

## Geosentetiklerle güçlendirilmiş karayolu temellerinin plaka yükleme deneyleri ile değerlendirilmesi

### Evaluating of geosynthetics reinforced road base with plate loading tests

Bahadır OK<sup>1\*</sup>, Ahmet DEMİR<sup>2</sup>, Talha SARICI<sup>3</sup>, Mesut OVALI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana, Türkiye.  
bahadirok@atu.edu.tr

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.  
ahmetdemir@cu.edu.tr

<sup>3</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye.  
talha.sarici@inonu.edu.tr

<sup>4</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye.  
mesutovali76@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 12.10.2016  
Kabul Tarihi/Accepted: 27.12.2016

Düzeltilme Tarihi/Revision: 22.12.2016

doi: 10.5505/pajes.2016.24483  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Özellikle son otuz yılda esnek üst yapı temellerinin geosentetiklerle güçlendirilmesi hızla yaygınlaşmıştır. Geosentetiklerle güçlendirmenin kaplama performansını iyileştirdiği bilinmesine karşın güçlendirmeyi sağlayan mekanizmalar hala açık değildir. Bu çalışmada, zayıf zemin üzerine geogridle güçlendirilmiş temel dolgusuna sahip yollarda, trafik yükleri öncesinde ve sonrasında arazide yapılan plaka yükleme deneyleri ile güçlendirmenin etkileri araştırılmıştır. Arazi deneyi sonuçlarından zayıf zeminler üzerine inşa edilen granüler dolgu tabakalarında geosentetiklerle güçlendirmenin alt tabakaların taşıma gücünün yetersizliğinden kaynaklanan deformasyonların azaltılmasında iyi bir yöntem olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Arazi deneyleri, Zayıf zemin, Granüler dolgu, Geogrid, Plaka yükleme deneyi.

#### Abstract

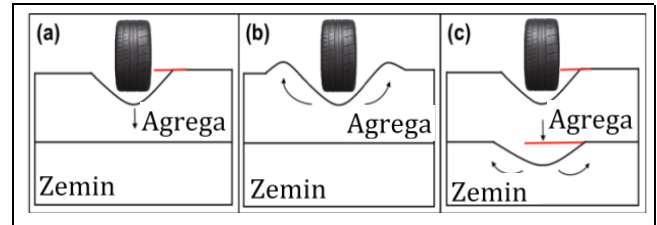
The use of geosynthetics as reinforcement for the base layer of flexible pavement systems has grown steadily over the past thirty years. Although geosynthetic reinforcements can lead to improved pavement performance, the specific conditions or mechanisms that govern the reinforcement are unclear, largely remaining unidentified and unmeasured. In this study, the assessment of the effect of geogrids on the roads that is reinforced granular fill layer over soft clay soil, section's ability to support before and after traffic loads were investigated using plate loading tests in situ. The results of the field tests show that geosynthetic reinforcement as is an effective method in reducing deformation and repairing granular fill layer overlying soft foundations.

**Keywords:** Field tests, Weak soil, Granular fill bed, Geogrid, Plate loading test.

## 1 Giriş

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde hızla artan kentleşme nedeniyle büyük şehirlerdeki ve/veya şehirlerarasındaki yol inşaatlarında uygun yol güzergâhını belirlemek gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Arazi değerlerinin artması, kamulaştırma sorunları, çarpık kentleşme, geometri ve yolun hizmet ömrü yol güzergâhının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu gibi durumlarda, yumuşak veya gevşek zemin koşullarının hâkim olduğu arazilerde yapılan kaplamalı veya kaplamasız yollarda özellikle ağır trafik yükleri altında yolun güvenliğini tehlikeye atacak büyük kalıcı deformasyonlar gözlemlenebilmektedir. Dawson ve Kolisoja [1] yaptıkları çalışmada granüler kaplamalı yollarda trafik yükleri sonrasında oluşan yenilme mekanizmasını üç sınıfta toplamışlardır. Birinci yenilme tipi granüler malzemenin uygun sıkıştırılmamasından dolayı trafik yükleri sonrası oluşan düşey yönde kalıcı deformasyonlardır (Mode 0). İkinci yenilme tipi temel malzemesinin kayma yenilmesine uğraması sonrasında yana doğru hareketi ile yolunun kenarlarında önemli kabarmaların oluşmasıdır (Mode 1). Üçüncü yenilme tipinde ise (Mode 2) yenilmenin kaliteli temel malzemesi ile yapılan kaplamalarda aşırı trafik yükleri ile zeminde oluşan aşırı gerilmelerin sonucunda düşük

mukavemete sahip zeminin yenilmesi ile oluştuğunu ifade etmişlerdir (Şekil 1). Bu durum ya düşük mukavemete sahip zeminin pahalı zemin iyileştirme yöntemleri ile ıslah edilmesiyle ya da zemine yapılacak dolgu miktarını arttırılarak düşük mukavemete sahip zemine gelecek gerilmelerin azaltılmasıyla çözülmektedir. Ancak araştırmacılar bu sorun için hem ekonomik hem de maksimum performans elde edilebilecek uygulamalar geliştirilmeye çalışmaktadır. Bu uygulamalardan bir tanesi de geosentetik donatıların çeşitli şekillerde kullanılmasıdır [2]-[7].



(a): Mode 0.

(b): Mode 1.

(c): Mode 2 [8].

Şekil 1. Deformasyon oluşum mekanizması.

Figure 1. The mechanism of the deformation.

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

Geosentetik donatılı zemin, son yıllarda gittikçe önem kazanan zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Özellikle, baraj, dolgu, şev, istinat duvarları gibi geoteknik uygulamalarda geosentetik malzemeler güçlendirme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Geosentetikler, sentetik polimer hammaddesinden istenilen özelliklerde üretilen, çevre şartlarına dayanıklı ve maliyeti düşük malzemelerdir. Geotekstil, geogrid, geocell ve geomembran gibi malzemeler sentetik esaslı olup geosentetikler çatısı altında toplanırlar. Geosentetiklerin temel işlevleri; ayırma, filtrasyon, güçlendirme, drenaj, koruma ve yalıtım olarak sayılabilir. Geosentetik ürünlerden biri olan geogrid donatı da öncelikli olarak zemin güçlendirilmesinde, geotekstil ise genellikle zeminleri ayırma amaçlı kullanılmaktadır.

Karayolu temellerinde geogrid kullanımı 1970'lerde başlamıştır. Daha sonraları, geogridle güçlendirilmiş yol uygulamalarının davranışını araştırmak için yapılan deneysel çalışmalar, genelde laboratuvar ortamında orta ölçekli deney düzenekleri kullanılarak yapılmış olup sınırlı sayıda arazi ortamında gerçek boyutlarda (prototip) yapılmış çalışma bulunmaktadır [9]-[16].

Bu çalışmada, arazide tam ölçekli deneyler yapılarak geosentetiklerle güçlendirilmiş yol temellerinin performansı değerlendirilmiştir. Önce arazide CBR'ı düşük zayıf zemin üzerine güçlendirmeli ve güçlendirmesiz yol dolgusu inşa edilmiş, sonrasında yapılan plaka yükleme deneyleri ile güçlendirmenin etkisi araştırılmıştır. Ek olarak yol temelinde farklı sayıda güçlendirme tabakası yapılarak güçlendirme tabakası sayısının etkisi de gözlenmiştir. Daha sonra inşa edilen yolda tam ölçekli gerçek trafik yüklemeleri yapılmış (5000 geçiş) ve sonrasında tekrar plaka yükleme deneyleri yapılarak trafik yüklerinin, temel tabakasının performansına etkisi incelenmiştir.

## 2 Önceki çalışmalar

Hufenus ve diğ. [6] geosentetiklerle güçlendirilmiş bir yolda arazi deneyleri yapmışlardır. Yumuşak bir zeminin üzerinde farklı kalınlıklarda ince agrega yerleştirip dolgu malzemelerini sıkıştırarak taşıma kapasitesini ve performansını ölçmüşlerdir. Ayrıca bu dolgu içine 7 farklı özelliğe sahip geogrid yerleştirilerek yumuşak zemin üzerine inşa edilen geogrid ile güçlendirilmiş dolguların performansını araştırmışlardır. Sonuçta tabakalar halinde yapılan dolguda dolgu tabakası kalınlığı azaltılarak sıkıştırmanın iyileştirilmesi ile performansın en yüksek düzeylere çıktığı görmüşlerdir. Ayrıca yol dolgusu geogrid ile güçlendirildiğinde yolun performansının arttığını ve bunun yolun servis ömrünü de uzatacağını öngördüklerini belirtmişlerdir.

