



**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebubekir KAPLAN

**PALMIYE AĞACI BUDAMA ATIĞININ
(PTPW) KARAYOLU TABAN ZEMİNİN
GÜÇLENDİRİLMESİNDE GEOTEKSTİLE
ALTERNATİF OLARAK KULLANIMININ
TEKRARLI YÜKLER ALTINDA
İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANIYE – 2023

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PALMIYE AĞACI BUDAMA ATIĞININ (PTPW)
KARAYOLU TABAN ZEMİNİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE
GEOTEKSTİLE ALTERNATİF OLARAK
KULLANIMININ TEKRARLI YÜKLER ALTINDA
İNCELENMESİ**

Ebubekir KAPLAN

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
AĞUSTOS – 2023**

TEZ ONAYI

PALMIYE AĞACI BUDAMA ATIĞININ (PTPW) KARAYOLU TABAN ZEMİNİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE GEOTEKSTİLE ALTERNATİF OLARAK KULLANIMININ TEKRARLI YÜKLER ALTINDA İNCELENMESİ

Ebubekir KAPLAN tarafından Prof. Dr. Cafer KAYADELEN danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Cafer KAYADELEN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ALTAY
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

.....

Üye: Doç. Dr. Baki BAĞRIAÇIK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ÇÜ

.....

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

.....

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Ebubekir KAPLAN



ÖZET

PALMIYE AĞACI BUDAMA ATIĞININ (PTPW) KARAYOLU TABAN ZEMİNİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE GEOTEKSTİLE ALTERNATİF OLARAK KULLANIMININ TEKRARLI YÜKLER ALTINDA İNCELENMESİ

Ebubekir KAPLAN

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cafer KAYADELEN

AĞUSTOS 2023, 69 sayfa

Bu çalışmada, karayolları tasarımında kullanılan taban zemini üzerine çeşitli deneyler yapılmıştır, hem bir atık malzemenin geri dönüşümünü sağlayarak hem de döngüsel trafik yükleri altında kum taban zeminin tekerlek izi performansını iyileştirerek çevre için iki yönlü fayda sağlamaya odaklanmaktadır. Bu bağlamda, ticari olarak üretilen geotekstil ve palmye ağacı budama atığının (PTPW) zemin iyileştirme ajanları olarak performansını karşılaştırmak için bir dizi laboratuvar deneyi yapılmıştır. Çalışmanın deneysel sonuçları, kalıcı (plastik), toplam ve elastik deformasyon, tekerlek izi derinliği azalması (RDR), trafik fayda oranı (TBR), elastik deformasyon yüzdesi özelinde değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, geotekstil ve PTPW ile güçlendirilmiş kum taban zemini, güçlendirilmemiş duruma kıyasla kalıcı ve elastik deformasyonlar açısından iyi performans göstermiştir. Ayrıca, en tatmin edici performansın geotekstil veya PTPW'nin hem 50 mm hem de 100 mm'lik bir gömme derinliğine yerleştirilmesi durumunda elde edildiği de anlaşılmıştır. Bu durumda, geotekstil ve PTPW takviyeli taban zeminlerin TBR değerleri 20 mm kalıcı deformasyonda neredeyse aynıdır. Ayrıca sonuçlar RDR'ye göre değerlendirildiğinde, 5000 yük döngüsü sonunda geotekstil ve PTPW donatılarının tekerlek izi derinliği sırasıyla %49,31 ve %37,15 oranında azaldığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Palmye Ağacı Budama Atığı, Geotekstil, Zemin Stabilizasyonu, Esneklik Modülü (M_R), Atık malzemelerin Geri Dönüşümü

ABSTRACT

INVESTIGATING THE USE OF PALM TREE PRUNING WASTE (PTPW) AS AN ALTERNATIVE TO GEOTEXTILE IN REINFORCING HIGHWAY SUBGRADE UNDER REPEATED LOADS

Ebubekir KAPLAN
M.Sc., Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Cafer KAYADELEN

August 2023, 69 pages

In this study, several experiments were conducted on the subgrade used in the design of highways, focusing on providing two-way benefits for the environment both by recycling a waste material and improving the rutting performance of the sand subgrade under cyclic traffic loads. In this context, a series of laboratory experiments were conducted to compare the performance of commercially produced geotextile and palm tree pruning waste (PTPW) as soil improvement agents. The experimental results of the study were evaluated in terms of permanent (plastic), total and elastic deformation, rutting depth reduction (RDR), traffic benefit ratio (TBR), elastic deformation percentage. According to the experimental results, the sand subgrade reinforced with geotextile and PTPW performed well in terms of permanent and elastic deformations compared to the unreinforced condition. It has also been found that the most satisfactory performance is achieved when the geotextile or PTPW is placed at both an burial depth of 50 mm and 100 mm. In this case, the TBR values of geotextile and PTPW reinforced subgrades are almost the same at 20 mm of permanent deformation. In addition, when the results are evaluated according to RDR, it is seen that the rutting depth of geotextile and PTPW reinforcements decreased by 49.31% and 37.15%, respectively, at the end of 5000 load cycles.

Keywords: Palm Tree Pruning Waste, Geotextile, Soil Stabilization, Resilient Modulus (MR), Recycling Waste Materials.



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Yardımlarını ve desteğini her daim hissettiren değerli anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Tez çalışma sürecimde hem bilgi birikimi ve tecrübesiyle hem de ufuk açan yönlendirmeleriyle yolumu aydınlatan kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cafer KAYADELEN'e minnettarım.

Çalışma sürecimde katkılarıyla araştırmalarımın zenginlik katan Dr. Öğretim Üyesi Gökhan ALTAY'a, Arş. Gör. Yakup ÖNAL'a ve Arş. Gör. Mitat ÖZTÜRK'e teşekkür ederim. Ampirik çalışmalarımın desteklerini esirgemeyen 'Geoplas' firmasına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	14
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26
4.1. 500 mm Kalınlığında Takviyesiz Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi	26
4.2. 50 mm Derinlikte PTPW ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi	31
4.3. 50 mm Derinlikte Geotekstil ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi	35
4.4. 100 mm Derinlikte PTPW ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi	39
4.5. 100 mm Derinlikte Geotekstil ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi	43
4.6. 50 mm ve 100 mm Derinlikte PTPW ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi ..	47
4.7. 50 mm ve 100 mm Derinlikte Geotekstil ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi	51
4.8. Deneyin Sonuçlarının Karşılaştırılması	55
4.8.1. Toplam Deformasyon ve Kalıcı Deformasyon	55
4.8.1.1. Trafik Fayda Oranı (TBR).....	57
4.8.1.2. Tekerlek İzi Azalma Oranı (RDR).....	58
4.8.2. Elastik Deformasyon.....	60
4.8.2.1. Elastik Deformasyon Yüzdesi	62
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
5.1. Sonuçlar	64
5.2. Öneriler	65
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Kum Zeminin Özellikleri (Altay , 2019)	15
Çizelge 3.2 Palmiye Ağacı Budama Atığı (PTPW) Özellikleri (Kaplan, Kayadelen, Öztürk, Önal , & Altay, 2022)	16
Çizelge 3.3 Geotekstil Malzemesinin Özellikleri	17
Çizelge 3.4 Deney Programı	22
Çizelge 4.1 5000 Yük Döngüsü Sonundaki Toplam ve Kalıcı Deformasyon Değerleri (mm).....	57
Çizelge 4.2 5000 Yük Döngüsü Sonundaki RDR Değerleri	60



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Geocell takviyesinin membran etkisi (Zhang, Zhao, Shi, & Zhao, 2010)' den modifiye edilmiştir.	2
Şekil 2.1 Döngü sayısı ile oluşan kalıcı deformasyonlar (Suku, Prabhu, Ramesh, & Babu, 2016)	7
Şekil 2.2 Farklı takviyeli katman kalınlıkları için tekerlek izi derinliğindeki azalmanın değişim grafiği (Suku, Prabhu, Ramesh, & Babu, 2016)	7
Şekil 2.3 Kullanılan Hindistan cevizi geotekstil türleri (a) H2M5 Hindistan cevizi geotekstili ve (b) H2M6 hindistan cevizi geotekstili. (Anusudha, Sunitha, & Mathew, 2021)	11
Şekil 3.1 Deney Kasası (Önal, 2021)	14
Şekil 3.2 Kum zemininin dane çapı eğrisi (Altay , 2019)	15
Şekil 3.3 a) PTPW Bozulmamış b) PTPW Şekillendirilmiş (Kaplan, Kayadelen, Öztürk, Önal , & Altay, 2022)	16
Şekil 3.4 PTPW boyutunda 600 mm kesilmiş geotekstil	17
Şekil 3.5 Deney Kasasındaki Yükseklik Sınırlarının İşaretlenmesi (Önal, 2021)	18
Şekil 3.6 500 mm taban zemine sahip geotekstil ve PTPW ile güçlendirilmiş deney20	
Şekil 3.7 Yükleme Sistemi (Önal, 2021)	21
Şekil 3.8 Uygulanan Yükün Şekli (Kaplan, Kayadelen, Öztürk, Önal , & Altay, 2022)	22
Şekil 4.1 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (GM)	27
Şekil 4.2 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GM)	28
Şekil 4.3 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GM)	29
Şekil 4.4 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (GM)	29
Şekil 4.5 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (GM)	30
Şekil 4.6 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5)	31
Şekil 4.7 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5)	32
Şekil 4.8 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5)	33
Şekil 4.9 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5)	33
Şekil 4.10 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (PTPW-5)	34
Şekil 4.11 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (GT-5)	35
Şekil 4.12 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-5)	36
Şekil 4.13 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-5)	37

Şekil 4.14 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (GT-5)	37
Şekil 4.15 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (GT-5).....	38
Şekil 4.16 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (PTPW-10)	39
Şekil 4.17 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-10).....	40
Şekil 4.18 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-10) ..	41
Şekil 4.19 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (PTPW-10)	41
Şekil 4.20 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (PTPW-10)...	42
Şekil 4.21 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (GT-10)	43
Şekil 4.22 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-10).....	44
Şekil 4.23 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-10)	45
Şekil 4.24 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (GT-10)	45
Şekil 4.25 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (GT-10).....	46
Şekil 4.26 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5-10).....	47
Şekil 4.27 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5-10)	48
Şekil 4.28 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5-10)	49
Şekil 4.29 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5-10)	49
Şekil 4.30 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (PTPW-5-10)	50
Şekil 4.31 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (GT-5-10).....	51
Şekil 4.32 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-5-10)	52
Şekil 4.33 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-5-10)....	53
Şekil 4.34 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (GT-5-10)	53
Şekil 4.35 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (GT-5-10)....	54
Şekil 4.36 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonlarla İlişkisi	56
Şekil 4.37 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonlarla İlişkisi	56
Şekil 4.38 Trafik Fayda Oranı (TBR)	58
Şekil 4.39 Tekerlek İzi Azalma Oranı (RDR)	59
Şekil 4.40 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonlarla İlişkisi	61
Şekil 4.41 İlk 150 Yük Döngüsü İçin Elastik Deformasyon Yüzdesi	63

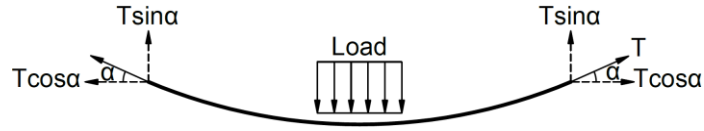
SİMGELER ve KISALTMALAR

BCR	Taşıma Kapasitesi Oranı	
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı	(%)
c	Kohezyon	(kPa)
C _c	Eğrilik katsayısı	
C _u	Üniformluk katsayısı	
e _{min}	Minimum boşluk oranı	
e _{mkas}	Maksimum boşluk oranı	
GM	500 mm kalınlığında güçlendirilmemiş deney	
GT-5	500 mm kalınlığında 50 mm derinlikte geotekstil ile güçlendirilmiş deney	
GT-10	500 mm kalınlığında 100 mm derinlikte geotekstil ile güçlendirilmiş deney	
GT-5-10	500 mm kalınlığında 50 mm ve 100 mm derinlikte geotekstil ile güçlendirilmiş deney	
M _R	Esneklik Modülü	(MPa)
PTPW	Palmiye Ağacı Budama Atığı	
PTPW-5	500 mm kalınlığında 50 mm derinlikte PTPW ile güçlendirilmiş deney	
PTPW-10	500 mm kalınlığında 100 mm derinlikte PTPW ile güçlendirilmiş deney	
PTPW-5-10	500 mm kalınlığında 50 mm ve 100 mm derinlikte PTPW ile güçlendirilmiş deney	
RDR	Tekerlek İzi Azalma Oranı	
TBR	Trafik Fayda Oranı	
u	Gömme derinliği	(mm)
USCS	Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi	

1. GİRİŞ

Bir karayolu üst yapı sistemi düşünüldüğünde, dinamik trafik yüklerin üst yapı sisteminin üst katmanlarından aşağıya, yani nihayetinde alt zemine doğru etkili bir şekilde dağıtılması gerekir. Ayrıca, kaplama sisteminin alt zemin tabakası dağıtılan trafik yüklerini taşımalıdır; aksi takdirde, kaplamaların en istenmeyen bozulma türlerinden biri olan tekerlek izi gibi tipik bozulmalardan muzdarip olunması kaçınılmaz olacaktır. Bu sıkıntıyı önlemek için temel ve/veya alt temelin tabaka kalınlığı arttırılabilir; böylece trafik yüklerinin daha geniş bir alana yayılması sağlanır. Ayrıca, pahalı ve zahmetli bir yöntem olan zayıf alt zeminin yüksek kaliteli zemin ile değiştirilmesi de bu olguyu önlemenin bir başka yolu olarak düşünülebilir. Bunların dışında, alt zemin stabilizasyonu daha uygun bir yöntem olarak düşünülebilir. Literatürde, alt zeminin taşıma kapasitesini artırmak için geosentetikler, lifler ve katkı maddeleri (çimento, kireç, uçucu kül, ve bitüm vb.) gibi çeşitli stabilizasyon yöntemleri tanıtılmıştır (Basha, Hashim, Mahmud, & Muntohar, 2005; Fannin & Sigurdsson, 1996; Gray & Ohashi, 1983; Shukla, 2002). Bu yöntemler arasında zemin stabilizasyonu için en yaygın ve popüler ürünün geosentetikler olduğu söylenebilir.

