Şekil 9'da gösterildiği gibi çatlaklı, kristalize kireçtaşıdır. Bu deneylerden elde edilen örnek gerilme-deformasyon grafikleri Şekil 10 ve 11'de görülmektedir.



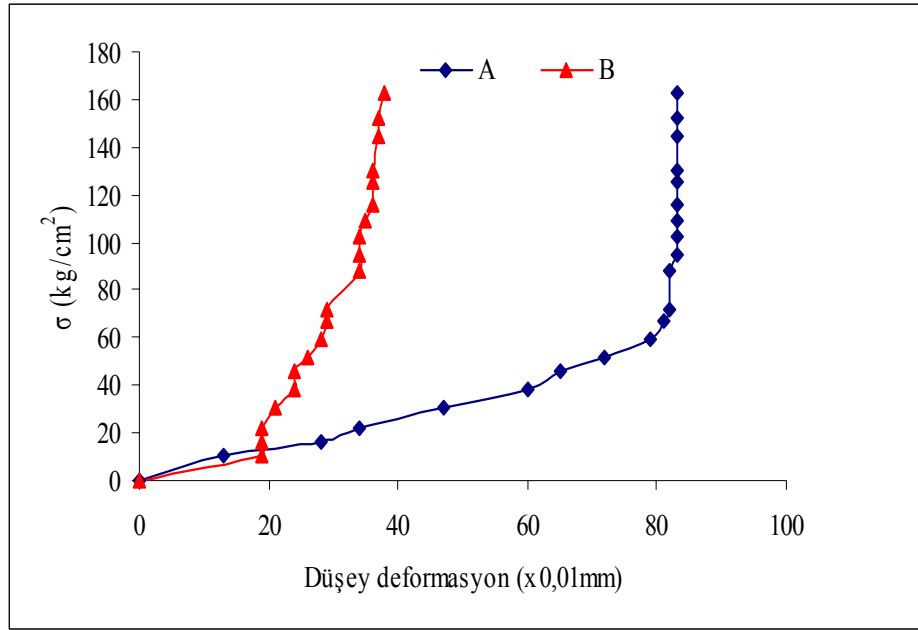
Şekil 9. Kireçtaşı ocağında, plaka yükleme deneyinin yapıldığı kayaç-zemin.

Figure 9. Limestone surface which was tested for plate loading test.



Şekil 10. Kayaç-zemin üzerinde yapılan deney grafiği.

Figure 10. Plate loading test graphic of the rock formation.



Şekil 11. Kayaç-zemin üzerinde yapılan plaka yükleme deney sonucu (lokasyon-B).

Figure 11. Plate loading test graphic of the rock formation, (location-B).

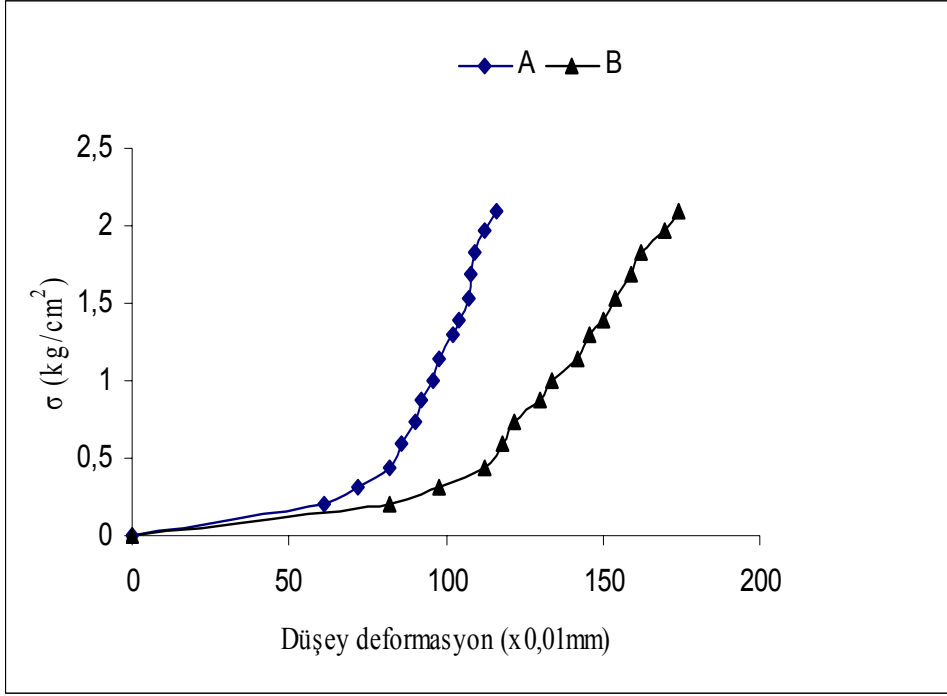
Plaka Yükleme Deneyi Lokasyonlarında İkincil Yükleme