Tutumluer ve diğ. [17] çalışmalarında Illinois üniversitesi laboratuvarında, geogridle güçlendirilmiş yol dolguları üzerine 9 adet geniş ölçekli deney yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada 254 mm kalınlığında geogridle güçlendirilmiş temel tabakası üzerine, 76 mm kalınlıktaki asfalt tabakası serilerek yol dolgusunu oluşturmuşlardır. Bu yol dolgusuna hareketli tekerlek yükü uygulayarak geogrid donatının etkisini incelemişlerdir. Ayrıca bu deneyleri sonlu elemanlar yöntemiyle modelleyerek karşılaştırmışlardır. Sonuçta, güçlendirilmemiş kesitte geogridle güçlendirilmiş kesitte göre, zemin üzerinde daha yüksek basınçlar ölçmüş, temel tabakasında ise daha büyük yanal deformasyonlar saptamışlardır. Ayrıca yaptıkları modelleme ve büyük ölçekli deney sonuçlarının birbirileri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Al-Qadi ve diğ. [18] esnek yol kaplamalarında geogridle güçlendirmenin performans etkisini araştırmak amacıyla çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kendi arasında üç bölümden oluşan bir kaplama kullanmışlardır. 0.20, 0.30 ve 0.46 m kalınlıkta granüler zemin tabakasının üzerine 0.08 ve 0.13 m kalınlığında sıcak karışım asfalt tabakası yerleştirilip geogrid tabakası da asfalt kaplamasından 0.15, 0.20 ve 0.30 m aşağı yerleştirilerek asfalt kaplama üzerine tekrarlı yüklemeler yapılmış ve performanslar değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, geogrid donatı kullanılarak güçlendirilen yollarda tekrarlı yük etkisi altında, daha az ilave düşey gerilme ve daha az deformasyonlar gözlenmiştir.

Karagül [19] çift yönlü geogrid ile güçlendirilmiş yol dolgusunda stabilize ve maliyet analizi yapmıştır. Stabilite analizi için sonlu elemanlar yöntemi kullanan paket program kullanarak 20 m derinliğinde kil zemine oturan güçlendirmeli ve güçlendirmesiz yol dolgusu modellemiştir. Çalışma sonucunda taşıma gücü zayıf ya da yetersiz zeminlerde geogrid kullanımı ile çekme dayanımının arttırılabildiğini ve temel tabakasında geogrid ile zemin kenetlendiğinde yanal deformasyonları azalttığını belirtmiştir. Analiz sonucunda ise geogrid güçlendirmeli sistemde, geogrid güçlendirmesiz sisteme göre oturma değeri 10.4 cm, dolgu kalınlığı ise 40 cm azaldığını ifade etmiştir.

Wei-Lie Zou ve diğ. [20] farklı çeşit ve özelliklerdeki geosentetiklerle güçlendirilmiş asfalt kaplamaların zamana bağlı (4 yıl) olarak performansı değerlendirmişlerdir. Sonuçta, tekrarlı trafik yükü altında kullanılan tüm geogridlerin taşıma gücünün arttırdığını, kesme dayanımının azaldığını ve ayrıca çatlaklarında azaldığını belirtmişlerdir.

Kwon ve diğ. [21] düşük hacimli esnek yol kaplamalarında geogridle güçlendirmenin etkisini araştırmak amacıyla 44 kN'luk saatte 8 km ve 690 kPa lastik hava basıncı altında tekrarlı yüklemeler yapılarak, yol kaplamasının dayanımı incelemişlerdir. Sonuçta, geogrid kullanımının yatay yer değiştirilmeleri gözle görülür bir şekilde azaltmasının yanı sıra düşey yer değiştirmeleri de azalttığı ifade etmişlerdir.

Kocaer [22] çalışmasında geosentetiklerin fonksiyonlarını, kullanım alanlarını, üretim yöntemlerini ve özelliklerini incelemiş ve karayollarında geosentetiklerin sağlayabileceği avantajları araştırmıştır. Çalışmasının sonucunda geosentetiklerin temel güçlendirme uygulamalarında temel in içinde veya temel/altemel altında gerilme elemanı olarak kullanıldığını ve bunun yolun servis ömrünü uzatabildiğini ve/veya temel tabakasının kalınlığını azaltabildiğini belirtmiştir. Ayrıca ülkemizde, geosentetiklerin inşaat mühendisliğinde kullanımları ile ilgili var olan uygulama standartlarının yetersiz olduğunu ifade etmiştir.

Demir ve diğ. [7] doğal kil zemin üzerine tek ve çift tabaka geogrid ile güçlendirmeli granüler dolgu inşa ederek büyük ölçekli arazi deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde 0.30 m, 0.45 m, 0.60 m ve 0.90 m çaplı dairesel temeller üzerine yük uygulayarak 10 mm, 20 mm ve 30 mm oturma için taşıma gücü hesap etmişlerdir. Ayrıca elde ettikleri sonuçları üzerinde istatistiksel kolerasyonlar yapmış ve analitik yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda doğal kil zemin üzerine granüler dolgu yapıldığında oturmaların %35 düzeyinde azaldığı taşıma gücünün %40 arttığı, granüler tabaka içerisine çift sıra geogrid yerleştirildiğinde ise oturmaların %50 düzeyinde azaldığını taşıma gücünün %130 arttığı belirtmişlerdir.

Al-Qadi ve diğ. [23]. Geogrid ile güçlendirilmiş yol kaplamalarındaki performansını belirleyebilmek amacıyla arazi deneyleri yapmışlardır. CBR değeri %4 olan zayıf zemin üzerine inşa ettikleri karayolunda büyük ölçekli deneyler yapmışlardır. Deneylerde 170 adet sensor kullanarak gerilme, deformasyon, nem ve su basıncı gibi önemli parametreler için okumalar almışlardır. Çalışmalarında hız, lastik konfigürasyonları, yüklemeler ve lastik basınçları gibi parametrelerin performansa etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında geogridin optimum yeri hakkında bilgiler vermişlerdir. Sonuçta, geogridle güçlendirilmiş bir yolda granüler malzemenin özellikle eksenel doğrultuda yatay yöndeki deplasmanının azaldığı ifade etmişlerdir.

Yang ve diğ. [24] geocelllerle güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş stabilize yollarda deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneylerde 80 kN yük uygulayan 2m genişlikteki tek dingile sahip çift tekerliğin, geocelllerle güçlendirilme durumunda ve güçlendirmesiz durumda derinliğe bağlı olarak teker izindeki değişim araştırmışlardır. Çalışmalarında, tekerlek geçiş sayılarını başlangıçta 100 ile başlayıp 5000'lere kadar arttırmışlardır. Sonuçta, kum zeminde geocell ile güçlendirilmemiş yol temelinde deformasyonların çok yüksek değerlere ulaştığını, geocell kullanımı sayesinde yolun dayanıklılığı artırıldığı ve deformasyonların azaldığını ifade etmişlerdir.

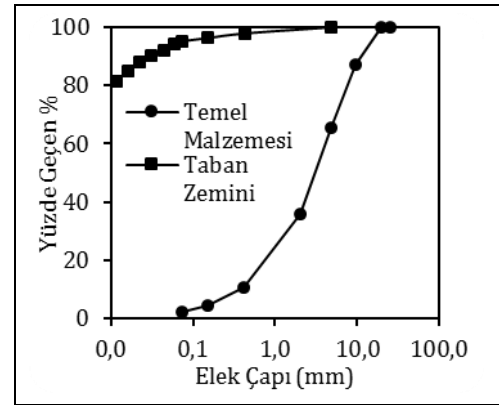
Literatür incelendiğinde özellikle son yıllarda yol temellerinin çeşitli geosentetiklerle güçlendirilmesi üzerine arazide sınırlı sayıda çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda geosentetiklerle güçlendirmenin, temel tabakasının taşıma kapasitesini artırdığı, aynı zamanda deformasyonları belli oranlarda azalttığı belirtilmiştir. Bu çalışmada ise, özellikle yumuşak zemin koşullarının hakim olduğu arazilerde inşa edilecek karayollarında geosentetiklerle güçlendirmenin etkisi incelenmiş ve ek olarak bu tür arazi koşullarında güçlendirme tabaka sayısının davranışı ne kadar değiştirebildiği araştırılmıştır. Yolun performansını değerlendirmek için plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca geogridlerin iyileştirme mekanizmalarının bazı koşullardaki etkileri de bu çalışmada incelenmiştir. Geogridler ile güçlendirilen temel tabakaları için yanal hapsedme, taşıma gücünün artırılması ve gerilmiş membran etkisi olmak üzere üç çeşit iyileştirme mekanizması vardır [25]. Temel tabakasına normal bir yük uygulandığında (örneğin trafik yükü) temel malzemesi yanlara doğru kayma eğiliminde olur. Eğer temel malzemesi yanlara doğru kayarsa kalıcı deformasyonlar oluşur. Yanal hapsedme etkisi ile yükleme sırasında yükün altındaki granüler malzemenin yanlara doğru akışı engellenmektedir. Temel malzemesi içinde bulunan geogrid, yük ile biraz deforme olduğunda agregalar geogridin açıklıklarına düşer ve sıkışarak kenetlenmeleri artar. Ayrıca gerilmiş membran etkisi mekanizmasında ise iyileştirme, zeminin deforme olması sonucu membran etkisiyle düşey gerilmelerin yayılmasıyla elde edilir [26]. Yapılan arazi deneylerinde, bu mekanizmaların yumuşak zemin koşullarının hakim olduğu arazilerde yolun performansına etkisini incelemek için inşa edilen yoldan trafik yükü geçirilmiş (5000 geçiş) ve sonrasında plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak geogrid güçlendirmenin yük deformasyon davranışına etkisi güçlendirmesiz durumlara göre kıyaslanarak sunulmuştur.