Geosentetiklerin alt zemini stabilize etmek ve asfaltsız yolların ve alanların taban katmanını güçlendirmek için kullanımı 1970'lere kadar uzanmaktadır (Giroud & Han, 2004). Geotekstil, geogrid ve geocell en yaygın kullanılan geosentetik türleridir. Bu üç geosentetik türünden biri olan geotekstil genellikle alt temel veya temel tabakası ile alt zemin arasında bir ayırıcı olarak kullanılır; buna göre, kaba alt temel veya temel malzemesi ile ince alt zemin malzemesinin birbirine karışması nedeniyle alt zeminin taşıma kapasitesinde potansiyel bir düşüş (yani, kaba alt temel veya temel malzemesinin alt zemin ince taneleri ile kirlenmesi) önlenabilir. Ayrıca, alt zemin ile alt temel veya temel tabakasının ara yüzeyinde geotekstil kullanılması, trafik yüklerinin daha geniş bir alana yayılmasını sağlayarak alt zeminin taşıma kapasitesinin artırılmasına da olanak tanır. Başka bir deyişle, geotekstil trafik yüküyle yön değiştirir ve daha fazla çekme kuvveti oluşur; bu nedenle, geotekstildeki bu kuvvetin dikey bileşeni alt zemin üzerindeki basıncın azaltılmasına katkıda bulunur. Geotekstilin bu mekanizması membran etkisi olarak adlandırılır (Hausmann, 1987; Zhang, Zhao, Shi, & Zhao, 2010) ve Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Geocell takviyesinin membran etkisi (Zhang, Zhao, Shi, & Zhao, 2010)’ den modifiye edilmiştir.

Geosentetiklerin sadece karayolu temel tabakası kalınlığını azaltmada değil, aynı zamanda kaplama sistemlerinin tekerlek izi performansını iyileştirmede de avantaj sağladığı yadsınamaz bir gerçektir (Önal, 2021; Suku, Prabhu, Ramesh, & Babu, 2016). Böylece geosentetikler inşaat maliyetinin de önemli ölçüde düşmesini sağlar. Ayrıca geosentetikler, temel katman kalınlığının azaltılması sayesinde hem doğal kaynakların kaybına neden olan doğal agregalara olan aşırı talebin azaltılmasına hem de sadece çevreye değil insan sağlığına da zarar veren taş ocakçılığı ve kırma faaliyetlerinin azaltılmasına olanak sağlamaktadır (Mandal & Pal, 2020). Literatürde, geosentetiklerin yol dolgularında bir takviye maddesi olarak kullanımının araştırılmasıyla ilgili çeşitli deneysel çalışmalar bulunmaktadır (Cuelho & Perkins, 2017; George, Banerjee, Puppala, & Saladhi, 2021; Mamatha & Dinesh, 2019; Nair & Latha, 2016; Saride, Rayabharapu, & Vedpathak, 2015; Singh, Trivedi, & Shukla, 2019). Bu çalışmaların deneysel sonuçlarına göre, geosentetikler takviye olarak kullanıldığında, geosentetiklerin takviyeli katmanların performansını artırdığı açıkça görülmüştür.

Ticari olarak üretilen geosentetiklerin yanı sıra, doğal takviye malzemeleri de önem kazanmaktadır çünkü bu malzemeler daha temiz ve sürdürülebilir bir çevre için iki yönlü faydaya sahiptir. Başka bir deyişle, atık malzemenin takviye malzemesi olarak kullanılması, hem depolanması hem de imha edilmesi çok zor olan bir atık malzemenin geri dönüştürülmesini hem de tekerlek izi performansının iyileştirilmesini sağlar (Evangelina, Sayida, & Girish, 2019).

Bu çalışmada, PTPW’nin ticari olarak üretilen geotekstile alternatif olarak potansiyel kullanımının araştırılması amaçlanmıştır. Deneylerde kullanılan palmiye ağacı Meksika yelpaze palmiyesi (yani *Washingtonia robusta*) olarak bilinmektedir. Bazı türleri 150 ila 300 yüz yıl arasında yaşayabilen palmiye ağaçları, yılda en az bir kez yaşlı yaprakların uzaklaştırılması ve çiçeklenme için budanır. Dolayısıyla bu budama

işlemi, genellikle çöplüklere atılan ya da yakılan ve çevre için çok zararlı olan büyük miktarda biyokütle üretmektedir (Ferrandez-Garcia, Ferrandez-Garcia, Ferrandez-Villena, Hidalgo-Cordero, Garcia-Ortuna, & Ferrandez-Garcia, 2018). Ayrıca, çok hızlı büyüyen *Washingtonia robusta*'nın budama faaliyeti yıllık 35,70 kg/ağaç atık üretmektedir (Garcia-Ortuno, Ferrandez-Garcia, Andreu Rodriguez, Ferrandez Gracia, & Ferrandez-Villena, 2011). Bu atık miktarının tek bir ağaca ait olduğu düşünüldüğünde, budama faaliyeti sonucunda ortaya çıkan büyük miktardaki atık malzemenin sürdürülebilir ve daha temiz bir çevre için değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, PTPW'nin ticari olarak üretilen geotekstillere alternatif olarak kullanılabilirliğini araştırmak için karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, döngüsel yükler altında farklı konfigürasyonlara sahip geotekstil ve PTPW ile güçlendirilmiş kum zemin üzerinde yedi adet laboratuvar model deneyi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, deneysel sonuçlar kalıcı, toplam ve elastik deformasyon, TBR, RDR, elastik deformasyon yüzdesi ve M_R bazında değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ulaşım ile alakalı geoteknik mühendisliği çalışmalarında önümüze çıkan sorunlar ile birlikte gelişen yenilikçi ve uygulanabilir çözümler gün geçtikçe artmaktadır. Yük taşıma kapasitesi bakımından taban zemini umulan kapasitenin altında olduğu sıkça karşımıza çıkmaktadır. Bu tür taban zeminlerin üzerine inşa edilmesi düşünülen üstyapılarda oluşan trafik nedeniyle meydana gelen yüklerin mevcutta bulunan zeminin taşıma yükü kapasitesini aşmaması gerekmektedir. Bu durum göz önüne alındığında üstyapıda bulundurulmuş zeminin tabaka kalınlığının artırılması söz konusudur. Böylece, kaynaklara olan ihtiyaç artmakta ve maliyet bakımından artış olmaktadır. Bu durum doğrultusunda özellikle son yıllarda taban zeminini güçlendirmek, üst yapıların servis ömrünü arttırmak amacıyla geosentetik malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Geotekstil, geocell, ve geogrid gibi geosentetik malzemelerin üstyapıda sağladığı faydaların incelendiği çalışmalar literatürde yer almaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarla üstyapıların tasarlanmasında fayda sağlayacak geosentetiklerin kullanımlarının standartlarının belirlenmesi ve belirlenen standartların geliştirilebilmesi için daha çok deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu duruma katkı sağlamış literatürde bulunan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

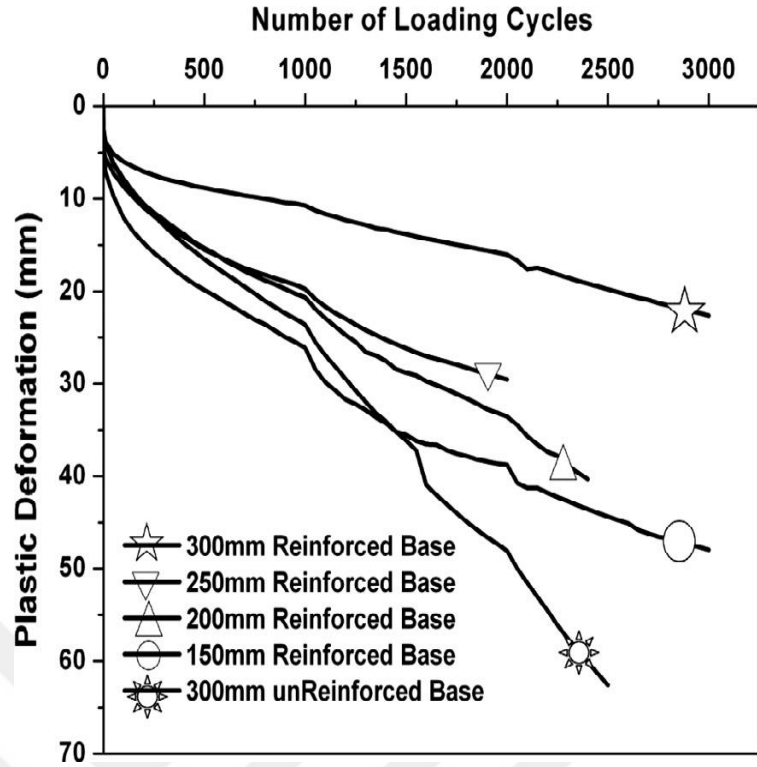
Araştırmacılar inşaat mühendisliği alanında PTPW malzemesini geri dönüştürmek için büyük bir çaba sarf etmektedir (Abdeldjouad, Asadi , Ball, Nahazanan, & Huat, 2019; Marandi, Bagheripour, Rahgozar, & Zare, 2008; Mujah, Rahman, & Zain, 2015; Nnochiri , Ogundipe, & Oluwatuyi, 2017; Pourakbar, Asadi, Huat, & Fasihnikoutalab, 2015). Çalışmalarında (Gil-Lopez, Medina-Molina, Verdu-Vazquez, & Martel-Rodriguez, 2017), çevre dostu bir yol kenarı gürültü bariyeri inşa etmek için parçalanmış PTPW ile toprağı farklı kombinasyonlarda yüzde olarak kullanmış ve bağlayıcı eleman olarak su kullanmıştır. Ses emilimi için %50 mıcır ve %50 toprak kombinasyonunda en tatmin edici sonucu elde etmişlerdir. Ayrıca, bu geri dönüştürülmüş gürültü bariyerinin maliyetini ahşap, çimento, alüminyum ve akrilik gibi geleneksel malzemelerden yapılmış bir gürültü bariyerinin maliyetiyle karşılaştırmak için ekonomik bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Ekonomik analiz ışığında, geri dönüştürülmüş gürültü bariyerinin metrekaşe başına maliyetinin, çevre dostu olmasının yanı sıra geleneksel olanın yaklaşık yarısı kadar olduğunu

vurgulamışlardır. (Mujah, Rahman, & Zain, 2015), Yumuşak toprağı güçlendirmek için öğütölmüş palmiye yağı yakıt külnün (POFA) potansiyel yeniden kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Zemin POFA ile güçlendirildiğinde yumuşak zeminin kohezyon değlerlerinin ve iç sürtünme açılarının sırasıyla %60 ve %50 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, daha büyük parçacık boyutu yerine daha küçük bir POFA parçacık boyutu kullanılması durumunda, iyileştirme faktörünün daha baskın olduğunu; ayrıca, zemin numunesinin tamamen doygun olması durumunda, konsolidasyon sonuçlarında da benzer bir eğilim gözlemlediklerini belirtmişlerdir. (Nnochiri , Ogundipe, & Oluwatuyi, 2017) Palmiye çekirdeğı kabuğı külnün (PKSA) kireçle stabilize edilmiş killi toprak üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kile PKSA ve kireç ilavesiyle CBR değlerinde bir artış ve hem likit limit hem de plastisite indeksinde bir düşüş gözlemlemişlerdir. (Qu & Zhu, 2021) Çeşitli içerik ve uzunluklarda palmiye lifi ile güçlendirilmiş killi toprağın mekanik özelliklerini araştırmak için sınırlandırılmamış basınç testleri gerçekleştirmişlerdir. Güçlendirilmiş killi zeminin enerji adsorpsiyon kapasitesinin, mukavemetinin ve sünekliğinin palmiye lifi ilavesiyle arttığını bulmuşlardır. Ayrıca, güçlendirilmiş killi toprağın enerji adsorpsiyon kapasitesinin, güçlendirilmemiş killi toprağı kıyasla %0,4 içeriğı ve 15 mm uzunluğı sahip numuneler için palmiye lifi ile %580 oranında arttığını belirtmişlerdir.