Plaka yükleme deneyi uygulaması sırasında toprak veya kayaç zeminlerde yapılan birincil deneylere ilave olarak, aynı deney noktalarında ikincil plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Toprak zeminlerin üzerinde ilk plaka yükleme deneyi yapıldıktan sonra deney plakaları özellikle kaldırılıp zeminin durumu incelenmiştir. Gözlenen önemli değişiklikler not edildikten sonra, deney yapılan nokta aynı plaka ile ikincil bir plaka yükleme deneyine tabii tutulmuştur. Birinci deneyin tamamlanmasından yaklaşık 1/2 saat sonra yapılan ikincil deneylerden elde edilen gerilme-deformasyon grafikleri aşağıda verilmektedir (Şekil 12-13). Aynı toprak-zemin lokasyonunda ikinci kez yapılan plaka yükleme deneyleri sonucunda elde edilen gerilme-deformasyon grafikleri ile ilk yapılan deneylerin grafikleri arasında ortaya çıkan farklılığın nedenlerinden birisi; deney yapılan toprak-zeminde birinci deneyin yaptığı pekiştirmedi. İkincil deney sonuçlarını gösteren Şekil 12 ve 13 incelenip, Şekil 5 ve 6'da verilen grafiklerle karşılaştırıldığında; yüzey toprağı alınmış pek toprak-zeminler için birinci yüklemenin ardından yapılan ikincil plaka

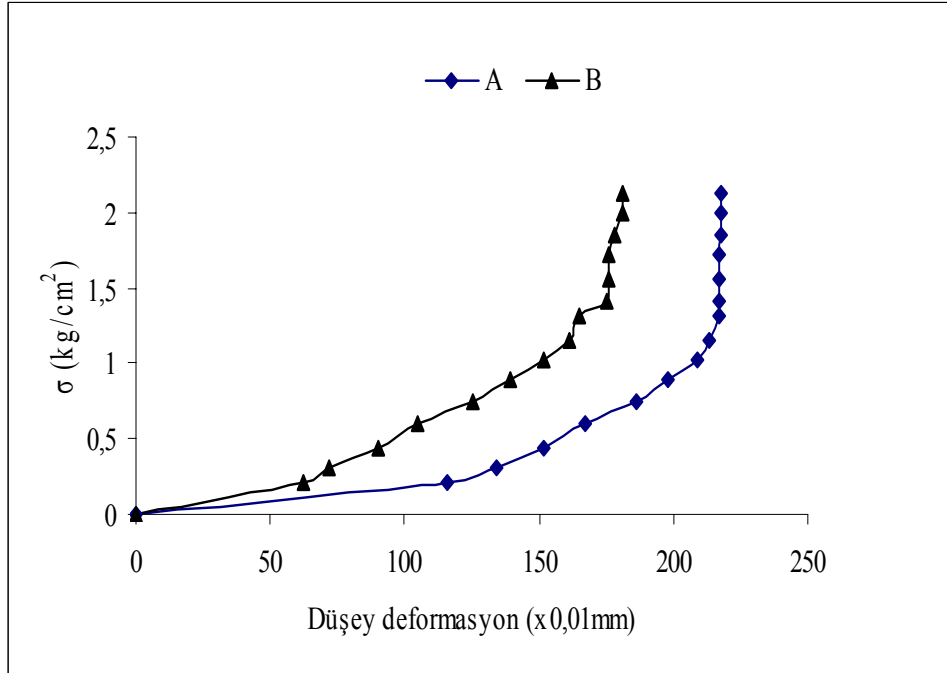
yükleme deneylerinde, daha az düşey deformasyon elde edildiği görülecektir. Bunun nedeni, deney lokasyonunda yapılan ilk yükleme sırasında toprak-zeminin sıkışması ve pekişmesidir. İkincil plaka yükleme deneyi, daha önce birincil deney sırasında pekişmiş toprak-zemin üzerine yapıldığı için ikincil deney sırasında gerilme-deformasyon eğrilerinde farklılaşmalar elde edilmiştir. Toprak zeminlerde genel olarak, ikincil plaka yükleme deneyleri daha az düşey deformasyon vermişlerdir.