### 3 Materyal ve yöntem

Deneyisel çalışmada yol kesitinde problemleri bir taban zemini oluşturmak için kullanılacak silt-kil karışımı zemin, Osmaniye

ili, Düziçi ilçesine bağlı Olukçunur köyünde üzerinde herhangi bir yapının bulunmadığı bir araziden (yaklaşık 1.5-2.0 m derinlikten) temin edilmiştir. Ayrıca, yol gövdesinde temel dolgusu olarak kullanılacak olan filler malzemesi Osmaniye'nin Kadirli ilçesinin Koçlu köyünde yer alan Taş Ocağından temin edilmiştir.

Yolun taban zeminin oluşturacak siltli kil zemin ve temel tabakasını oluşturacak filler malzemenin fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda bir grup deney (elek analizi, kompaksiyon, kıvam limitleri, piknometre) yapılmıştır ([27]-[30]). Arazi deneylerinde kullanılacak zeminlerin granülometre eğrileri Şekil 2'de fiziksel özellikleri toplu olarak Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 2. Zeminlerin granülometre eğrileri.

Figure 2. The granulometry curves of the soils.

Tablo 1. Zeminlerin özellikleri.

Table 1. The properties of soils.

Parametre	Siltli Kil Zemini	Filler Malzemesi
Maks. Kuru Birim Hacim Ağırlığı $\gamma_{kmaks}$ (kN/m <sup>3</sup> )	15.60	21.30
Optimum Su Muhtevası $\omega_{opt}$ (%)	21	4.80
Dane Birim Hacim Ağırlığı $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	25	-
Likit Limit LL(%)	44.1	-
Plastik Limit PL (%)	34	-
Plastisite İndeksi PI	10.1	-
Sınıflandırma (USCS)	ML	GW
Su Emme (%)	-	0.60

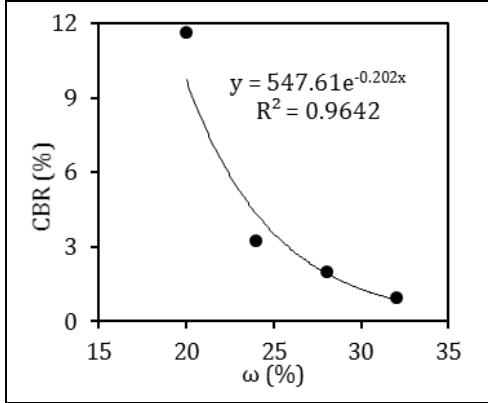
Ayrıca, siltli kil zemin ve filler malzemenin taşıma gücüne yönelik olarak CBR (Kaliforniya taşıma gücü oranı) deneyleri yapılmıştır. Filler malzemenin CBR değeri 2.5 mm batmada %32.74, 5.0 mm batmada %56.71 çıkmıştır. Siltli kil zemini için farklı su muhtevalarında yapılan CBR deneyleri sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir.

Deneylerde, temel tabakası iyileştirilmesi için geogrid ve zayıf zemin ile temel tabakasını ayırmak için de geotekstil olmak üzere 2 çeşit geosentetik malzeme kullanılmıştır (Şekil 4).

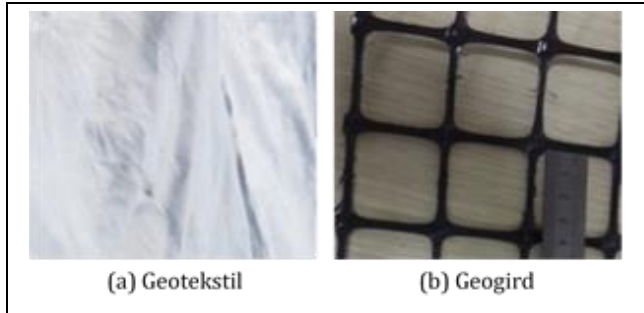
Kullanılan geosentetikler yerli firmalardan temin edilmiş olup teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Çalışmada gerçek arazi koşullarında yumuşak siltli kil zemin üzerine inşa edilmiş tek sıra ve çift sıra geogrid ile

güçlendirilmiş temel/alt temel dolgularında trafik yükü öncesi ve sonrasında yapılan plaka yükleme deneyleri ile güçlendirmenin yük deformasyon davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, daha önce belirlenen arazide yaklaşık 1 m derinliğinde, 5.6 m genişliğinde ve 25 m uzunluğunda kazı yapılmış ve yaklaşık 0.5 m kadar siltli kil zemin kontrollü olarak yerleştirilmiş ve siltli kil zemin üzerinde plaka yükleme deneyi yapılmıştır. Sonra siltli kil zemin üzerine yaklaşık 0.45 m yüksekliğinde tek ve çift sıra geogridlerle güçlendirilen ve güçlendirmesiz filler malzemenen dolgu inşa edilerek güçlendirmeli ve güçlendirmesiz kesitler oluşturulmuştur.



Şekil 3. Siltli kil zemini için CBR-su içeriği değişimi [31].  
Figure 3. CBR-water content curve for silty clay soil [31].



Şekil 4. Geosentetikler [31].

Figure 4. The geosynthetics [31].

Tablo 2. Geosentetiklerin özellikleri.

Table 2. The properties of geosynthetics.

Parametre	Geotekstil	Geogrid
Hammadde	Polipropilen	Polipropilen
Birim Yüzey Ağırlık (g/cm <sup>2</sup> )	0.02	-
Kalınlık (mm)	1.5	3.1
Açıklık (mm x mm)	0.13	35x35
Çekme Dayanımı (MD/CMD) (kN/m)	11-13	325 (%5 uzamada)
Kopma Uzaması (MD/CMD) (%)	50-80	90
Permabilite (Düzlemde) (m/s)	0.070	-
Delinmeye Karşı Dayanım (Statik Yükleme) (N)	2500	-
Dinamik Delme (mm)	24	-

\*MD/CMD: Makine doğrultusu/Makine doğrultusunun tersi.

Güçlendirmeli kesitlerde siltli kil zemin ile yol temelini ayırmak için siltli kil zemin üzerine geotekstil yerleştirilmiştir. İnşa edilen kesitlerde plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Sonrasında temel üzerine asfalt kaplama yapılarak yol oluşturulmuş ve yüklü ağırlığı yaklaşık 254.97 kN (26 ton) olan kamyon 5000 (N: Araç geçiş sayısı) kere geçirilmiştir. En son trafik yükünden sonra asfalt kaplama kaldırılmış ve temel üzerinde tekrar plaka yükleme deneyleri yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Plaka yükleme deneyleri [31].

Figure 5. Plate loading tests [31].

Deney programı Tablo 3'te verilmiştir. Kazı tabanına yerleştirilen siltli kil zemin yükseklik kontrollü olarak tabaka tabaka yerleştirilmiş ve sıkıştırılmıştır (Şekil 6). Yerleştirilen zemin çevre şartlarından etkilenmesin diye üzerine ıslak telis bezi serilmiştir.

Tablo 3. Deney programı.

Table 3. Program of experimental studies.