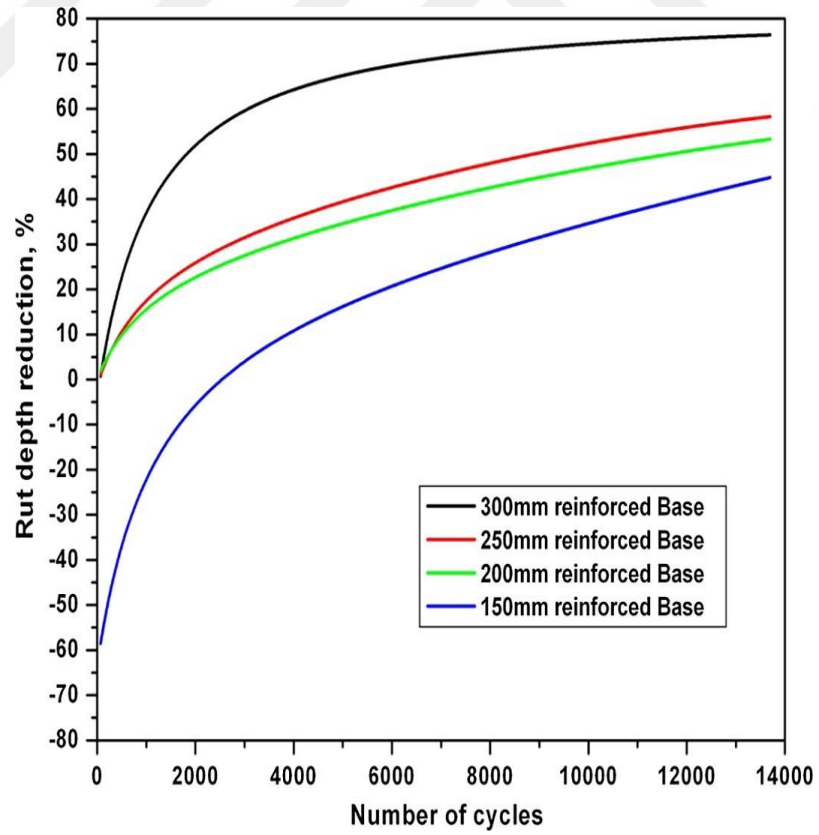
Alt zemin veya alt temel ile temel tabakasının ara yüzeyinde yer alan Hindistan cevizi geotekstil ile güçlendirilmiş kırsal yolların uzun vadeli performansını araştırmak için beş farklı yol kesitinde bir saha çalışması yürütmüşür. Geotekstil takviyeli beş yol üzerinde Dinamik Koni Penetrasyonu, Benkelman Kiriş Sapması ve Kaliforniya Taşıma Oranı testleri gerçekleştirmişler ve performanslarını takviyesiz durumla karşılaştırmışlardır. Güçlendirilmiş kesitler için güçlendirilmemiş kesitlere göre daha düşük Dinamik Koni Penetrasyon İndeksi değleri elde edildiğini ve bu indeks değlerinin %25 ile %80 aralığında azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar güçlendirilmiş kesitlerin güçlendirilmemiş duruma göre daha yüksek saha CBR değlerine sahip olduğunu ve saha CBR değlerinde %22'den %178'e kadar artış sağlandığını belirtmişlerdir. Ayrıca, Benkelman Kiriş Sapması test sonuçlarına göre, güçlendirilmiş kesitlerin karakteristik sapmada azalma gösterdiği sonucuna varmışlardır. (Bhattacharyya, Fullen, Davies, & Booth, 2009), Palmiye yaprağı geotekstil örtülerinin toprağı koruma ve erozyonu azaltma üzerindeki etkisini

araştırmışlardır. Bir yıllık saha deneylerinden sonra, güçlendirilmemiş durumda palmiye hasırlarının uygulanmasıyla, toprak sıçrama yüksekliğinin %51 ve sıçrama erozyonunun %90 oranında azaldığını keşfetmişlerdir.

Kaplamalı ve kaplamasız yolların tasarımını etkileyen başlıca faktörler kaplama katmanlarının mukavemeti ve sertliğidir. Üst yapının mukavemeti, inşaat maliyeti üzerinde doğrudan etkisi olan taban kalınlığının artmasıyla artarken taban kalınlığının azaltılmasıyla düşük yük taşıma kapasitesi ile sonuçlanan bir hale gelir. Taban zeminin mukavemetinden ödün verilmeden taban kalınlığını azaltmak için alternatif yöntemlere ihtiyaç vardır. Suku, Prabhu, Ramesh, ve Babu (2016), yaptıkları çalışmada tekrarlı yüklemeye maruz kalan geocell takviyeli taban zeminin performansını araştırmışlardır. Nehir yatağında bulunan beyaz kumu alt zemin malzemesi olarak kullanıp hazırlanan deney kasasına numune 90cm*90cm ebatlarında 60cm yüksekliğinde güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş durumlar ayarlanacak şekilde sıkıştırarak yerleştirmişlerdir. Deney düzeneğinde plaka yükleme testlerinde 550 kPa'lık basınca denk gelen yükü 150mm çapında dairesel plaka kullanarak numune üzerine 3000 döngü boyunca uygulamışlardır. Temel tabakasının kalınlığını 150 mm'den başlayıp 50 mm'lik artışla 300 mm'ye kalınlığa kadar geocell gömme derinliğini 20 mm'de tutarak deneylerini tamamlamışlardır. Hem toplam hem de kalıcı deformasyon hem güçlendirilmiş hem de güçlendirilmemiş bölümler için yük döngü sayısındaki artışla birlikte artışı görülmüş olup ayrıca kalıcı deformasyon oranının ilk yük döngüleri esnasında daha yüksek olduğu ve yük döngü sayısı arttıkça kalıcı deformasyon oranında azalma olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.1). Bunun yanı sıra esnek deformasyonlar incelendiğinde ortalama esnek deformasyon değerinin güçlendirilmemiş kesit için daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ampirik araştırmada ulaşılan sonuçlar arasında güçlendirilmiş kesitin kalınlığı arttıkça kalıcı deformasyonun veya tekerlek izi derinliğinin azalmış oluşuna dikkat çekmişlerdir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1 Döngü sayısı ile oluşan kalıcı deformasyonlar (Suku, Prabhu, Ramesh, & Babu, 2016)



Şekil 2.2 Farklı takviyeli katman kalınlıkları için tekerlek izi derinliğindeki azalmanın değişim grafiği (Suku, Prabhu, Ramesh, & Babu, 2016)

Cuelho ve Perkins (2017), gerçekleştirdikleri büyük ölçekli çalışmalarını aynı koşullar altında (aynı alt zemin ve tabaka kalınlığı) çeşitli geosentetik ürünlerin performansındaki farklılıkları ölçmek için özel olarak planlamışlardır. Buna ek olarak alt zeminin mukavemeti ve temel tabakası kalınlığındaki değişikliklerin performans üzerindeki etkisini incelemek için ek test bölümleri inşa edilmiştir. Her bir test bölümünü 4,9 m genişliğinde ve 15 m uzunluğunda tasarlamışlardır. Trafiğe açık olarak testleri gerçekleştirmişlerdir. Belirlenen koşullar altında göreceli performanslarını değerlendirmek için on geogrid ve iki geotekstil olmak üzere on iki gesentetik ürün kullanılmıştır. Alt zemini inşa etmek için kullanılan toprak USCS'ye göre kumlu yağsız kil, temel malzemesi kırılmış agregadan kullanılmış ve kumlu çakıllı kil olarak sınıflandırılmıştır. Tekerlek izi ölçümleri (trafik yönünde) her bir test bölümünün göreceli performansını belirlemek için birincil araç olmuştur. Tekerlek izlerinin değişimi temel olarak dört faktörden etkilenmiştir. Bunlar; alt zeminin mukavemeti, temel tabakasının derinliği, temel tabakasının mukavemeti ve geosentetiğin varlığıdır. Giroud-Han yöntemi şu anda geosentetik stabilize kaplamasız yolların tasarımında kullanılan en gelişmiş yöntemdir; ancak bu yöntemin kalibrasyonu bugüne kadar çok sınırlı veriye dayanmaktadır. Bu araştırma çalışmasının bir parçası olarak inşa edilen tam ölçekli saha testlerinden elde edilen performans verileri Giroud-Han tasarım denklemini kalibre etmek için kullanılmıştır.

Negi ve Singh (2021), kumlu ve killi zemin olmak üzere iki farklı zemin türünde dokuma ve dokuma olmayan iki tip geotekstili kullanarak, geotekstil türünün geotekstil katmanlarının konumunun ve sayısının alt zeminin mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır ve taşıma kapastesi oranı (BCR) bakımından değerlendirmişlerdir. Geotekstil donatılarının zemin numunesine sağladığı iyileşme Standart Laboratuar Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyine tabii tutularak H/6 bir, H/2 iki ve 5H/6 üç katmanda konumlandırarak deneyi tasarlamışlardır. Dokuma ve dokuma olmayan geotekstillerin kullanıldığı iki zemin tipindeki değerleri kum zemin için sırasıyla 1.40 ve 1.29 maksimum BCR değeri iken killi zemin için sırasıyla 2.74 ve 1.85 maksimum BCR değerini elde etmişlerdir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda dokuma geotekstil ile güçlendirilmiş zemin dokuma olmayan geotekstille güçlendirilmiş zemine göre BCR değerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Zemin tipine (kumlu ve killi zemin) göre geotekstil donatının etkisinin incelemesi için CBR değeri %19.6 olan kumlu zemin için iki kat dokuma geotekstili

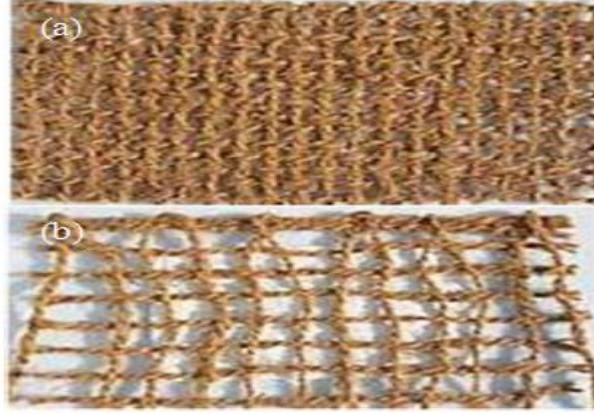
H/6 ve H/2 derinliklere yerleştirildiğinde %40 lık (BCR değeri 1.40) bir iyileşme elde edilmiş olup CBR değeri %1.79 değerinde bulunan zayıf killi zemin için iki kat dokuma geotekstili H/6 ve H/2 derinliklere yerleştirildiğinde %173 lük (BCR değeri 2.74) bir iyileşme tespit edilmiştir. Bu durumun sonucu olarak dokuma geotekstilin maksimum etkililiği killi zemin numunesinde elde edilmiştir. Buna ek olarak zayıf zeminleri geotekstil ile güçlendirilmesi istendiğinde geotekstilin sayısının yerleşiminin de önemli etken olduğu görülmüştür. Geotekstilin tabaka sayısının artırılmasıyla (H/2 ve H/6) killi zemin numunesinde mukavemetinin yüksek bir artış sağlarken (BCR 1.5 ile 3 arasında) kumlu zeminlerde ise geotekstilin tek katmanlı konumunda (H/2) maksimum güçlendirme faydasını elde etmişlerdir. Bu bağlamda kumlu zeminlerde geotekstil katman sayısının artırılması, killi zeminlerde arttırıldığında olduğu gibi fayda sağlamadığını gözlemlemişlerdir. Kumlu zeminlerde geotekstilin katman sayısının arttırılmasının maliyeti arttırmakla sonuçlanacağını belirtmişlerdir. Sonlu elemanlar programı ABAQUS ile sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak laboratuarda elde edilmiş CBR değerlerini karşılaştırdıklarında sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmalarının sonuçlarına bakıldığında taban zeminin mukavemetinin iyileştirilmesinde geotekstilin kullanımının olumlu sonuçlar verdiği ve maliyetli olan yüzey kaplama kalınlığının düşürülmesine katkıda bulunduğu görülmektedir.

Al-Refeai (2000), alt zemin / geotekstil / temel sisteminde dokumasız geotekstille plastik ve esnek davranışı üzerindeki etkisinin gözlemlemek amacıyla döngüsel üç eksenli testlerden bir dizi gerçekleştirmiştir. Deneyde kaba kumu temel malzemesi, killi siltli kumu ise alt zemin malzemesi olmak üzere iki tip zemin kullanmıştır. Geotekstil 98 mm çapında dairesel şekilde hazırlanıp alt zeminin üstüne yerleştirilerek tek katman olarak 50 mm yarı çapında ve 200 mm yükseklikteki numuneler içerisinde konumlandırılıp 0,10 saniyelik bir yük ve sonrasında 0,90 saniyelik dinlenme süresinden oluşan haversine şeklinde yük uygulaması yardımıyla büyüklüğü sabit tutulan tekrarlanan bir sapma gerilmesine maruz bırakılmıştır. Böylelikle sapma gerilmesi seviyesi ve sınırlama gerilmesi olan iki yükleme faktörünü incelemiştir. Geotekstil içeren ve içermeyen alt zemin-temel sisteminin arasındaki karşılaştırmalarla, geotekstilin dahil edilmesinin esneklik modüllerini arttırdığını ve esneklik modülünün sapma gerilmesine olan bağımlılığını azalttığını tespit etmiştir. Deneyde sistemin esneklik modülünde yaklaşık %14'lük bir artışı

dokunmamış geotekstilin alt zemin-geotekstil-temel sistemine dahil etmesiyle gözlemiştir. Geotekstili alt zemin-geotekstil-temel sistemine eklemesiyle plastik davranışı iyileşmiş olduğunu analiz etmiş ve kalıcı deformasyonunu yarı yarıya (%50 oranında) azalttığını ortaya koymuştur.