Kayaç-zeminler üzerinde de ikincil yükleme deneyleri yapılmıştır. Kayaç-zeminlerde yapılan ikincil plaka yükleme deney eğrilerine örnek olması için, Şekil 11'de verilen deney sonucunun elde edildiği lokasyonda yapılan ikincil plaka yükleme deney grafiği Şekil 14'de gösterilmektedir.

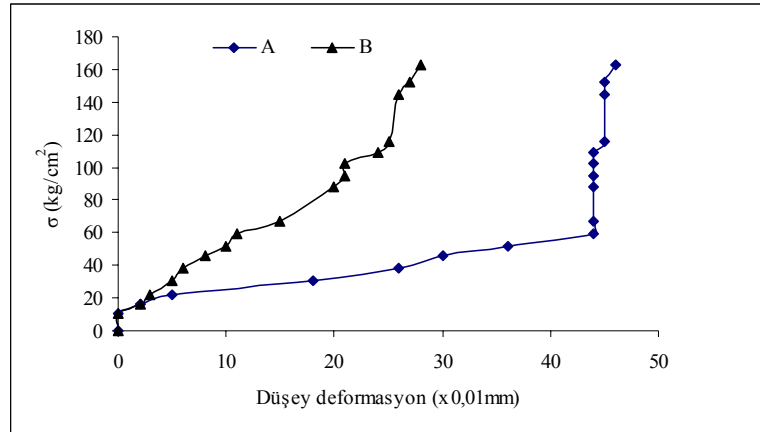
Bu grafiğe ek olarak, farklı bir kayaç-zemin lokasyonunda yapılan birincil ve ikincil plaka yükleme deneyinde kullanılan plakanın çapraz iki köşesine yerleştirilen iki ayrı komparatörden (A ve B) elde edilen sonuçlar Şekil 15 ve 16'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu şekillerde verilen "1" ve "2" sembolleri aynı deney noktasında yapılan birincil ve ikincil deney sonuçlarını göstermektedir.



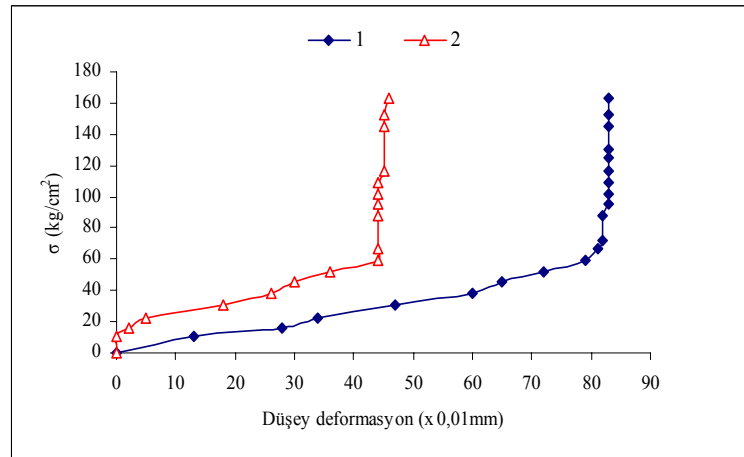
Şekil 12. Bakir toprak-zeminde yapılan ikincil plaka yükleme deney grafiği.
 Figure 12. Plate loading test result performed secondarily at untouched soil surface.