Deney Serisi	Yükleme Durumu	Deney Ortamı
Seri I	-	Zayıf Zemin
Seri II	N=0	Güçlendirmesiz Tek Sıra Geogrid Güçlendirmeli Çift Sıra Geogrid Güçlendirmeli
Seri III	N=5000	Güçlendirmesiz Tek Sıra Geogrid Güçlendirmeli Çift Sıra Geogrid Güçlendirmeli

Zayıf zemin koşullarını yansıtmaması bakımından kazı tabanına yerleştirilen siltli kil zeminin su içeriği %26±1 ve CBR'ı %3-5 arasında olması istenmektedir. Siltli kil zeminin su içeriği ve CBR kontrolü alınan su içeriği numuneleri ve yapılan DCP (Dinamik koni penetrasyon) deneylerinden CBR değerinin belirlenmesi [32] ile sağlanmıştır (Denklem 1). Bu sebeple her kesitte 5 noktada DCP deneyi yapılarak bu noktaların yakınından su içeriği numuneleri alınmıştır. CBR ve su içeriği değerleri uygun değilse kesit tırmıklanmış, sulanmış ve tekrar sıkıştırılmıştır. DCP deneylerinden örnek olarak güçlendirmesiz kesite ait derinlik boyunca düşüş sayısı penetrasyon ilişkisi Şekil 7'de verilmiştir.

$$CBR = \frac{1}{0.002871 \times PI} \quad (1)$$

Denklem (1)'deki PI; DCP deneyinden elde edilen penetrasyon indeksidir.

Ayrıca, DCP deneylerinden elde edilen veriler ışığında hesaplanan ortalama CBR değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Zayıf zemin üzerine temel malzemesi 15'er cm kalınlığında 3 tabaka halinde optimum su içeriğinde serilmiş ve

sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma kontrolü için kum konisi deneyleri yapılmıştır. Kum konisi deneylerinden sıkışma %97-%98 arasında olduğu görülmüştür.



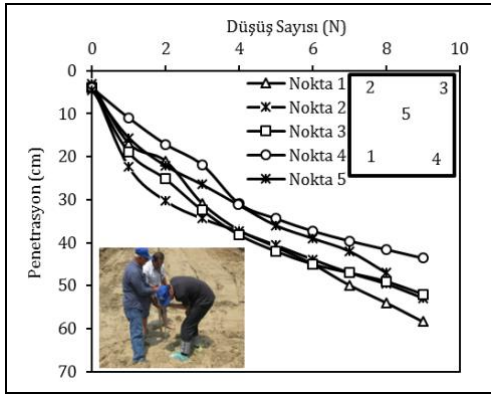
(a)



(b)

Şekil 6. Zayıf zeminin yerleştirilmesi [31].

Figure 6. Construction of weak soil [31].



Şekil 7. DCP ile CBR kontrolü [31].

Figure 7. CBR control with DCP [31].

Tablo 4. DCP deneylerinden elde edilen ortalama CBR değerleri [31].

Table 4. Average CBR values from DCP tests [31].

Kesit	Güçlendirmes iz Kesit	Tek Donatı ile Güçlendirmeli Kesit	Çift Donatı ile Güçlendirmeli Kesit
CBR (%)	4.69	4.39	5.73

İki kesite geogrid donatı yerleştirilmiş (tek ve çift sıra) bir kesit ise kontrol kesiti olarak donatısız olarak inşa edilmiştir. Geogrid donatının yerleştirildiği kesitlerde temel malzemesi yerleştirilmeden önce temel tabakası ile zayıf zemini ayırmak için geotekstil yerleştirilmiştir. Çift sıra geogrid yerleştirilen kesitte üstün 15 cm ve 30 cm derinliklere, tek sıra geogrid

yerleştirilen kesitte üstün 15 cm derinliğe donatı yerleştirilmiştir (Şekil 8). Temel tabakası inşa edildikten sonra üzerine asfalt kaplama yapılarak yol oluşturulmuş ve yüklü ağırlığı yaklaşık 254.97 kN (26 ton) olan kamyon aynı yol hattı üzerinden yaklaşık 10-20 km/s hızla 5000 (N: Araç geçiş sayısı) kere geçirilmiştir (Şekil 9). En son asfalt, temele zarar vermeden dikkatli bir şekilde kaldırılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 8. Yol temelinin hazırlanması [31].

Figure 8. Preparation of the road base [31].



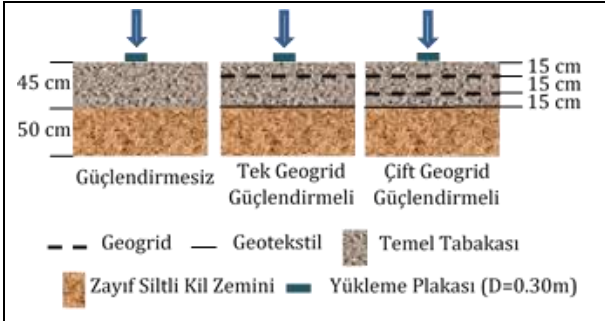
Şekil 9. Esnek yol kaplaması [31].

Figure 9. Flexible pavement [31].

#### 4 Bulgular ve tartışma

Yol dolgusu gibi yapıy dolgularda plaka yükleme deneyi kullanılarak taşıma gücü-oturma davranışı kolay bir şekilde belirlenebilmektedir. Çalışma kapsamında inşa edilen yol kesitlerinin taşıma gücü-oturma davranışını belirlemek için Plaka Yükleme Deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler ışığında yük-oturma ilişkisinden zeminin güvenle taşıyabileceği yük bulunmuştur. Ayrıca, plaka yükleme deneyinden elde edilen sonuçlar kullanılarak oluşturulmuş kesitlerin göçme yükü ile yatak katsayıları hesaplanmıştır.

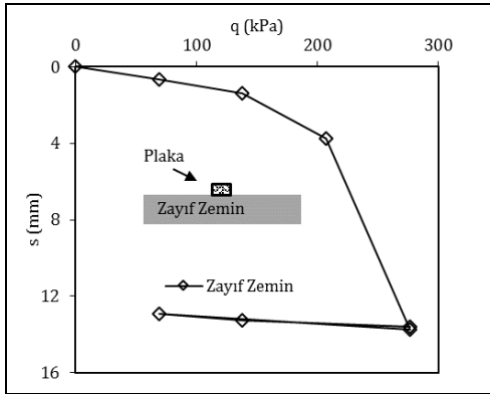
Seri I deneylerinde zayıf zemin üzerinde plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Seri II deneylerinde araç geçişinden önce ve Seri III deneylerinde araç geçişinden sonra plaka yükleme deneyleri, tüm yol kesitlerinde (güçlendirmesiz, tek geogrid donatılı ve çift geogrid donatılı) yapılmıştır. Şekil 10'da deneylerin bir şematik çizimi verilmiştir.



Şekil 10. Deneylerin şematik çizimi.

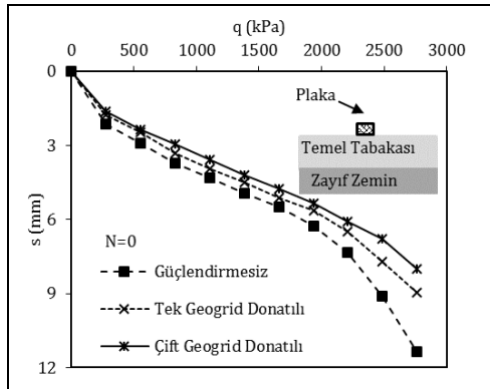
Figure 10. Schematic drawing of tests.

Taban zemini inşa edildikten sonra zayıf zemin üzerinde yapılan plaka yükleme deney sonucu Şekil 11'de verilmektedir. Sonra Seri II deneylerinin yapılacağı temel tabakası inşa edilmiştir. Şekil 12'de ise Seri II deneylerinden elde edilen oturma (s)-taban basıncı (q) ilişkisi görülmektedir.



Şekil 11. Seri I: zayıf zemin üzerinde elde edilen oturma (s)-taban basıncı (q) ilişkisi.

Figure 11. Series I: settlement (s)-pressure (q) relationship determined for the weak soil.

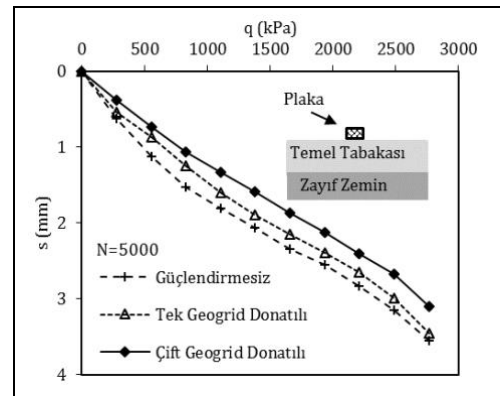


Şekil 12. Seri II: deneylerden elde edilen oturma (s)-taban basıncı (q) ilişkisi.