Anusudha, Sunitha ve Mathew (2021), çalışmalarını alt zemin ve alt temel tabakalarının ara yüzeyine yerleştirilen hindistan cevizi geotekstilin güçlendirme davranışını araştırmak için gerçekleştirmişlerdir. Alt zemin numunesini yüksek derecede plastisiteye sahip organik toprak olarak tercih etmişlerdir. Zeminin elastisite modülünü belirlemek için laboratuvar ortamında alt zemin üzerinde bir plaka yükü deneyi gerçekleştirmişlerdir. Plaka yükü deneyleri, 450 mm yüksekliğe ulaşmak amacıyla 50 mm kaldırma kalınlığında katmanlar halinde 1.5 m x 1.5 m ve yüksekliği 0.75 m olan yumuşak çelik tank içerisinde sıkıştırılmış bir alt zemin üzerinde yapmışlardır. Yükleme plaksını 300 mm çapında ve 25 mm kalınlığında seçerek, tankın genişliğini plaka çapının 5 katı olarak kabul edip sınır etkilerinden kaçınmışlardır. Hindistan cevizi liflerini 150 mm uzunluğa sahip ve 0.6 mm çapında (en-boy oranı = 250) hindistan cevizi ipliği formuna getirip sonrasında hindistan cevizi geotekstilleri elde etmek için dokumuşlardır. H2M5 (sınıf II) ve H2M6 (sınıf I) tipinde iki farklı dokuma hindistan cevizi geotekstilleri elde etmişler ve çalışmalarının test bölümlerinde yapısal davranışı iyileştirmek için takviye malzemesi olarak kullanmışlardır (Şekil 2.3). Yaptıkları deneylerde geotekstilsiz durumda 5 mm bir oturma için taşıma kapasitesi 1197 kPa'lık bir değerken, H2M5 ve H2M6 gömülü test kesitlerinde sırasıyla 1243 kPa ve 1212 kPa'lık taşıma kapasitesini elde etmişlerdir. Böylelikle H2M5 takviyeli numune, takviyesiz kesite kıyasla taşıma kapasitesinde yaklaşık olarak %21'lik bir maksimum artış sağlamış olduğu görülmüştür. Ancak H2M6 takviyesiyle bu artış sadece %9 olarak kaydedilmiştir. H2M5 takviyeli kesit tüm deformasyon değerlerinde taşıma kapasitesinde büyük miktarda fayda gözlemlemişlerdir. Hem takviyeli hem de takviyesiz üstyapı kesitlerinin deplasman, gerinim tepkileri ile birlikte gerilme gibi temel performans parametreleri, Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) analizi için bir yazılım paketi olan ABAQUS kullanıp üstyapı analiziyle elde etmişlerdir. H2M5 ve H2M6 hindistan cevizi geotekstiliyle güçlendirilmiş kesitlerde alt zeminin üst kısmında düşey gerilmede sırasıyla %38 ve %24 oranında maksimum azalma gözlenmiştir. Ayrıca, H2M5 ve H2M6 geotekstil ile güçlendirilmiş kesitlerde düşey

yer değiştirmede sırasıyla maksimum %30 ve %18 azalma gözlenmiştir. Dolayısıyla, H2M5 tipi hindistan cevizi geotekstilinin, takviye olarak kullanıldığında kaplamaların yapısal performansının iyileştirilmesine H2M6 tipinden daha fazla katkıda bulunduğu sonucuna varmışlardır.



şekil 2.3 Kullanılan Hindistan cevizi geotekstil türleri (a) H2M5 Hindistan cevizi geotekstili ve (b) H2M6 hindistan cevizi geotekstili. (Anusudha, Sunitha, & Mathew, 2021)

Qian, Han, Pokharel ve Parsons, (2011), yaptıkları çalışmada zayıf bir alt zeminin esneklik modülünü belirlemek için döngüsel plaka yükleme testleri yapmışlardır. Malzemenin kolayca örneklenemediği, anizotrop olduğuunda, katmanlı olduğuunda ve geosentetikler gibi diğer malzemeler ile kompozit olması durumlarında üst yapı malzemesinin genel esneklik modülünün döngüsel plaka yükleme testleri ile belirlenmesinin uygun olduğunu belirtmişlerdir. Zemin numunesi ağırlıkça %75 Kansas nehri kumu ve %25 kaolinit karışımıyla yapay zayıf zemin olarak hazırlanmışlardır. Zeminin %10.8'lik optimum su içeriğinde maksimum kuru yoğunluğunu 2.01 g/cm³ olarak hesaplamışlardır. Bu alt zemin için laboratuarda bir dizi ıslatılmamış CBR testi farklı su içeriklerinde gerçekleştirmişler ve alt zemin kutu testleri için %11.4 su içeriğinde sıkıştırılarak CBR değerinin yaklaşık %2 olmasını sağlamış olup bunlarıda kanatlı kesme testleri ve DCP (Dinamik Koni Penetrasyonu) testleri ile doğrulamışlardır. Döngüsel plaka yükleme testleri 2 m x 2,2 m x 2 m ebatlarında büyük elik bir kasa ile bir yükleme aktüatörü ve veri toplama ünitesi yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Alt zemini 600 mm kalınlığında her 150 mm kalınlığında 4 kademedede %11.4 su içeriğinde yerleştirip sıkıştırmışlardır. Yükleme plakası 0.3 m çapında 0.018 m kalınlınlığında kullanılmış olup döngüsel yüklemeyi 4, 8, 12 ve 16 kN olmak üzere dört farklı büyüklüklerde 0.77 Hz dalga ferakasında

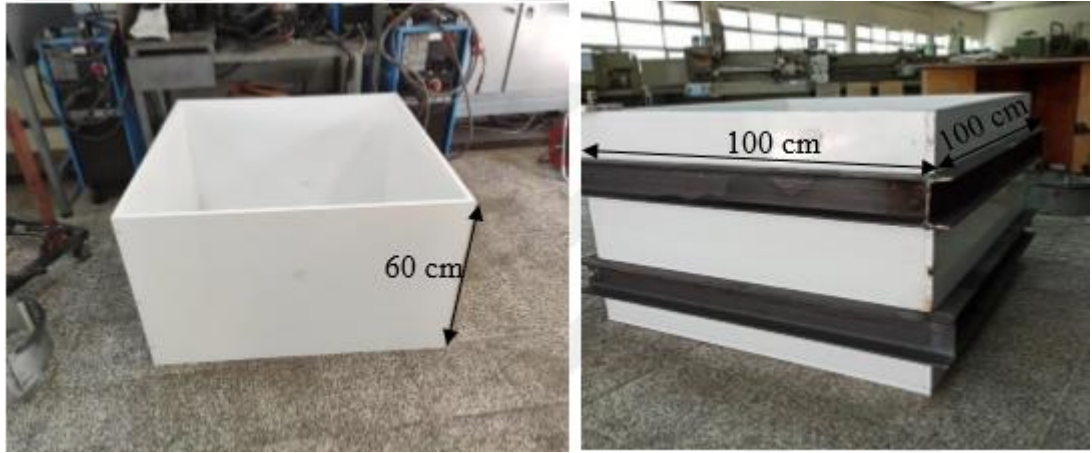
uygulamışlardır. Test sonuçları plaka deformasyonunun döngü sayısı ile birlikte arttığını göstermiştir. Plakanın geri tepme deformasyonlarına dayalı olarak alt zeminin esneklik modülünü hesaplamışlardır. Her bir testi esneklik modülü sabit bir değere ulaşana kadar döğüsel olarak yüklemişlerdir. Alt zeminin hesaplanan esneklik modülü farklı büyüklükteki döğüsel yüklemeler altında döngü sayısı ile önce arttığı sonra azaldığı ve sabit bir değere yaklaştığını belirtmişlerdir. Dört farklı teste göre, alt zeminin esneklik modülü 30 ila 40 MPa arasında değişmekte olup ortalama değer 37.2 MPa mertebesinde lakin 0.79'luk bir faktörle çarpılarak düzeltildiğinde, düzeltilmiş esneklik modülünü 29.4 MPa olarak tespit etmişlerdir. Bu bağlamda, alt zeminin düşey kalıcı deformasyonunun döğüsel yükleme sayısı ile attığı sonucuna varmışlardır.

Suku, Prabhu, Ramesh ve Babu (2017), saha çalışmalarında gerekli olan temel tabaka kalınlığını azaltmak amacıyla geogrid takviyeli asfaltsız kesitlerin daha yüksek gerilmere maruz kalması durumundaki performansını incelemişlerdir. Deneylerinde genellikle iyi bir alt zemin malzemesi olarak kabul edilen nehir kumunu kullanmışlar ve kaplamanın tekerlek izinde maksimum azalmasını elde etmek amacıyla geogridin (30 mm x 30 mm kare açıklı) taban tabakasına yerleştirilmesinde optimum derinliği elde etmek için tekrarlanan plaka yükü testleri kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Farklı yükleme şekillerine maruz kalan kaplama malzemelerinin deformasyonunu karakterize etmek ve geogridin kaplamalardaki kalıcı deformasyonunu azaltmadaki etkinliğini gözlemlemek için yapılan plaka yükü testleri, 1.5 m x 1.5 m ve 1m yüksekliğine sahip bir tankta hem güçlendirilmiş hem de güçlendirilmemiş koşullar altında granüler taban üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Test bölümlerinin her birinde alt zemini katmanlar halinde sıkıştırıp 500 mm'de tutmuşlardır. Alt zemin ve tabanın birbirine karışmasını önlemek için alt zeminin üzerine bir geotekstil yerleştirmişlerdir. Tüm testler için granüler tabanın yoğunluğunu %6 optimum nem içeriğinde 1835,49 kg/m³ olarak tutmuşlardır. Yüğü tabana aktarmak için 150 mm çapında dairesel plaka kullanarak sınır etkilerinden kaçınmışlardır. Yüğü, plaka üzerinde 20 kN'den başlatıp 1000 döngü boyunca sabit tutup her 1000 döngüden sonra 5kN arttırarak 30 kN'a kadar 3000 döngü şeklinde uygulamışlardır. Uyguladıkları basınç sırasıyla 1100, 1375 ve 1650 kPa'ya karşılık gelmiştir. Taban katmanının kalınlığını 300 mm'de sabit tutmuşlar ve geogridi gömme derinliklerini taban yüzeyinden itibaren 50 mm (H/6), 100 mm (H/3) ve 150

mm (H/2) olarak belirleyerek yerleştirmişlerdir. Geogrid donatının etkisini; kapsamlı deneysel programla esnek ve kalıcı deformasyon, gerilme ve gerinimler şeklinde incelemişlerdir. Kalıcı deformasyonun en aza indirilmesini sağlamak amacıyla geogridlerin yerleştirilmesi gereken optimum derinliği 50 mm olarak bulmuşlardır. Kalıcı deformasyonu, 50 mm derinliğe yerleştirilmiş olan geogrid, 150 mm ve 100 mm derinliğe yerleştirilen geogridlere kıyasla yaklaşık olarak %40 daha fazla azalmıştır. Ulaşılan sonuç doğrultusunda 50 mm derinliğe yerleştirilen geogridlerin diğer derinliklere erleştirilen geogridlere kıyasla daha yüksek bir performans sağladığını gözlemlemişlerdir. Farklı kalınlıklara sahip güçlendirme yapılmış ve güçlendirme yapılmamış kesitler üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda , tüm farklı tipteki kalınlıklar için güçlendirme yapmanın kalıcı deformasyonu en az %50 oranında azaltabildiğini ortaya koymuşlardır. Bu sonuçların yanı sıra kaydedilen sonuçlar arasında güçlendirme yapılan kesitlerin esnek deformasyonlarının güçlendirme yapılmayan kesitlerle karşılaştırıldığında deformasyonun daha az olduğu ve bu durumun da güçlendirme yapılmış kesitlerin esneklik modülünün güçlendirme yapılmamış kesitlere kıyasla daha yüksek olmasına neden olduğu yer almıştır. Tekerlek izi derinliği azaltma çalışmaları sonuçlarına bakıldığında; en az katman kalınlığına sahip olan geogrid takviyesinin maksimum kalınlıkta olan takviyesiz bölüme kıyasla deformasyonu %50 oranında azaltabildiğini sonucunu vermiştir. Basınç dağılımı çalışmaları sonucunda ise temel tabakasında kalınlaşma azaldıkça, artan yük dağılımı nedeniyle alt zemin üzerinde oluşan basıncın artmakta olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, geogrid donatıyla aynı kalınlıktaki donatısız bölümle karşılaştırıldığında geogrid donatının alt zemin üzerindeki var olan basıncı %66 oranında önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Gerilme dağılım açılarının, yapılan deneylerde ilk çevrimler esnasında yüksek olduğunu ve çevrimlerin artmasıyla birlikte hızla azaldığını belirtmişlerdir. Güçlendirme yapılmış kesitin güçlendirme yapılmamış kesite kıyasla daha az bir gerilme dağılım açısı gösterdiğini tespit etmişlerdir. Takviyeli kesitlerin kalınlığında meydana gelen artışın ise gerilme dağılım aısının artmasına neden olduğu sonucunu aktarmışlardır. Güçlendirme yapmanın alt zeminde meydana gelen gerilmeleri %400 oranında azalttığını analiz etmişlerdir. Son olarak alt tabakadaki kalınlık azaldıkça alt tabaka seviyesindeki gerilemelerin artmış olduğunu ve maksimum gerilmelerin 150 mm kalınlığındaki taban için tespit edilirken minimum gerilmelerin 300 mm kalınlığındaki taban için elde edildiğini sonucuna ulaşmışlardır.