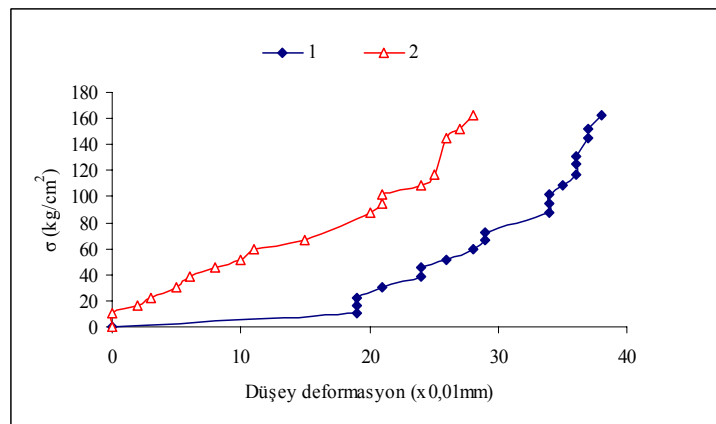
Şekil 13. Yüzeş toprağı altındaki pek toprak-zeminlerde yapılan ikincil plaka yükleme deney grafiği.
 Figure 13. Plate loading test result performed secondarily for compact soil surface.



Şekil 14. Kayaç-zeminde (kireçtaşı) yapılmış ikincil plaka yükleme deneyi örnek sonuçları.
Figure 14. Plate loading test results performed secondarily at limestone rock surface.



Şekil 15. Kayaç-zeminde (kireçtaşı) yapılmış birincil (1) ve ikincil (2) plaka yükleme deneylerinin A komparatöründen alınan örnek deformasyon sonuçları.
Figure 15. Plate loading test results performed primarily (1) and secondarily (2) at limestone rock surface (deformation values obtained from dial gage-A).



Şekil 16. Kayaç-zeminde (kireçtaşı) yapılmış birincil (1) ve ikincil (2) plaka yükleme deneylerinin B komparatöründen alınan örnek deformasyon sonuçları.
Figure 16. Plate loading test results performed primarily (1) and secondarily (2) at limestone rock surface (deformation values obtained from dial gage-B).

DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Arazide yapılan deneyler, üzerinde çalışılan toprak ve kayaç kütleleri hakkında gerçeğe daha yakın değerler vermesi açısından önemlidir. Bu araştırmada toprak ve kayaç zeminler üzerinde düşük yük seviyelerinde, plaka yük deneyleri yapılarak bu zeminlerin davranış farklılıkları gözlenmiştir. Uygulanan arazi deneylerinde deney yapılan lokasyonlar; bakir toprak-zemin, pek toprak-zemin, pekiştirilmiş toprak-zemin ve kayaç-zeminler olarak isimlendirilmiştir.

Bu araştırmada bakir toprak-zemin özelliği gösteren dört farklı lokasyonunda yapılan plaka yükleme deneylerinden elde edilen gerilme-düşey deformasyon eğrilerinin teğetsel genel açıları $35^\circ - 60^\circ$ arasında bulunmuştur. Bu deneylerde hidrolik krikodan uygulanan en büyük yük 3,20 ton olmuştur. Bu yük değeri, deneylerde kullanılan 1280,00 cm² taban alanlı dikdörtgen plaka altında en fazla 2,5 kg/cm² düşey gerilme oluşturmuştur. Bu gerilmeye karşılık bakir toprak-zeminlerin verdiği maksimum düşey deformasyonlar; a) 175, b) 150, c) 300 ve d) 400 mm olarak elde edilmiştir.