Figure 12. Series II: settlement (s)-pressure (q) relationship from the tests.

Seri II deneylerinden oturma değerleri için güçlendirmesiz kesitin taban basıncı değerleri en düşük çıkmıştır. Tek geogrid donatılı ile güçlendirilmiş kesitin güçlendirmesiz kesite göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin daha yüksek çıktığı, çift geogrid donatılı ile güçlendirilmiş kesitin ise en yüksek çıktığı görülmüştür.

Seri II deneyleri tamamlandıktan sonra filler yol temeli üzerine esnek kaplama inşa edilmiştir. Daha sonra yüklü ağırlığı yaklaşık 254.97 kN (26 ton) olan, hızı 10-20 km/sa. arasında değişen kamyon geçirilmiştir. Belirlenen trafik yükü (5000 kez kamyon geçişi) geçirildikten sonra esnek kaplama alttaki temel tabakasına zarar vermeden düzgün bir şekilde kaldırılmış sonrasında her kesitte bir adet plaka yükleme deneyi yapılmış ve deneyler Seri III olarak adlandırılmıştır. Şekil 13'te ise Seri III deneylerinden elde edilen oturma (s)-taban basıncı (q) ilişkisi görülmektedir.



Şekil 13. Seri III: deneylerden elde edilen oturma (s)-taban basıncı (q) ilişkisi.

Figure 13. Series III: settlement (s)-pressure (q) relationship from the tests.

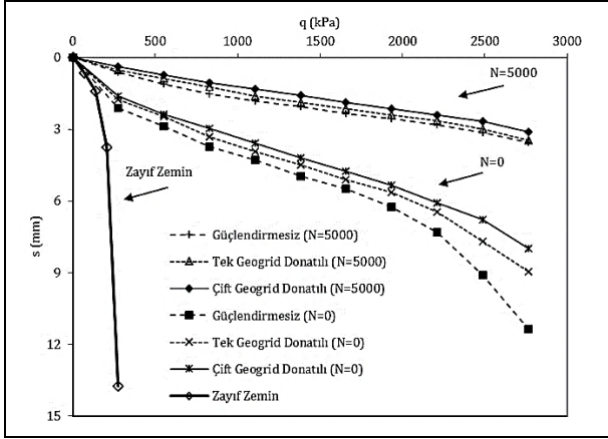
Seri III deneylerinden oturma değerleri için güçlendirmesiz kesitin taban basıncı değerleri en düşük çıkmıştır. Tek geogrid donatılı ile güçlendirilmiş kesitin güçlendirmesiz kesite göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin daha yüksek çıktığı, çift geogrid donatılı ile güçlendirilmiş kesitin ise en yüksek çıktığı görülmüştür.

Yapılan plaka yükleme deneyleri kıyaslanarak, farklı yol kesitlerinin üzerinden belli bir yük geçtikten sonra taşıma gücünün nasıl değiştiği incelenmiştir. Şekil 14'te yapılan plaka yükleme deneylerinin oturma (s)-taban basıncı (q) eğrileri görülmektedir. Şekil 14'te de açıkça görüldüğü gibi araç geçişinden sonra tüm yol kesitlerinde aynı taban basınçları için oturma değerleri önemli ölçüde düşmüştür. Üzerine teker yük geldikten sonra filler yol temelini dayanımı tüm yol kesitleri için oldukça artmıştır.

Bölgesel (yerel) kayma kırılmasının olduğu zeminlerde göçme noktası belirgin olmaz. Bu durumda göçme yükünü belirlemek için log yöntemi kullanılır. Oturma-taban basıncı eğrisinin her iki eksenini de logaritmik olarak çizilir. Daha sonra oturma (log)-taban basıncı (log) eğrisinin doğrusal olan başlangıç ve son kısmının kesişme noktası göçme yükünü verir [33]. Bu yöntem kullanılarak zayıf zeminin göçme yükü ( $q_u$ ) 176.52 kPa olarak bulunmuştur.

Plaka yükleme deney sonuçlarından elde edilen verilere göre oturma-taban basıncı eğrisi eğer 10 mm oturmaya ulaşmaya kadar bir kırıklık göstermeden düzgün devam ediyorsa, 10 mm oturmaya karşı gelen taban basıncı göçme yüküdür [33],[34].

Filler yol malzemesi üzerinde yapılan tüm plaka yükleme deneylerinde göçme yükü oturma-taban basıncı eğrisinden belirgin bir şekilde görülememektedir. Araç geçişinden önce güçlendirilmemiş yol kesiti için 10 mm oturmaya karşılık gelen yük göçme yükü olarak kabul edilirse, göçme yükü ( $q_u$ ) 2588.96 kPa olarak bulunur. Fakat diğer tüm deneylerde 10 mm oturma gözlenmemektedir.



Şekil 14. Deneylerin karşılaştırması.

Figure 14. Comparison of the tests.

Tüm deneyleri kıyaslayabilmek için plaka yükleme deneyinden elde edilen oturma-taban basıncı eğrisinden 2.7 mm oturmaya karşılık gelen taban basıncı değeri göçme yükü olarak adlandırılmıştır [31]. Tablo 5'te plaka yükleme deneylerinden elde edilmiş göçme yükü değerleri verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde, hem araç geçişinden önce hem de araç geçişinden sonra hesaplanan göçme yükü değeri en yüksek çift geogrid donatılı kesit, sonra tek geogrid donatılı kesit ve en düşük güçlendirmesiz kesit çıkmıştır.

Tablo 5. Plaka yükleme deneylerinden elde edilen göçme yükü ( $q_u$ ) değerleri.

Table 5. Ultimate bearing capacity ( $q_u$ ) values obtained from the plate loading tests.

Araç Geçiş Sayısı	Güçlendirmesiz (kPa)	Tek Geogrid Donatılı (kPa)	Çift Geogrid Donatılı (kPa)
N=0	480.53	627.63	706.08
N=5000	2088.82	2235.92	2500.70

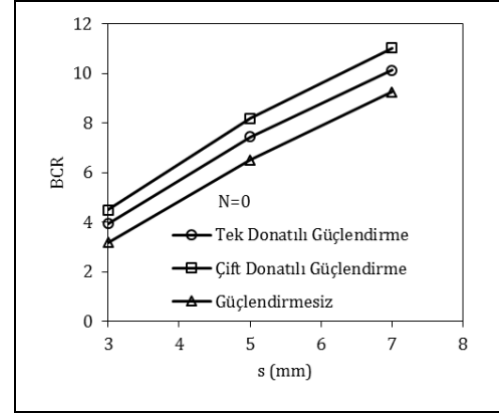
Ayrıca literatürde güçlendirmesiz zeminlerle güçlendirmeli zeminlerin oranı taşıma gücü oranı (BCR) ile kıyaslanıp ifade edilmektedir. Taşıma gücü oranı (BCR) için kullanılan eşitlik Denklem (2)'de verilmiştir [35]. Bu denklemdeki  $q_R$ : güçlendirilmiş zemin taşıma gücü,  $q_0$ : güçlendirilmemiş zeminin taşıma gücünü ifade etmektedir.

$$BCR = \frac{q_R}{q_0} \quad (2)$$

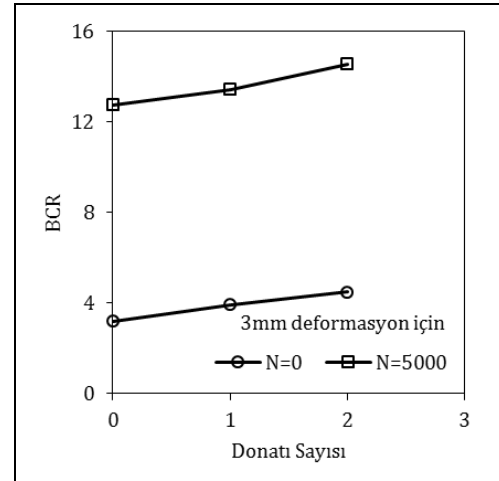
Çalışmada taşıma gücü oranlarını (BCR) hesap etmek için referans olarak zayıf zemin alınmıştır. Zayıf zemine göre donatısız (güçlendirmesiz), tek donatı ile güçlendirmeli ve çift donatı ile güçlendirmeli kesitlerin taşıma gücü oranları belirlenmiştir. Şekil 15'te trafik yükü öncesi deformasyona bağlı BCR değişimi ile 3 mm deformasyon için donatı sayısı BCR değişimi verilmiştir. Şekil 15'te görüldüğü gibi trafik yükü öncesi 3 mm deplasmanda zayıf zemine göre, zayıf zemin üzerine temel tabakası serildiğinde (güçlendirmesiz kesit)

taşıma gücü yaklaşık 3 katına, temel tabakasına bir adet donatı yerleştirildiğinde yaklaşık 4 katına ve temel tabakasına iki adet donatı yerleştirildiğinde yaklaşık 4.5 katına çıkmıştır. Ayrıca trafik yükleri taşıma gücü oranı katsayısını büyük oranda artırmıştır.