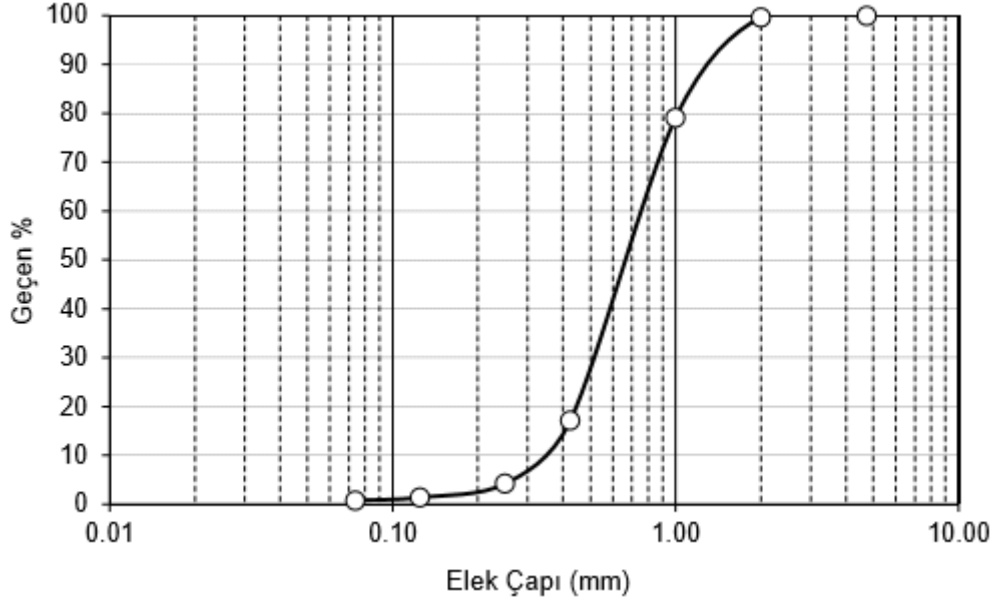
3. MALZEME VE YÖNTEM

Palmiye ağacı budama atığı (PTPW) ve geotekstil ile karayolu temelindeki taban zeminin güçlendirilmesi durumunun deneylerle incelenebilmesi için daha önce imal edilmiş deney kasası Şekil 3.1.'de gösterilmiştir (Önal, 2021). Gerçekleştirilecek olan deneylerde kullanılmak üzere tasarlanmış olan deney kasası boyutları 100 x 100 x 60 cm şeklindedir. Deney kasasının içerisine karayolu taban zeminini sembolize etmesi hedefiyle 0.5m³ kum zemin malzemesi her 10 cm de bir sıkıştırma yapılarak yerleştirme sağlanacağından tasarlanmış olan deney kasasında oluşma olasılığı bulunan deformasyon riskine karşı önlem olarak deney kasasını dışarıdan saran çelik kuşaklar ile sarılıp güçlendirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Deney Kasası (Önal, 2021)

Yapılan tüm deneylerde zemin malzemesi olarak kullanılmak üzere belirlenen kum Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi laboratuvarında bulunan ve bu çalışmadan önce yapılmış araştırmalarda yararlanılan kum zeminden istifade edilmiştir. Şekil 3.2.'de kum zemine ait dane çapı dağılım eğrisi verilmiştir. (TS 1500)' e göre kötü derecelendirilmiş kum (SP) olarak saptanmış ve kum zemine dair özellikler Çizelge 3.1.' de verilmiştir.



Şekil 3.2 Kum zemininin dane çapı eğrisi (Altay , 2019)

Çizelge 3.1 Kum Zeminin Özellikleri (Altay , 2019)

Özellik	Değer
D_{10} (mm)	0.38
D_{30} (mm)	0.50
D_{60} (mm)	0.70
Üniformluk katsayısı, C_u	1.84
Eğrilik katsayısı, C_c	0.94
Dane birim hacim ağırlık	2.74
Maksimum kuru birim ağırlık (kN/m^3)	16.57
Minimum kuru birim ağırlık (kN/m^3)	15.00
İçsel sürtünme açısı (derece)	42
Kohezyon, c (kPa)	0.00
Minimum boşluk oranı, e_{min}	0.62
Maksimum boşluk oranı, e_{maks}	0.79
Sıkılık (%)	80

Deneylerde kullanılan palmiye ağacı budama atığının (PTPW) özellikleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Palmiye Ağacı Budama Atığı (PTPW) Özellikleri (Kaplan, Kayadelen, Öztürk, Önal , & Altay, 2022)

Özellikler	Birimler	Değer
Malzeme Bileşimi	-	Meksika yelpaze palmiyesi
Su içeriği	%	13
Kalınlık	mm	0.4

Palmiye ağacı budama atığı (PTPW) hali hazırdaki şekli deneylerde kullanılmadan önce kum zemine yerleştirmeden bozulmamış ve şekillendirilmiş PTPW’ nin fotoğrafı Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Aynı koşullarda karşılaştırma yapmak amacıyla, PTPW numuneleri dairesel bir biçimde, yani 600 mm çapında kesilmiştir. 600 mm çapında deneyde kum zeminde kullanılmaya hazırlanan PTPW numuneleri hiçbir yırtık ve süreksizlik olmadan hazırlanmıştır.



a)

b)

Şekil 3.3 a) PTPW Bozulmamış b) PTPW Şekillendirilmiş (Kaplan, Kayadelen, Öztürk, Önal , & Altay, 2022)

Deneylerde kullanılan geotekstil numuneleri, özel PTPW numuneleri ile aynı boyutlarda kesilmiştir. Polipropilenden (PP) imal edilen geotekstilin özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

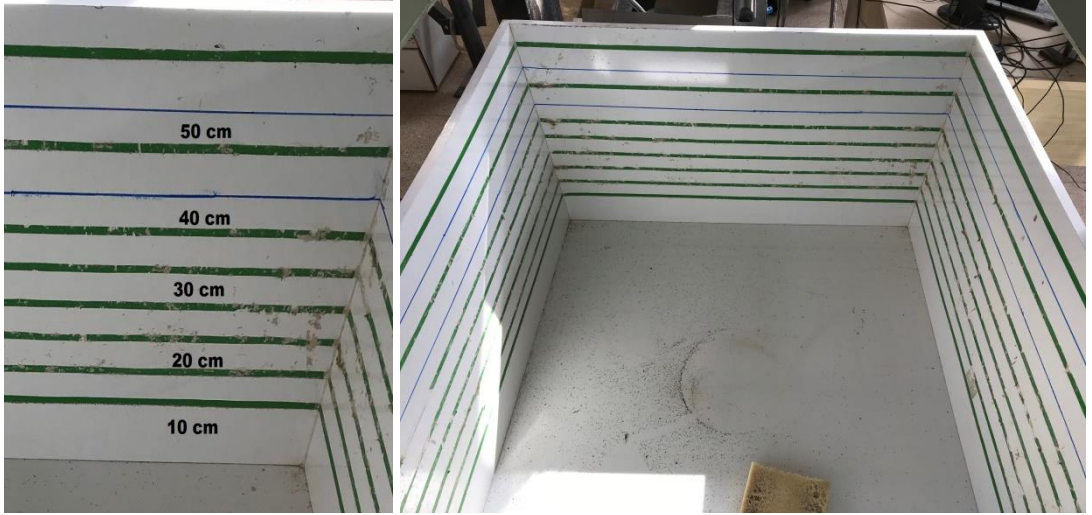
Çizelge 3.3 Geotekstil Malzemesinin Özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Malzeme	-	Polipropilen (PP), beyaz
Birim ağırlık	g/cm ²	250
Çekme Dayanımı,	kN/m	13 / 15
md/cmd*		
Kopma Uzaması	%	50
Statik Delinme Dayanımı	N	2500
Dinamik Delinme	mm	20
Dayanımı		
Sıvı Geçirgenliği	m/s	0.06
Gözenek açıklığı	mm	0.12
UV Dayanımı	%	70



Şekil 3.4 PTPW boyutunda 600 mm kesilmiş geotekstil

Deney düzeneğinde kullanılan kötü derecelendirilmiş kum zemini yerleştirip sıkıştırma işlemi yapılırken yüksekliği kontrollü bir şekilde belirlemek amacıyla deney kasası içerisinde bant şeritler ve kumdan silinmeyecek tahta kalem ile sınır çizgileri ve ara işaret şeritleri yapıştırılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Deney Kasasındaki Yükseklik Sınırlarının İşaretlenmesi (Önal, 2021)

Yapılan deneylerde zemin olarak Çizelge 3.1 de özellikleri verilen kötü derecelendirilmiş kum kullanılmıştır ve yapılan bütün deneylerde toplam yükseklik 500 mm olacak şekilde standardize edilmiştir. Taban zemini için kum numune sıklığı %80 olarak belirlenmiş olup sabit olarak tüm deneylerde aynı sıklıkta tutulmuştur. Yapılacak deneylerde deney kasası içerisinde (10x100x100 cm olan hacme) %80 sıklık için lazım olan ağırlıkta her kademede (toplam 50cm için 5 kademe) hassas terazi ile tartılıp kum boşaltılmıştır ve hedeflenen sıklık ucunda 200 mm çapında bir dairesel çelik plaka kaynaklanan hilti başlığı vasıtasıyla 100 mm yüksekliğe kadar sıkıştırma işlemiyle sağlanmıştır. Her sıkıştırma kademesinden önce yüzeyin düzgünlüğü su terazisi ile kontrol edilmiştir.

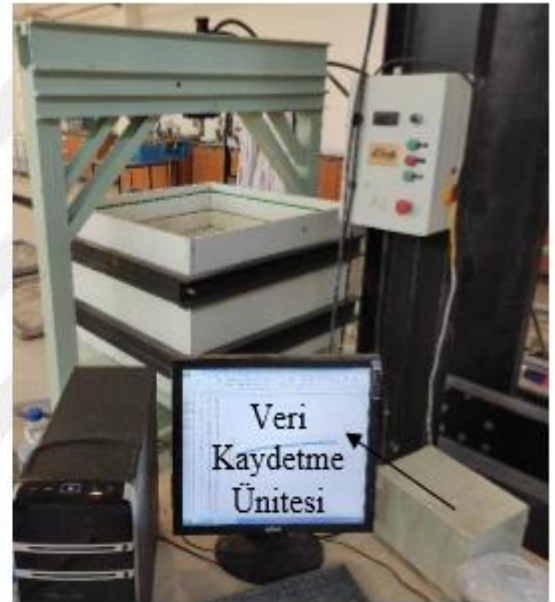
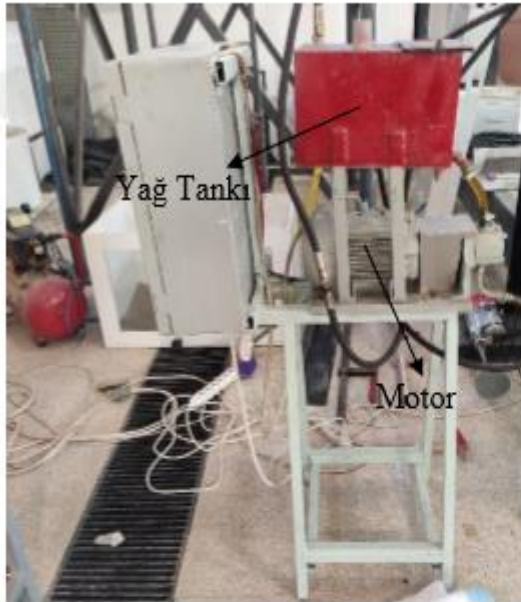
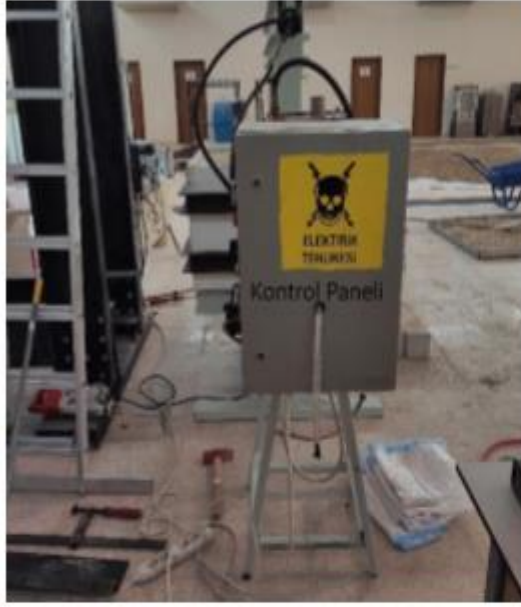
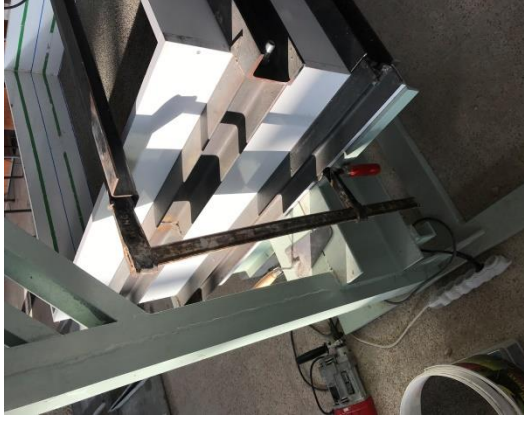
Şekil 3.6 'da 500 mm taban zemin yüksekliğinde deney yapılışıyla alakalı resimler verilmiştir. İlk olarak Şekil 3.5' de gösterildiği gibi deney kasası boşaltılıp temizlendikten sonra taban zemin tabakası %80 sıklıkta hazırlanmıştır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7' de deneylerin adımları görüldüğü üzere öncelikle kum numune her 100 mm yüksekliğe tekabül edecek ağırlıktaki kum numune bir hassas terazide tartılarak deney kasasının zeminine boşaltılıp eşit şekilde yayılarak darbeli hilti ile sıkıştırma işlemi yapılarak her tabaka deneye hazır hale getirilmiştir ve deneyler için farklı farklı kademelere PTPW ya da 600 mm çapında geotekstil serilmiştir. Son tabakanın sıkıştırılması yapıldıktan sonra su terazisi aracılığıyla yüzeyin düzgünlük durumu kontrol edilmiştir. Deney kasasında düzgün yüzeyin tam merkezinde 200 mm çapındaki yükleme plakası yerleştirilmiş ve bu yükleme plakasının düzgünlük