Yüzey toprağı altındaki pek toprak-zeminler için 13 farklı lokasyonda yapılan plaka yükleme deney sonuçları incelendiğinde, bu deneylere ait gerilme-deformasyon grafik eğimlerinin belirli bir deformasyon değerinden sonra ani olarak artmakta olduğu görülmüştür (Şekil 6). Bu grafiklerde gerilme-deformasyon eğrilerinin dikleştiği ($75^\circ-90^\circ$ lik eğimler, az deformasyona karşılık giderek daha çok yük taşınmaya başlanması) dönüm noktalarındaki gerilme (kg/cm²) / deformasyon (mm) değerleri; a) 0,4/1,0 b) 1,0/8,0 c)1,3/8,5 d)1,25/1,6 e)1,3/1,6 f)0,9/2,25 g)0,75/0,27 h)0,5/0,4 i)1,3/1,3 j)0,75/0,55 k)1,0/1,0 m)1,35/2,0 n)1,2/0,8 olarak ölçülmüştür.

Üzerinden araçlar geçen toprak yol üzerindeki 4 farklı lokasyonda yapılan plaka yükleme deneylerinden elde edilen gerilme-deformasyon eğrileri Şekil 7'de gösterildiği gibi ani eğim değişmesinin (dikleşmesinin) görülmediği grafikler vermişlerdir. Bu grafiklerde elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi eğimleri $40^\circ-60^\circ$ arasında gerçekleşmiştir. İlgili deneylerde ulaşılan maksimum gerilme (kg/cm²) / düşey deformasyon (mm) değerleri;

a)1,8/2,5 b)2,0/2,0 c)1,8/1,8 d)2,0/0,6 olarak bulunmuştur. Bu deneyler göstermiştir ki; açık arazide yer alan ve üzerinden araçlar geçerek pekişen 4 farklı deney lokasyonundaki "pekiştirilmiş toprak-zemin", binlerce yıldan beri gevşek yüzey toprağı altında kalan "pek toprak-zemin" de yapılan deneylere göre farklı sonuçlar vermiştir. Şekil 6 ve Şekil 7 arasındaki farklılık ilgili lokasyonlarda yapılan deney sonuçlarının karakteristik birer örneğidir. Yüzey toprağı altındaki pek toprak-zeminler, açık arazideki pekiştirilmiş toprak-zeminlerden farklı olarak 1,5 kg/cm² lik düşey gerilme değerleri civarında dikleşen gerilme-deformasyon eğrileri vermişlerdir. Böylece daha fazla düşey yükün çok daha az deformasyonla taşıyabileceklerini göstermişlerdir.

İkincil yükleme deneyleri bakir toprak-zeminlerde ve yüzey toprağı alınmış pek toprak-zeminlerde yapılmıştır. Bakir toprak-zeminlerde yapılan ikincil denemelerde gerilme-deformasyon eğrileri birincil deneylere göre daha fazla eğimlidir. Bu deneylerde yük artışıyla deformasyon artışı düzenli artarken belirli noktalardan sonra eğrilerin eğimlerinin birincil deneylerden farklı olarak arttığı görülmüştür. Yüzey toprağı alınmış pek toprak-zeminlerde yapılan ikincil deneylerin grafikleri, birincil deney grafiklerine göre daha düşük deformasyon değerlerinde eğimlerini dikleştirmişlerdir. İlgili ikincil deneylerde eğimin değişim gösterdiği deformasyon değeri 40-60 mm civarıdır. Bakir veya pek toprak zeminlerde yapılan ikincil deney grafiklerinde eğim dikleşmesinin açıklaması, ilgili zeminlerin birinci deney sırasında pekişmesidir. Pek toprak-zeminlerde yapılan deneylerin sonuçlarını gösteren grafiklerde $80^\circ-90^\circ$ 'lik gerilme-deformasyon eğimlerinin görülmesi bakir toprak-zeminlere göre farklılıktır. Bu değerler ilgili pek toprak-zeminlerin belirli bir deformasyondan sonra çok az deforme olarak taşıdıkları yük giderek artıracabileceklerini göstermiştir.