Yatak katsayısı, zemini izotrop-elastik ortam kabul ederek, bir temelin her noktasında uygulanan gerilme ile bundan kaynaklanan çökme arasında ölçülen değişmez orandır [36].



(a)



(b)

Şekil 15(a): Oturma BCR değişimi (b): Donatı sayısı BCR değişimi.

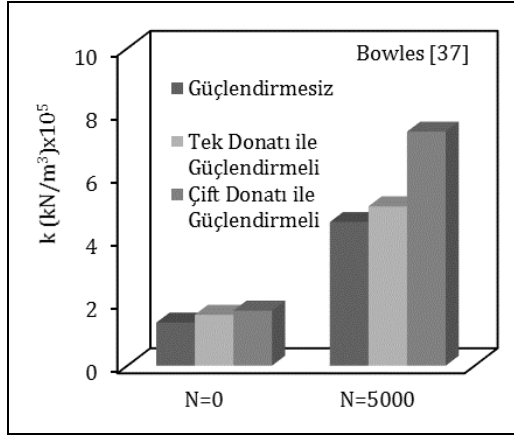
Figure 15(a): Settlement-BCR relationship (b): Number of reinforcement-BCR relationship.

Yatak katsayısı ( $k$ ), zemine oturmuş bir temelin herhangi bir noktasındaki deplasmanın ( $s$ ) aynı noktadaki taban basıncına ( $q$ ) oranına denilir ve Denklem (3)'te görüldüğü gibi hesaplanmaktadır. Yatak katsayısını belirlemede plaka yükleme deneyleri kullanılabilir.

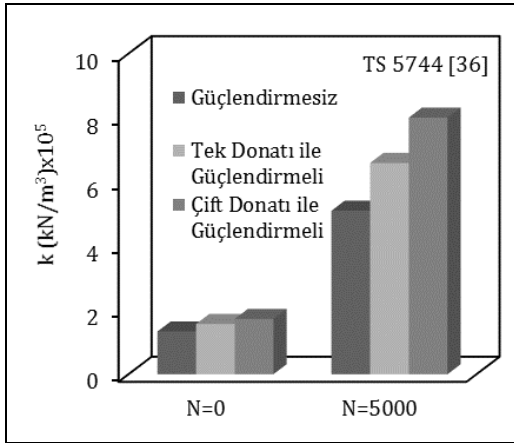
$$k = \frac{q}{s} \quad (3)$$

Bowles [37] yatak katsayısını başlangıç doğrusal kısmın eğimini kullanarak hesaplamıştır. Ayrıca, TS 5744 [36] 1.25 mm'lik oturmaya ve bu oturmaya karşılık gelen taban basıncı değerini kullanarak yatak katsayısını hesaplamıştır. Çalışma kapsamında iki yöntemde kullanılarak yatak katsayıları hesaplanmıştır. Bowles [37] tarafından önerilen yöntem kullanıldığında zayıf zemin için hesaplanan yatak

katsayısı 98066.50 kN/m<sup>3</sup>; TS 5744'e [36] göre 94143.84 kN/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Tablo 6'da araç geçişinden önce ve sonra yapılmış plaka yüklemeye deneylerinden elde edilen veriler ışığında hesaplanmış yatak katsayıları verilmiştir. Ayrıca Şekil 16'da iki farklı yöntemle göre hesaplanan yatak katsayısı değişimi gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 16. Trafik yüküne göre yatak katsayısı değişim grafiği.

Figure 16. Graph of change in coefficient of soil according to traffic load.

Tablo 6 incelendiğinde, yatak katsayısının hesaplandığı tüm yöntemlerde, elde edilen yatak katsayısı değeri en yüksek çift geogrid donatılı kesit, sonra tek geogrid donatılı kesit ve en düşük güçlendirmesiz kesit çıkmıştır.

Tablo 6. Plaka yüklemeye deneylerinden elde edilen yatak katsayıları (k).

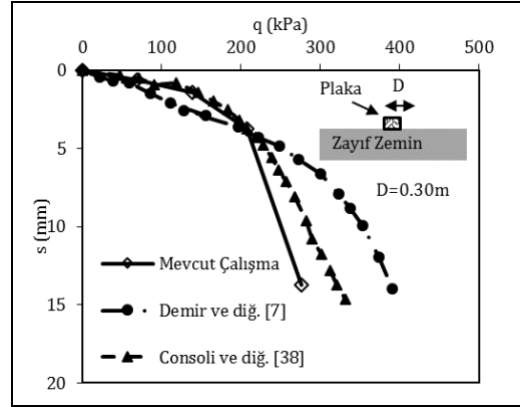
Table 6. Coefficient of soil reaction (k) from the plate loading tests.

Araç Geçiş Sayısı	Güçlendirmesiz (kN/m <sup>3</sup> )	Tek Geogrid Donatılı (kN/m <sup>3</sup> )	Çift Geogrid Donatılı (kN/m <sup>3</sup> )
N=0	a135783	a160476	a173499
	b133370	b156906	b172597
N=5000	a452616	a502100	a737460
	b509945	b659006	b800222

a: Bowles [23]; b: TS 5744 [22].

Literatürde mevcut çalışmalardan bazıları incelendiğinde zayıf zemin üzerinde yapılan plaka yüklemeye deneylerinde benzer

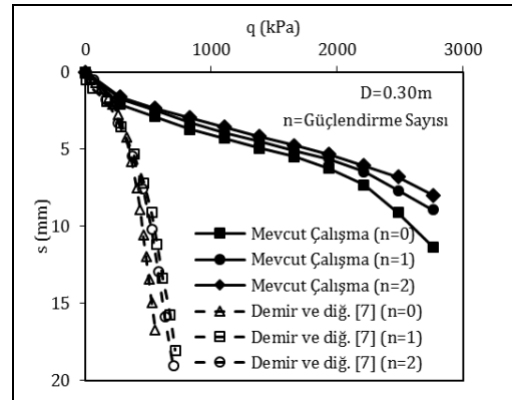
sonuçlar bulunduğu görülmüştür. Şekil 17'de arazide Consoli ve diğ. [38] düşük plastisiteli kil (CI) zemin üzerinde ve Demir ve diğ. [7] yüksek plastisiteli kil (CH) zemin üzerinde yaptıkları deneylerden elde edilen sonuçlar mevcut çalışma ile kıyaslanmıştır. Üç çalışmada da 0.30 m plaka ile yüklemeye yapılmıştır. Özellikle Consoli ve diğ. [38] arazi deneyleri ile elde ettiği oturma taban basıncı davranışı mevcut çalışmaya benzemektedir.



Şekil 17. Zayıf zemin üzerinde yapılan deneylerin literatür ile karşılaştırması.

Figure 17. Comparison of the tests on weak soil with the literature.

Ayrıca Şekil 18'de, Demir ve diğ. [7] yaptıkları çalışmadaki plaka çapı 0.30m olan güçlendirmesiz, tek donatı ile güçlendirmeli ve çift donatı ile güçlendirmeli deneyler mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Mevcut çalışmada zayıf zemin üzerine serilen temel tabakası kalınlığı 45cm'dir ancak Demir ve diğ. [7] yaptıkları çalışmada zayıf zemin üzerine 20 cm temel tabakası yerleştirilmiştir. Şekil 18'de görülen iki çalışma arasındaki farkın, iki çalışma arasındaki temel tabakası kalınlığı farkından (yaklaşık 2 kat) dolayı zayıf zemine ulaşan gerilmelerin birbirinden farklı olması ile yani mevcut çalışmada uygulanan yük sonrası oluşan gerilmelerin Demir ve diğ. [7] çalışmalarına göre daha fazla temel tabakası içerisinde kalması sonucunda zayıf zemine ulaşan gerilmelerin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu farkın oluşmasında temelde kullanılan granüler malzemenin özellikleri ve geosentetik türünün de etkisinin olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 18: Güçlendirmesiz ve güçlendirmeli deneylerin literatür ile karşılaştırması.