durumu da yine su terazisi aracılığıyla kontrolü sağlanmıştır. Sınır etkilerinden kaçınmak için yükleme plakası, literatürde bildirilen çalışmalara göre ((Nair & Latha, 2016) (Palmiera & Antunes, 2010)) 1/5 ‘ ine eşit olacak şekilde seçilmiştir. Düşey deformasyonları ölçebilmek için kullanılan yükleme plakası revize edilerek deformasyon ölçerlerin (LVDT) plaka ile arasına kum daneleri girmemesi için dairesel şerit plaka ile çevrilip kulakçıklar eklenerek yenilenmiştir. Düşey deformasyonların ölçülebilmesi için revize edilen yükleme plakasının sağında ve solunda bulunan kulakçıklara LVDT yani hassas deformasyon ölçerler yerleştirilmiştir ve deneylerin sonuçlarında okunan düşey deformasyon değerlerinin ortalaması alınmasıyla değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan her bir deney için aynı adımlar izlenmiştir.

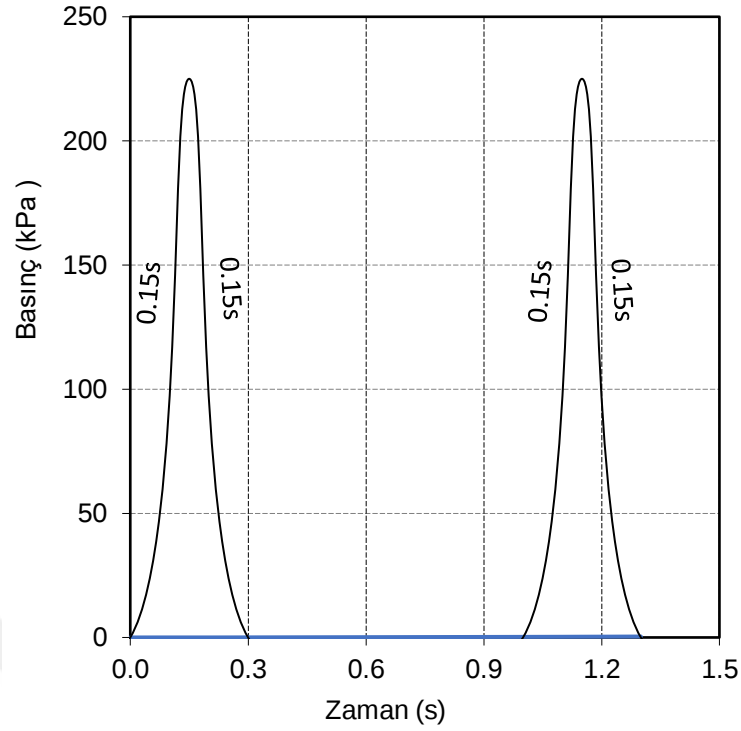
Şekil 3.7’ de yükleme sistemini kurulumu ve kullanılan ekipmanların görselleri bulunmaktadır. Tekrarlı yükleme deneylerinde uygulanacak yük çevriminin periyodu, yükleme süresi, döngü adedi kontrol ünitesi vasıtasıyla denetlenmektedir. Tekrarlı yükleme deneylerinde yükleme plakasına trafik yüklerini temsil etmesi amacıyla Şekil 3.8’ de belirtilen 1(bir) Hz frekans değerine sahip olan 225 kPa’lık basınç piston kullanılarak verilmiştir. Yüklemeden dolayı zeminde meydana gelen elastik, kalıcı deformasyonlar ve yük değer verileri, LVDT ve yük ölçerle tespiti yapıp veri kayıt alma ünitesi olarak Data Logger kullanılarak elde edilmiştir. (Önal, 2021)



Şekil 3.6 500 mm taban zemine sahip geotekstil ve PTPW ile güçlendirilmiş deney



Şekil 3.7 Yükleme Sistemi (Önal, 2021)



Şekil 3.8 Uygulanan Yükün Şekli (Kaplan, Kayadelen, Öztürk, Önal , & Altay, 2022)

Deneyi gerçekleştirmek amacıyla hazır hale getirilen kum alt zemini üzerinde önceden ifade edildiği şekilde deneyler yapılmıştır. Bu araştırma çerçevesinde hazırlanan ve yapılmış olan 7 farklı güçlendirme tipindeki deneylerin programı Çizelge 3.4’ te yer verilmiştir.

Çizelge 3.4 Deney Programı

Deney No	Deney Tipi	Taban zeminin yüksekliği (mm)	Gömülme derinliği (u) (mm)
1	Güçlendirilmemiş (GM)	500	-
2	PTPW ile güçlendirilmiş (PTPW-5)	500	50
3	Geotekstil ile güçlendirilmiş (GT-5)	500	50
4	PTPW ile güçlendirilmiş (PTPW-10)	500	100
5	Geotekstil ile güçlendirilmiş (GT-10)	500	100
6	PTPW ile güçlendirilmiş (PTPW-5-10)	500	50 ve 100
7	Geotekstil ile güçlendirilmiş (GT-5-10)	500	50 ve 100

Deneyler daha önce belirtildiği gibi toplam 500 mm yüksekliğinde %80 sıklıkla hazırlanan toplam 815 kg taban zeminini minimum 5 kademedede, her kademe 163 kg'da 100 mm yükseklikte hazırlanıp sıkıştırılmıştır. 50 mm derilikte geotekstil ve/veya PTPW bulunan deneylerde toplam 6 kademe sıkıştırma yapıp son kademe sıkıştırma işlemi için 81,5 kg kum numune 50 mm yükseklikte iki kademe şeklinde sıkıştırması yapılmıştır. Taban kum zeminin PTPW ve geotekstilin sağladığı güçlendirmenin faydasının incelenmekte olduğu çalışma kapsamında toplam 7 model deney gerçekleştirilmiştir.

500 mm kalınlığındaki taban zemininin takviyesiz deneyi yapılırken deney kasasına 100 mm her kum numune yüksekliği için belirlenmiş olan 163 kg kum numunesi serilmiş ve 100 mm'lik her kademedede sıkıştırma işlemi yapılarak 5 tabakada uygulanıp hazırlanmıştır.

Gömme derinliği 50 mm'de PTPW takviyeli deney gerçekleştirilirken ilk olarak 100 mm kalınlık için belirlenmiş olan 163 kg'lık malzeme deney kasası içerisine boşaltıldı sonrasında ise 4 kademedede 400 mm sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. (Suku, Prabhu, Ramesh, & Babu, 2017)' yaptıkları çalışmada artan döngü sayısı nedeniyle geosentetik malzemelerin zarar görmesini önlemek ve maksimum fayda görmek için minimum gömme derinliğini 50 mm olarak belirlemişlerdir. Bundan dolayı geotekstile alternatifi düşünülen PTPW için de gömme derinliği bu değer olarak baz alınmıştır. 50 mm derinlikte aplikasyonu yapılacak PTPW konumu için son kademe sıkıştırma 2 parçaya bölünmüştür. Her 100 mm kademe için kullanılan malzeme 163 kg olduğu için son kademedede PTPW konumlandırılması için 81,5 kg'lık 2 parça halinde 50'şer mm şeklinde bölünüp son kademe sıkıştırılması yapılmıştır.

Gömme derinliği 50 mm'de geotekstil takviyeli deney uygulandığı esnada ilk olarak 100 mm kalınlık için belirlenmiş olan 163 kg'lık malzeme deney kasası içerisine boşaltıldı sonrasında ise 4 kademedede 400 mm sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. 50 mm derinlikte aplikasyonu yapılacak geotekstil konumu için son kademe sıkıştırma 2 parçaya bölünmüştür. Her 100 mm kademe için kullanılan malzeme 163 kg olduğu için son kademedede PTPW konumlandırılması için 81,5 kg'lık 2 parça halinde 50'şer mm şeklinde bölünüp son kademe sıkıştırılması yapılmıştır. Bu deney

ile PTPW ve geotekstilin aynı deney düzeneklerindeki performansların karşılaştırılması yapılmıştır.

100 mm derinlikte PTPW takviyeli deney gerçekleştirilirken ise ilk olarak 100 mm kalınlık için belirlenmiş olan 163 kg'lık malzeme deney kasası içerisine boşaltıldı sonrasında ise 5 kademedede 500 mm sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deney kasasına kum numunenin taban zemininin sıkıştırması yapılırken dördüncü kademedede elde edilen 100 mm derinlikte PTPW konumlandırılarak son kademe numune yerleştirilip sıkıştırılmıştır. Bu deney ile gömme derinliğini iki katına çıkardığımızda PTPW' nin taban zeminine sağladığı faydanın ne oranda değiştiğinin karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır.

100 mm derinlikte geotekstil takviyeli deney uygulanırken ilk adımda 100 mm kalınlık için belirlenmiş olan 163 kg'lık malzeme deney kasası içerisine boşaltıldı sonrasında ise 5 kademedede 500 mm sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deney kasasına kum numunenin taban zemininin sıkıştırması yapılırken dördüncü kademedede elde edilen 100 mm derinlikte geotekstil konumlandırılarak son kademe numune yerleştirilip sıkıştırılmıştır. Bu deney ile hem gömme derinliğini iki katına çıkardığımızda geotekstilin taban zeminine sağladığı faydanın ne oranda değiştiğinin karşılaştırılması hem de aynı deney şartlarında PTPW kullanıldığında faydanın değişiminin incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

50 mm ve 100 mm derinlikte PTPW takviyeli deney gerçekleştirilirken ilk olarak 100 mm kalınlık için belirlenmiş olan 163 kg'lık malzeme deney kasası içerisine boşaltıldı sonrasında ise 4 kademedede 400 mm sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. İki farklı gömme derinliğinde bulunan PTPW için deney kasasına kum numunenin taban zemininin sıkıştırması yapılırken dördüncü kademedede elde edilen 100 mm derinlikte PTPW konumlandırılarak son kademeye geçilmiştir. 50 mm derinlikte uygulasyonu yapılacak PTPW konumu için son kademe sıkıştırma 2 parçaya bölünmüştür. PTPW konumlandırılması için 81,5 kg'lık 2 parça halinde 50'şer mm şeklinde bölünüp son kademe sıkıştırılması yapılmıştır. Bu deney ile aynı deney düzeneğinde zemini iki farklı gömme derinliğine sahip PTPW ile güçlendirildiğinde oluşacak iyileşmenin ne oranda değiştiğinin gözlemlenmesi amacıyla yapılmıştır.

50 mm ve 100 mm derinlikte geotekstil takviyeli deney yapılırken ilk olarak 100 mm kalınlık için 163 kg'lık malzeme deney kasası içerisine boşaltıldı sonrasında ise 4 kademede 400 mm sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. İki farklı gömme derinliğinde bulunan geotekstil için deney kasasına kum numunenin taban zemininin sıkıştırması yapılırken dördüncü kademede elde edilen 100 mm derinlikte geotekstil konumlandırılarak son kademeye geçilmiştir. 50 mm derinlikte aplikasyonu yapılacak geotekstil konumu için son kademe sıkıştırma 2 parçaya bölünmüştür. Geotekstil konumlandırılması için 81,5 kg'lık 2 parça halinde 50'er mm şeklinde bölünüp son kademe sıkıştırılması yapılmıştır. Bu deney ile aynı deney düzeneğinde zemini iki farklı gömme derinliğine sahip geotekstil ile güçlendirildiğinde oluşacak iyileşmenin ve aynı şekilde hazırlanan PTPW ile yapılan deneyde elde edilen faydanın ne oranda değiştiğinin gözlemlenmesi amacıyla yapılmıştır.