Kayaç-zeminlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bu zeminlerin genelde çok düşük deformasyon vererek çok yüksek değerde yük taşıyabildiklerini göstermiştir. İlgili toprak ve kayaç zemin grafikleri (Şekil 5,6,7 ve 10) incelendiğinde bu sonuç ilk göze çarpan

değerlendirme olacaktır. Örneğin arazide yapılan deneylerde; 0,25 mm düşey deformasyon elde edebilmek için bakir toprak-zeminlerde 0,1-0,16 kg/cm², pek toprak-zeminlerde 0,12-0,20 kg/cm², pekiştirilmiş toprak-zeminlerde 0,15-0,20 kg/cm² değerinde gerilme konsantrasyonunun verilmesi gerekirken, aynı düşey deformasyonu elde edebilmek için kayaç-zeminlere 16,0-70,0 kg/cm² değerleri arasında bir gerilme konsantrasyonu uygulanmıştır. Ayrıca kayaç-zemin gerilme-düşey deformasyon grafiklerindeki eğimlerin, çok az bir düşey deformasyondan sonra dikleşme göstermesi kayaç-zeminlerin tipik özellikleri olarak izlenmiştir. Şekil 15 ve 16'da görüldüğü gibi kayaç-zeminlerde, ikincil plaka yükleme deney sonuçları birincil yükleme deney sonuçlarına göre aynı yük değerinde daha az düşey deformasyon vermiştir. Bu sonuç toprak-zeminlerde elde edilen ikincil yükleme gerilme-deformasyon davranışına göre benzer bir

durumdur. Doğal ortamda masif kayaç bulmanın zorlukları bilinmektedir. Kayaç-zeminleri oluşturan kayaçların çatlaklı olması, plaka yükleme deneyi sırasında kayaç-zemine verilen yüklemenin etkisiyle çatlakların orijinal durumunun bozulması (aralarının açılması, yapışkanlıklarının (kohezyonunun) azalması, dolgularının hareketlenmesi, var olan çatlaklar arası masif kayaç köprülerinin bir kısmının zarar görmesi v.b. nedenler) sonucunu doğurmaktadır. Kayaçlar Şekil 10, 11, 14, 15 ve 16'da verilen grafiklerde de görüleceği gibi toprak-zeminlerden farklı, kendilerine özgü ve uygulanan düşey yüklerle daha dayanıklı davranışlar sergilemektedirler.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın gerçekleştirilmesine belirli oranda destek sağlayan Selçuk Üniversitesi, Araştırma Fonuna teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ceylanoğlu, A., Gül, Y., 2004, Plaka yükleme deney düzeneğinin oluşturulması ve denemesi çalışmaları, 7. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, ss247-252.
- Doğan, K., 2004, Plaka Yükleme Deneyi Uygulamaları ve Analizleri, Yüksek Lisans (MSc) Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 123s.
- Gökay, M.K., 1988, Bearing Capacity Analysis of Layered Rock for An Underground Mine, Yüksek Lisans (MSc) Tezi, ODTU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gökay, M.K., 2001, Plaka yükleme deneyi ve killi kireçtaşlarından elde edilen tecrübelerin incelenmesi, Yerbilimleri Açısından Konya Sempozyumu, 28-29 Mayıs 2001, Selçuk Üniversitesi, Bildiri özleri kitabı s21, Konya.
- Gökay, M.K. ve Doğan, K., 2004, Jeomekanik araştırmalarında kaya mekaniği bilim dalının katkıları, 7. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, ss25-33.
- Meyerhof, G.G., 1955, Influence of roughness of base and groundwater condition on the bearing capacity of foundations, *Geotech.*, 5, 227-242.
- Meyerhof, G.G., 1965, Shallow foundations, *Proc. ASCE*, V91, NO: SM2, pp21-31.
- Paşamehmetoğlu, G., Ünal, E., Tutluoğlu, L. 1986, ETİBANK, Bigadiç Madenleri İşletmeleri Müessesesi Müdürlüğü Simav Yeraltı Ocağı Kaya Mekaniği Etütleri, Proje Kod No: 86-03-05-01-06,
- Skempton, A., 1942, An investigation of the bearing capacity of soft clay soil, *J.Inst.Civil Eng.*, 18, 307.
- Vesic, 1975, Ultimate loads and settlements of bearing capacity and settlement in sand, Proc. Symposium on Bearing Capacity and Settlement of Foundations, Duke Univ., Durham, N.C. US: p53, 1967.