Figure 18. Comparison of unreinforced and reinforced tests with the literature.



## 5 Sonuçlar

Bu çalışmada, zayıf zemin üzerine inşa edilen geosentetiklerle iyileştirilmiş (güçlendirme için geogrid ve ayırma için geotekstil) yol kesitlerinin taşıma gücü-oturma davranışını belirlemek için plaka yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca inşa edilen yol kesitlerinden belirli bir trafik yükü geçirilmiş ve sonrasında tekrar plaka yükleme deneyleri yapılarak trafik yükünün taşıma gücü oturma davranışına etkisi incelenmiştir. Deneylerden elde edilen veriler ışığında güçlendirmeli ve güçlendirmesiz zeminlerin yük-oturma ilişkileri birbirleri ile kıyaslanmıştır. Ek olarak, inşa edilen yol kesitlerinin göçme yükleri, yatak katsayıları ve taşıma gücü oranları (BCR) hesaplanmıştır. Aşağıda mevcut çalışmadan çıkarılan sonuçlar sunulmaktadır.

- Seri I deneyinden elde edilen oturma – taban basıncı eğrileri, literatürde arazide yapılmış benzer zemin ve yükleme koşullarına sahip bazı çalışmalar ile kıyaslandığında ([7],[38]) davranışların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür,
- Seri II deneylerinden elde edilen oturma–taban basıncı ilişkisi eğrileri incelendiğinde, aynı oturma değerleri için taban basınçlarına göre kıyaslandığında çift donatı ile güçlendirilen kesitin en yüksek çıkmış, çift donatılı kesiti tek donatılı kesit takip etmiştir. Aynı oturma değerleri için güçlendirmesiz kesitin taban basınç değeri ise en düşük çıkmıştır,
- Seri III deneylerinden elde edilen oturma – taban basıncı ilişkisi eğrileri incelendiğinde, aynı oturma değerleri için taban basınçlarına göre kıyaslandığında çift donatı ile güçlendirilen kesitin en yüksek çıkmış, çift donatılı kesiti tek donatılı kesit takip etmiştir. Aynı oturma değerleri için güçlendirmesiz kesitin taban basınç değeri ise en düşük çıkmıştır,
- Geosentetiklerin kullanıldığı kesitlerde güçlendirmesiz kesite göre hem trafik yükünden önce hem de sonra hesaplanan göçme yükü ve yatak katsayısı değerlerinin önemli ölçüde yüksek olduğu görülmüştür. Buradaki iyileştirmenin, geosentetiklerin yanal hapsetme, taşıma gücünün artırılması ve gerilmiş membran etkisi gibi mekanizmalarla sağlandığı düşünülmektedir. Göçme yükü ve yatak katsayısının yüksek çıktığı kesitten, düşük çıktığı kesite doğru sıralanışı; çift geogrid donatılı kesit, tek geogrid donatılı kesit ve güçlendirmesiz kesit olarak elde edilmiştir,
- Trafik yükü öncesi 3 mm deplasmanda zayıf zemine göre, zayıf zemin üzerine temel tabakası serildiğinde (güçlendirmesiz kesit) taşıma gücü yaklaşık 3 katına, temel tabakasına bir adet donatı yerleştirildiğinde yaklaşık 4 katına ve temel tabakasına iki adet donatı yerleştirildiğinde yaklaşık 4.5 katına çıkmıştır. Ayrıca, trafik yükleri taşıma gücü oranı katsayısını büyük oranda artırmıştır,
- Trafik yükünden sonra taşıma gücü güçlendirmesiz kesitte yaklaşık dört buçuk katına, çift donatılı ve tek donatılı güçlendirmeli kesitte yaklaşık üç buçuk katına çıkmıştır. Ek trafik yüklerinin güçlendirmesiz kesitte taşıma gücünü arttırmasının sebebi temel

malzemesinin üzerine gelen trafik yükü ile sıkışarak daha kompozit bir yapı kazanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir,

- Trafik yükü öncesi TS 5744'e [22] göre zayıf zemine kıyasla, zayıf zemin üzerine temel tabakası serildiğinde (güçlendirmesiz kesit) yatak katsayısı 1.4 katına, temel tabakasına bir adet donatı yerleştirildiğinde 1.7 katına ve temel tabakasına iki adet donatı yerleştirildiğinde 1.8 katına çıkmıştır,
- Çalışmada, yapılan tam ölçekli arazi deneyleri ile özellikle ülkemiz koşullarında zayıf zeminler üzerine inşa edilen karayollarında, geosentetiklerle güçlendirmenin uygulanabilirliği laboratuvarında yapılan model deneylere göre daha gerçekçi olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca trafik yüklerinden sonra bu güçlendirmenin etkisi belirlenerek yolun inşa sonrası durumu da incelenmiştir. Sonuç olarak bu tip zemin koşullarında geosentetikler kullanılarak yapılacak güçlendirmenin, yolun taşıma gücü ve/veya yatak katsayısı değerlerini artırdığı görülmüştür.

## 6 Conclusions

In this study, plate loading tests were carried out to determine the bearing capacity-settlement behaviour of road sections reinforced by geosynthetics (geogrid for reinforcement and geotextile for separation) built on weak soil. In addition, the traffic load was passed through the constructed road sections and then plate loading tests were conducted again. Thus, the effect of traffic load on bearing capacity-settlement behaviour was investigated. According to the results obtained from the tests, the load-settlement relations of reinforced and unreinforced soils were compared with each other. In addition, the ultimate bearing capacity, coefficient of soil reaction and bearing capacity ratio (BCR) of the constructed road sections were calculated. The conclusions obtained from this study are presented below.

- When the settlement-pressure curve obtained from the Series I test was compared with some studies in the literature with similar soil and loading conditions ([7],[38]), the behaviours were seen to be compatible with each other,
- According to the settlement-pressure curves obtained from the Series II tests, for the same settlement values, the section reinforced with double reinforcements had the greater pressure values, followed by the section with single reinforcement. The pressure values of the unreinforced section were the lower than those of mentioned other sections,
- According to the settlement-pressure curves obtained from the Series III tests, for the same settlement values, the section reinforced with double reinforcements had the greater pressure values, followed by the section with single reinforcement. The pressure values of the unreinforced section were the lower than those of mentioned other sections,
- It has been observed that the values of the ultimate bearing capacity and the coefficient of soil reaction calculated both before and after the traffic load are significantly high in the sections reinforced with geosynthetics compared to the sections without

reinforcement. It is thought that this improvement effect is provided by mechanisms such as lateral confinement, increased bearing capacity and membrane effect of geosynthetics. The values of the ultimate bearing capacity and the coefficient of soil reaction of the section reinforced by double reinforcements are greater than those of the section reinforced by single reinforcement and the unreinforced section. Also, the unreinforced section has the smallest values,

- Based on the first 3 mm settlement in tests performed before the traffic load, when the base layer is placed on the weak subgrade soil, the bearing capacity has increased approximately 3 times than weak subgrade soil. Moreover, when the single geogrid is added to the base layer, the bearing capacity has increased approximately 4 times than weak subgrade soil, for the double geogrids also approximately 4.5 times. In addition, traffic loads greatly increased the bearing capacity ratio,
- After the traffic load, the bearing capacity has increased approximately four and a half times in the unreinforced section than weak subgrade soil, and approximately three and a half times in the double reinforced and single reinforced sections. It was thought that the reason why the traffic loads increase the bearing capacity in the unreinforced section is due to the fact that the base material is compressed with the traffic load and gains a more composite structure,
- Before the traffic load, compared to the weak soil, the coefficient of soil reaction calculated with the method suggested in TS 5744 increased to 1.4 times when the base layer was placed on the weak subgrade soil (unreinforced section), 1.7 times when single reinforcement was added to the base layer, and 1.8 times when the double reinforcement was added to the base layer,
- In this study, the feasibility of reinforcement with geosynthetics with the full-scale field tests was evaluated more realistically than the model tests conducted in the laboratory, especially in the highways built on weak soils in our country's conditions. In addition, after the traffic loads, the effect of this reinforcement was determined and the post-construction condition of the road was examined. As a result, it was observed that reinforcement with geosynthetics in such soil conditions increased the bearing capacity and/or coefficient of soil reaction values of the road.