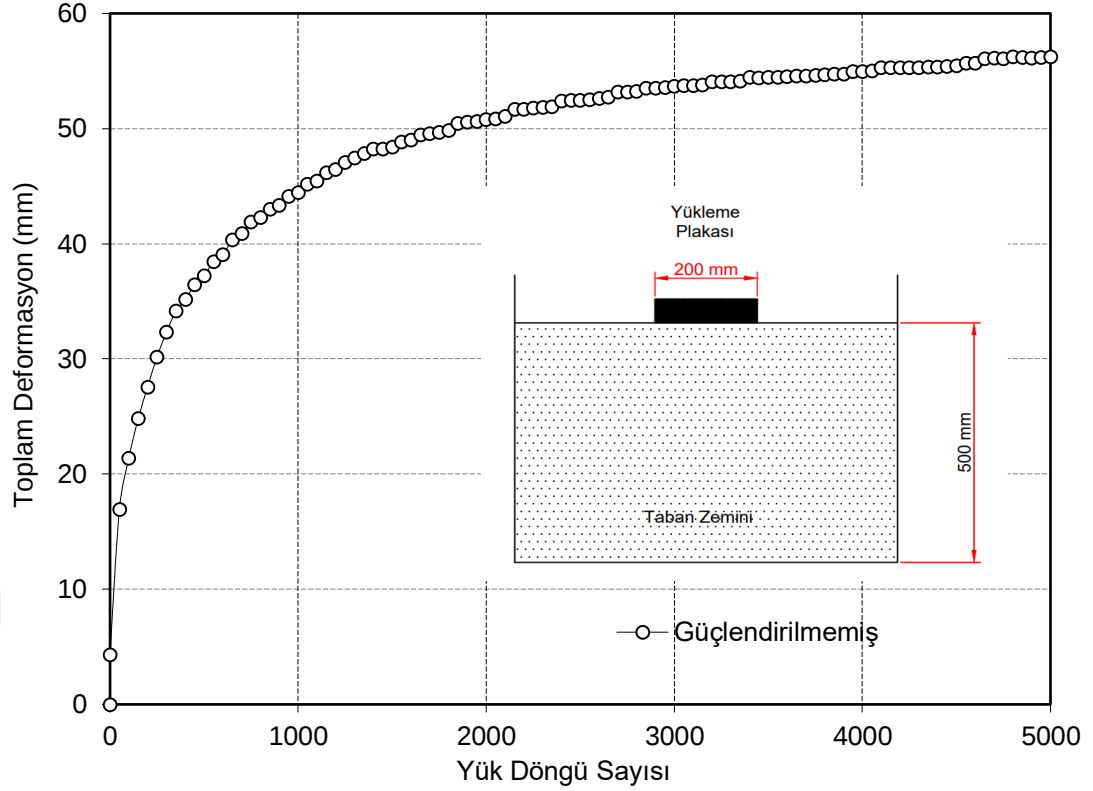
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması çerçevesinde 500 mm alt zeminin 50 mm ve 100 mm gömme derinliklerine PTPW veya geotekstil güçlendirmesine sahip olması durumunda tekrarlı yüklere maruz kalmasıyla toplam, kalıcı ve elastik deformasyonlar, Trafik Fayda Oranı (TBR), Tekerlek İzi Azalma Oranı (RDR) ve elastik deformasyon yüzdesi bakımından incelemesi yapılmıştır.

4.1. 500 mm Kalınlığında Takviyesiz Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi

Öncelikle 500 mm yüksekliğine sahip kum taban zemin numunesi kademeli olarak sıkıştırılıp hazırlandıktan sonra deney gerçekleştirilmiştir. Revize edilen yükleme plakası üzerinde sağda ve solda olmak üzere iki adet kulakçıklardaki iki tane deformasyon ölçerden elde edilen düşey deformasyonların ortalama değerlerinin incelendiği bu deney 225 kPa'lık basınca maruz bırakılıp 5000 yük döngüsüne tabi tutularak yapılmıştır. Deneyin neticesinde bulunan yük çevrimlerine tekabül eden deformasyon değerleri Şekil 4.1 de verilmiştir.

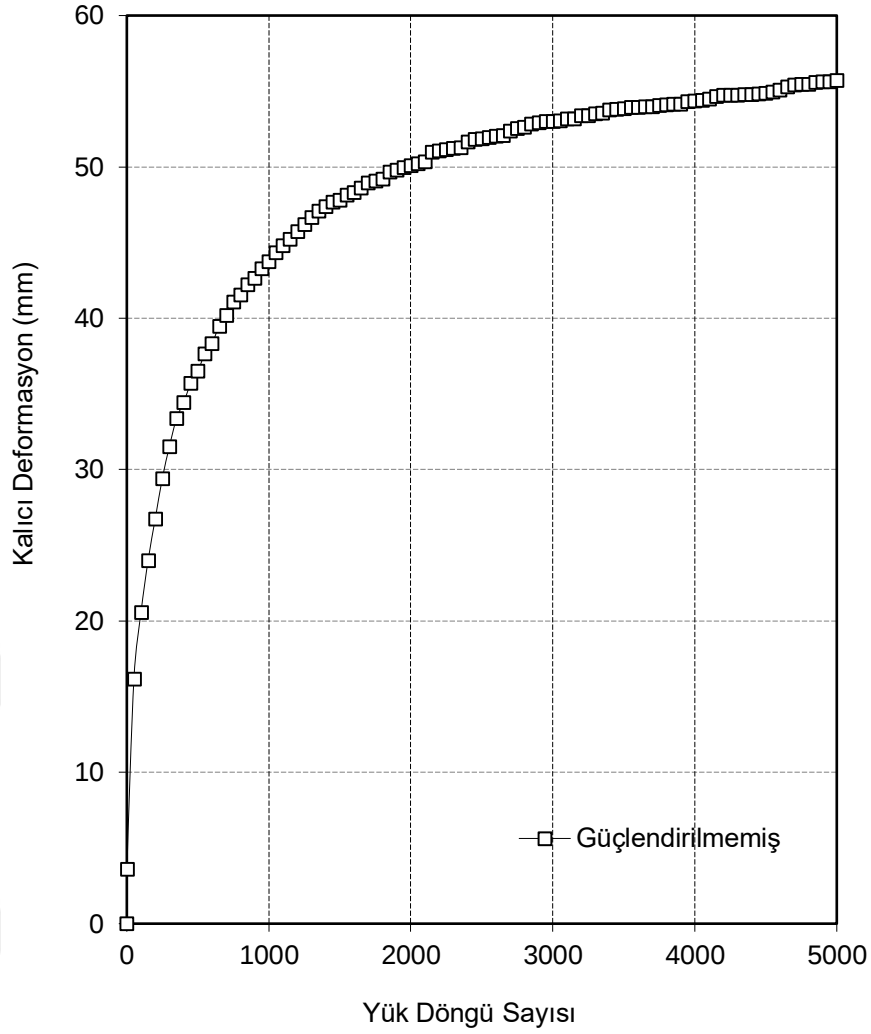
Şekil 4.1' e bakıldığında yük döngü sayılarında artış oldukça toplam deformasyon değerlerinde de artış olmaktadır. Toplam deformasyon değerindeki artış miktarı, ilk yükleme döngülerinde daha fazla olmasıyla birlikte yük döngülerinin miktarı arttıkça azaldığı görülmüştür. 5000 yük döngüsünde deneyin sonlandırılmasıyla toplam deformasyonun 56.24 mm'lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.1' deki ilişkide ilk yük döngüleri için grafiğik lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.



Şekil 4.1 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (GM)

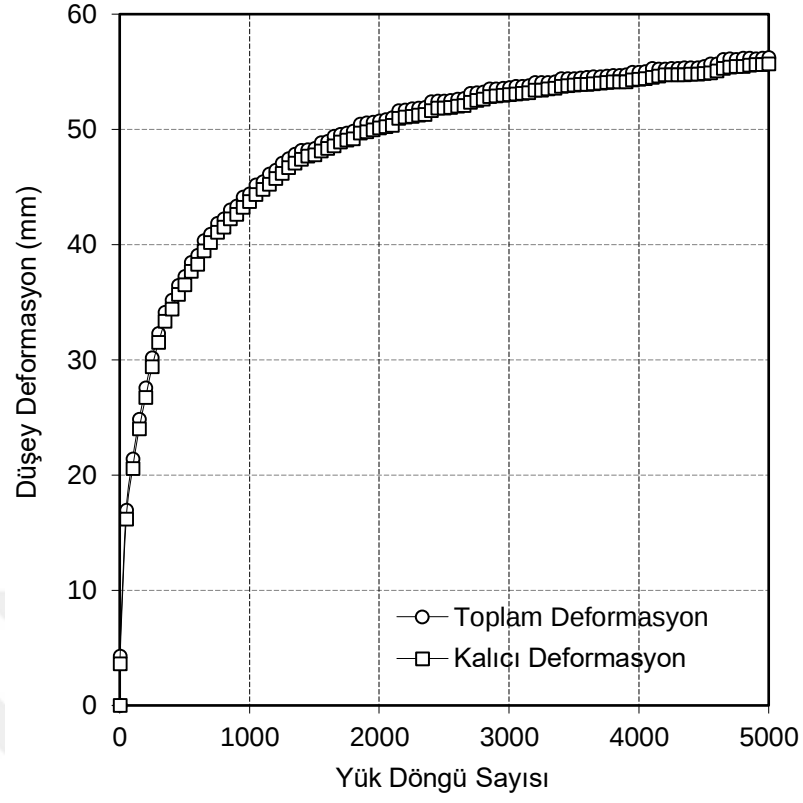
Yapılan deney düzeneğinde bulunan yükleme plakası, tekrarlı yüklemedeki yükün boşaltılmasıyla birlikte elastik deformasyon değeri kadar plaka geri gelmektedir. Uygulanan her yük çevriminin sonunda elastik deformasyonların geriye gelmesinin dışında kalan deformasyon değeri kalıcı deformasyon olarak tanımlanmıştır. Yapılan deneyde elde edilen verilere göre yük çevrim sayılarındaki kalıcı deformasyon değerleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Şekil 4.2’ ye bakıldığında ise aynı toplam deformasyondaki gibi yük döngü sayılarında artış oldukça kalıcı deformasyon değerlerinde de artış olmaktadır. Bu artışın miktarıysa ilk döngüler için daha fazla olmasıyla birlikte yük döngü sayısı arttıkça azaldığı görülmüştür. 5000 yük döngüsü sağlandıktan sonra kalıcı deformasyonun 55.72 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.2 incelendiğinde tıpkı toplam deformasyon grafiğinde olduğu gibi ilk yük döngüleri için grafiğin lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.

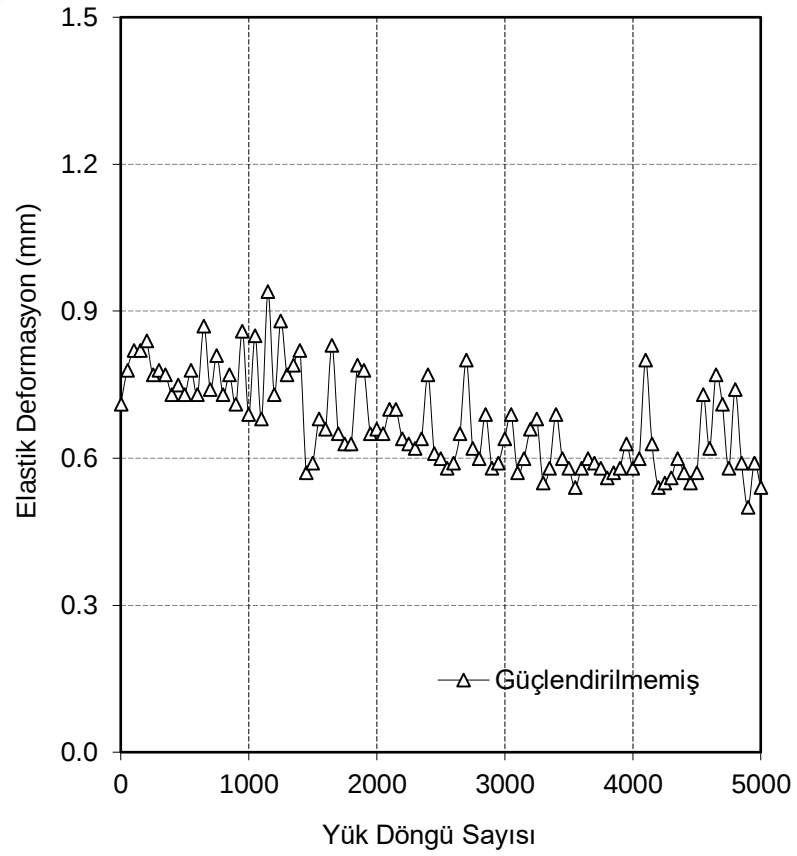


Şekil 4.2 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GM)

Şekil 4.3' te toplam ve kalıcı deformasyonların değerleri bir arada gösterilmiştir. Yapılan deneydeki her yük çevrimi için toplam deformasyondan kalıcı deformasyonun çıkarılmasıyla elde edilen fark o yük çevrimine ait olan elastik deformasyon değerini belirtmektedir. Bu deneye ait elastik deformasyonun verileri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. İlk yükleme döngüsünde elastik deformasyonun 0.71 mm'lik bir değere sahip olduğu burada görülmektedir. Yük çevrim sayısındaki artmayla birlikte 0.94 mm değerine kadar artış gösterdiği ve sonrasında azalarak 5000 yük çevrimi sonucunda 0.54 mm değerinde olduğu görülmektedir.