## 7 Teşekkür

Yazarlar, "OKÜBAP2014-PT3-033" No.lu proje kapsamında verdiği finansal destekten ötürü Osmaniye Korkut Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (BAP) sonsuz şükranlarını sunar. Ayrıca, yazarlar, verdiği destekten dolayı Osmaniye İl Özel İdaresine de teşekkür eder.

## 8 Yazar katkı beyanı

Yapılan bu çalışmada Bahadır OK, deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi, literatür taramasının yapılması ve yazım işleri; Ahmet DEMİR, fikrin oluşması, deneysel çalışmaların yapılması, elde edilen tüm sonuçların yorumlanması ve yazım

işlerinin kontrolü; Talha SARICI, deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi, yazım işleri ve deney sonuçlarının sunulması; Mesut OVALI, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler ile araç-gereçlerin temin edilmesi ve deneysel çalışmaların kontrolü aşamalarında katkı sunmuşlardır.

## 9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur" "Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

## 10 Kaynaklar

- [1] Dawson A, Kolisoja P. "Managing Rutting in Low Volume Roads". The European Union European Regional Development Fund, Rovaniemi, Finland, Scientific Report, ROADEX II Final Report Part 2.1, 2006.
- [2] Giroud JP, Noiray L. "Geotextile-reinforced unpaved road design". *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 107(GT9), 1233-1254, 1981.
- [3] Giroud JP, Ah-Line C, Bonaparte R. "Design of unpaved roads and traffic areas with geogrids". *Symposium on Polymer Grid Reinforcement*, London, England, 23-24 March 1984.
- [4] Fannin RJ, Sigurdsson O. "Field observations on stabilization of unpaved roads with geosynthetics". *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(7), 544-553, 1996.
- [5] Ling HI, Liu Z. "Performance of geosynthetic reinforced asphalt pavements". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(2), 177-184, 2001.
- [6] Hufenus R, Rueegger R, Banjac R, Mayor P, Springman S, Brönnimann R. "Full-scale field tests on geosynthetics reinforced unpaved roads on soft subgrade". *Geotextiles and Geomembranes*, 24(1), 21-37, 2006.
- [7] Demir A, Laman M, Yildiz A, Ornek M. "Large scale field tests on geogrid-reinforced granular fill underlain by clay soil". *Geotextiles and Geomembranes*, 38, 1-15, 2013.
- [8] Kazmee H, Tutumluer E. "Evaluation of Aggregate Subgrade Materials Used as Pavement Subgrade/Granular Subbase". Illinois Center for Transportation, Illinois, USA, Scientific Report, FHWA-ICT-15-013, 2015.
- [9] Hass R, Walls J, Carroll RG. "Geogrid Reinforcement of Granular Bases in Flexible Pavements". Transportation Research Board, Washington, USA, Scientific Report, Transportation Research Record 1188, 1988.
- [10] Al-Qadi IL, Brandon TL, Valentine RJ, Smith TE. "Laboratory Evaluation of Geosynthetic Reinforced Pavement Sections". Transportation Research Board TRB, Washington, USA, Scientific Report, Transportation Research Record 1439, 1994.
- [11] Perkins SW. "Geosynthetic Reinforcement of Flexible Pavements: Laboratory Based Pavement Test Sections". U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Montana, USA, Scientific Report, FHWA/MT-99/8106-1, 1999.
- [12] Cancelli A, Montanelli F. "In-Ground test for geosynthetic reinforced flexible paved roads". *Proceedings of the Conference Geosynthetics '99*, Boston, USA, 28-30 April 1999.
- [13] Perkins SW. "Mechanistic-Empirical Modeling and Design Model Development of Geosynthetic Reinforced Flexible Pavements". U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Montana, USA, Scientific Report, FHWA/MT-01-002/99160-1, 2001.

- [14] Perkins SW. "Evaluation of Geosynthetic Reinforced Flexible Pavement Systems Using Two Pavement Test Facilities". US. Department of Transportation Federal Highway Administration, Montana, USA, Scientific Report, FHWA/MT-02-008/20040, 2002.
- [15] Berg RR, Christopher BR, Perkins S. Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base/Subbase Courses of Pavement Structures". Geosynthetic Materials Association, Minnesota, USA, Scientific Report, GMA White Paper II, 2000.
- [16] Wasage TL, Ong JGP, Fwa TF, Tan SA. "Laboratory evaluation of rutting resistance of geosynthetics reinforced asphalt pavement". *Journal of the Institution of Engineers*, 44(2), 29-44, 2004.
- [17] Tutumluer E, Al-Qadi IL, Kwon J, Dessouky S. "Geogrid base reinforced asphalt pavements: analysis approach and benefits". *Invited Keynote Paper, In Proceedings of the 2<sup>nd</sup> National Geosynthetics Conference of the Turkish Chapter of International Geosynthetics Society*, Istanbul, Turkey, 16-17 November 2006.
- [18] Al-Qadi IL, Loulizi A, Janajreh I, Freeman TE. "Pavement Response to Dual and New Wide-Base Tires at the Same Tire Pressure". Transportation Research Board, National Research Council, Washington, USA, Scientific Report Transportation Research Record, 1806, 2006.
- [19] Karagül BÇ. Yol Dolgularının Geogrid Kullanılarak İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [20] Zou W, Wang Z, Zhang H. "Field trial for asphalt pavements reinforced with geosynthetics and behavior of glass-fiber grids". *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 21(5), 361-367, 2007.
- [21] Kwon J, Tutumluer E, Al-Qadi IL, Dessouky S. "Effectiveness of geogrid base reinforcement in low-volume flexible pavements". *Presented at the ASCE GeoCongress 2008 Conference*, New Orleans, USA, 9-12 March 2008.
- [22] Kocaer M. Geosentetiklerin Karayolu Yapılarında Kullanımı: Türkiye Örnekleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [23] Al-Qadi IL, Dessouky S, Tutumluer E, Kwon J. "Geogrid mechanism in low-volume flexible pavements: accelerated testing of full-scale heavily instrumented pavement sections". *International Journal of Pavement Engineering*, 12(2), 121-135, 2011.
- [24] Yang X, Han J, Pkharel SK, Manandhar C, Parsons RL, Leshchinsky D, Halahmi I. "Accelerated pavement testing of unpaved roads with geocell-reinforced sand bases". *Geotextiles and Geomembranes*, 32, 95-103, 2012.
- [25] Perkins SW, Ismeik M. "A synthesis and evaluation of geosynthetic reinforced base layers in flexible pavements: Part I". *Geosynthetics International*, 4(6), 549-605, 1997.
- [26] Souci G. Laboratory Characterization of Geogrid-Reinforced Unbound Granular Material for Use in Flexible Pavement Structures. PhD Thesis, Louisiana State University, Louisiana, USA, 2007.
- [27] American Society for Testing and Materials. "Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Soils by Water Pycnometer". West Conshohocken, USA, D 854, 2002.
- [28] American Society for Testing and Materials. "Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils". West Conshohocken, USA, D 4318-00, 2009.
- [29] American Society for Testing and Materials. "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils". West Conshohocken, USA, D 422-63, 2009.
- [30] American Society for Testing and Materials. "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort". West Conshohocken, USA, D 1557, 2012.
- [31] Ovalı M. Yumuşak Kil Zemin Üzerine İnşa Edilen Geosentetiklerle Güçlendirilmiş Yol Dolgusu Üzerinde Arazi Deneylelerinin Yapılması. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ve Mustafa Kemal Üniversitesi Ortak Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye, Türkiye, 2016.
- [32] Webster SL. "Geogrid Reinforced Base Courses for Flexible Pavements for Light Aircraft: Test Section Construction Behavior Under Traffic, Laboratory Tests and Design Criteria". ASAE Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA, Scientific Report, GL-93-6, 1992.
- [33] Uzun BA. "Plaka yükleme deneyi üzerine". *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, 340, 15-18, 1988.
- [34] Dipova N, Cangir B. "Doğal zeminlerin ve yapay dolguların plaka yükleme deneyi ile incelenmesi". *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 37(1), 49-62, 2013.
- [35] Binquet J, Lee KL. "Bearing capacity tests on reinforced earth slabs". *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 101(12), 1241-1255, 1975.
- [36] Türk Standartları Enstitüsü. "İnşaat Mühendisliğinde Temel Zemini Özelliklerinin Yerinde Ölçümü". Ankara, Türkiye, 5744, 1998.
- [37] Bowles JE. *Foundation Analysis and Design*. 5<sup>th</sup> ed. New York, USA, McGraw-Hill, 1996.
- [38] Consoli NC, Schnaid F, Milititsky J. "Interpretation of plate load tests on residual soil site". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(9), 857-867, 1998.