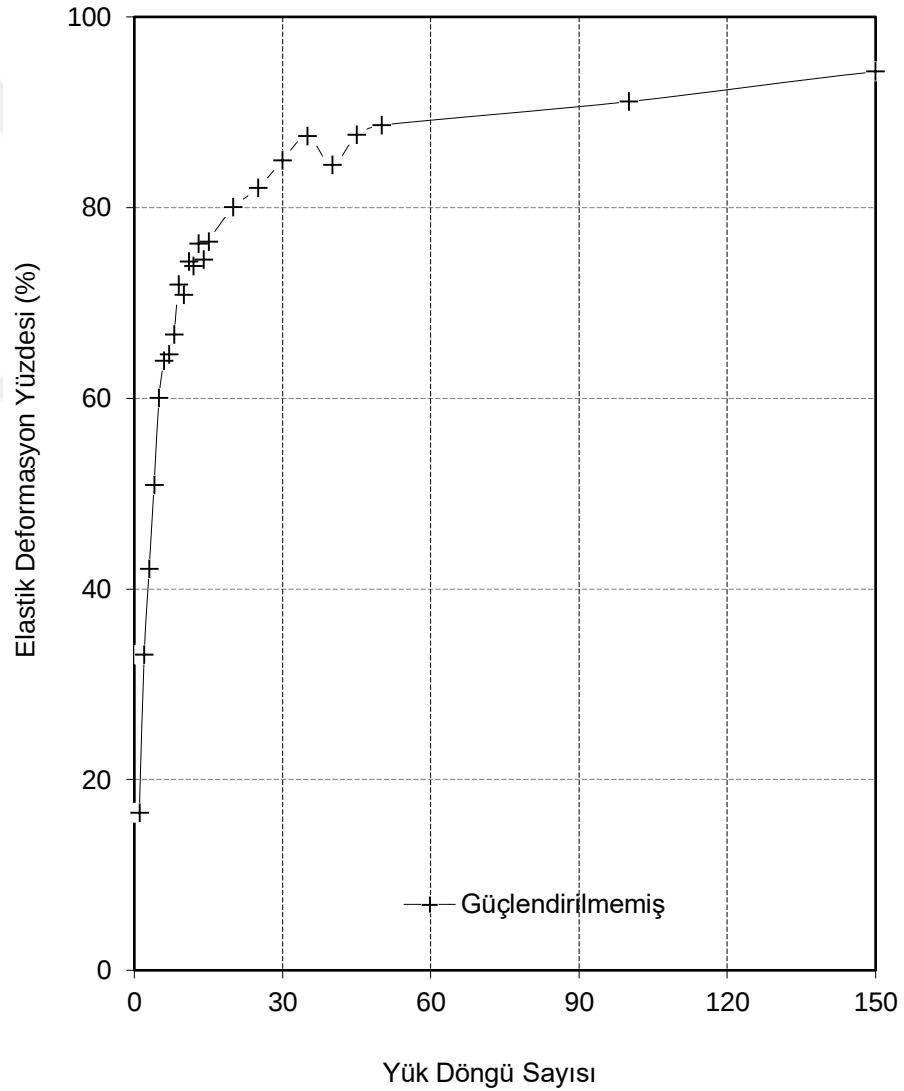


Şekil 4.3 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GM)



Şekil 4.4 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (GM)

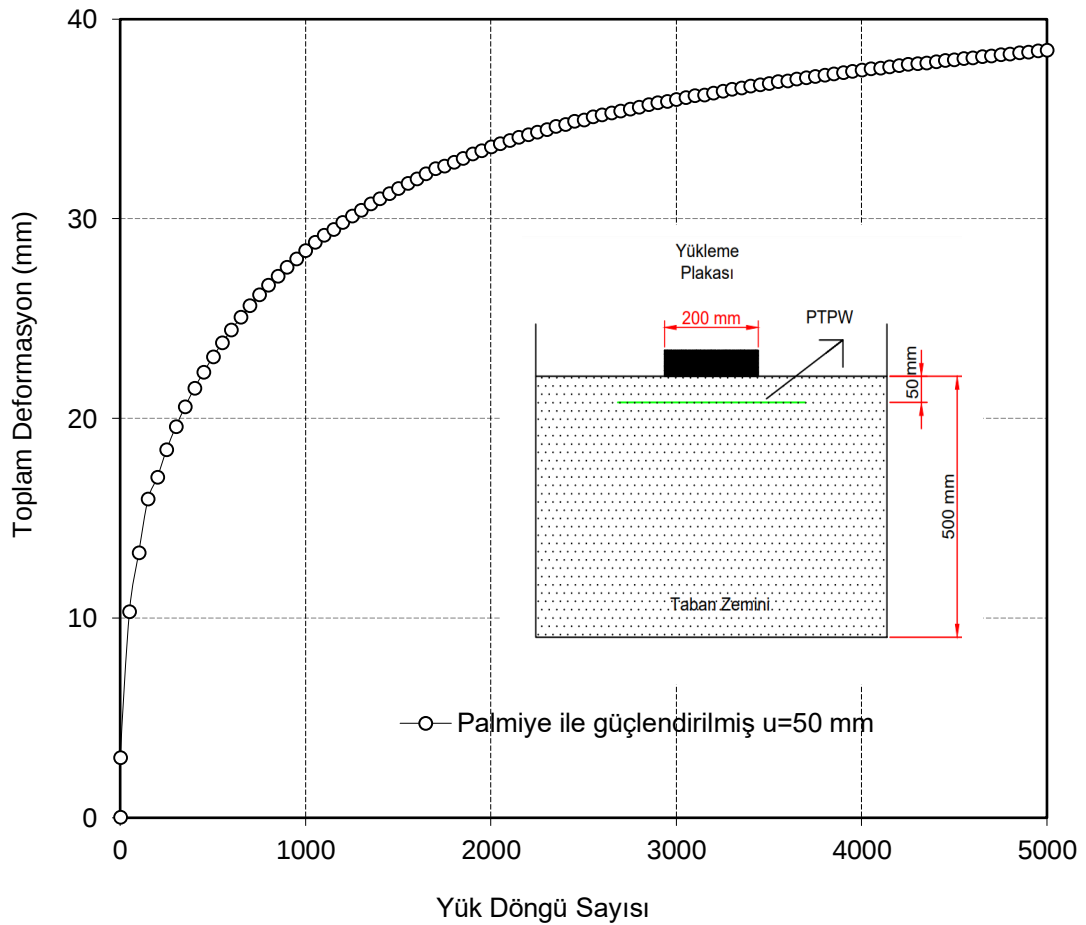
İlk 150 yük çevriminde elastik deformasyon yüzdesi yani toplam deformasyonlardaki elastik deformasyonların payları Şekil 4.5'te verilmiştir. Belirli olan bir yük çevrimindeki elastik deformasyonun aynı yük çevrimine ait olan elastik ve kalıcı deformasyon toplamına yani toplam deformasyon değerine bölünmesiyle elastik deformasyon yüzdesi bulunmuştur. Şekil 4.5'e bakıldığında ilk yük çevrimlerinde kalıcı deformasyonların daha baskın olduğundan dolayı takriben 50 yük çevrimi civarlarına kadar elastik deformasyon yüzdesi hızla artış göstererek dengeli bir hal almıştır. 50. yük çevrimi sonundaki elastik deformasyon yüzdesi %88 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (GM)

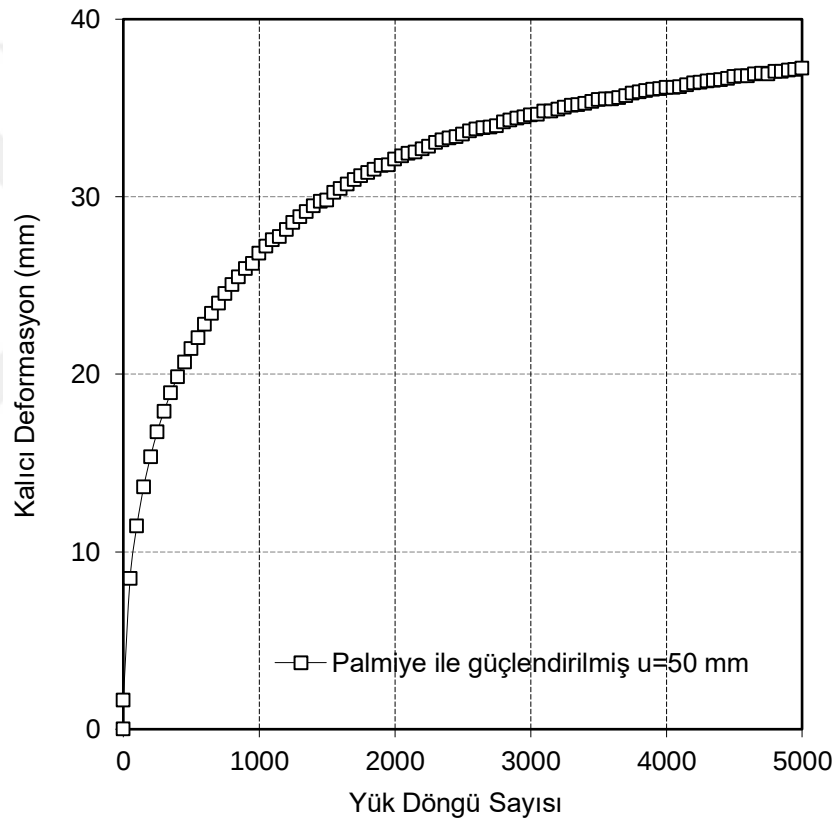
4.2. 50 mm Derinlikte PTPW ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi

500 mm kalınlığında sıkıştırılarak hazırlanan taban zeminine 50 mm gömme derinliğinde yerleştirilen PTPW donatısıyla güçlendirilip PTPW atık malzemesiyle zeminin üzerinde oluşacak etkinin gözlemlendiği bu deneyde 225 kPa basınca maruz bırakılarak 5000 yük çevrimiyle gerçekleştirilmiştir. Toplam deformasyon değerleri grafik Şekil 4.6'da verilmiştir. Önceki deneyde de görüldüğü gibi toplam deformasyon değerindeki artış miktarı ilk yük döngülerinde daha fazla olmasıyla birlikte yük döngülerinin miktarı arttıkça azaldığı görülmüş olup 5000 yük döngüsünde deneyin sonlandırılmasıyla toplam deformasyonun 38.44 mm'lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.6'daki ilişkide ilk yük döngüleri için grafik lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.



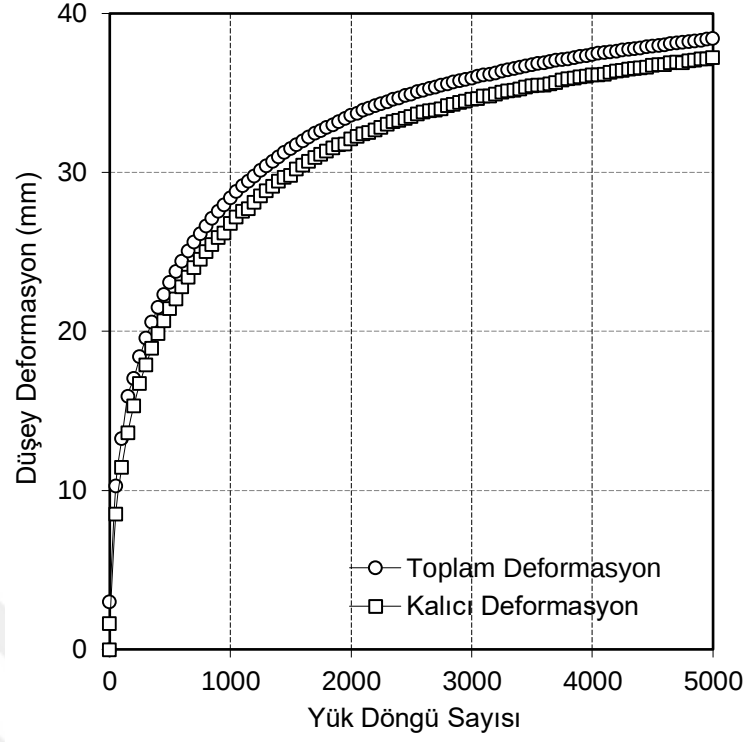
Şekil 4.6 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5)

Elastik deformasyonlarla ortaya çıkan kalıcı deformasyon değerleri Şekil 4.7’ de verilmiştir. Bu grafikte de tıpkı toplam deformasyon değerlerindeki gibi ilk yük döngü sayılarında hızla oluşan bir artışa sahip olan kalıcı deformasyon değeri sonrasındaki yük döngü sayılarında bu artışın miktarının azaldığı görülmüştür. 5000 yük döngüsündeki kalıcı deformasyonun 37.22 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde tıpkı toplam deformasyon grafiğinde olduğu gibi ilk yük döngüleri için grafiğin lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.

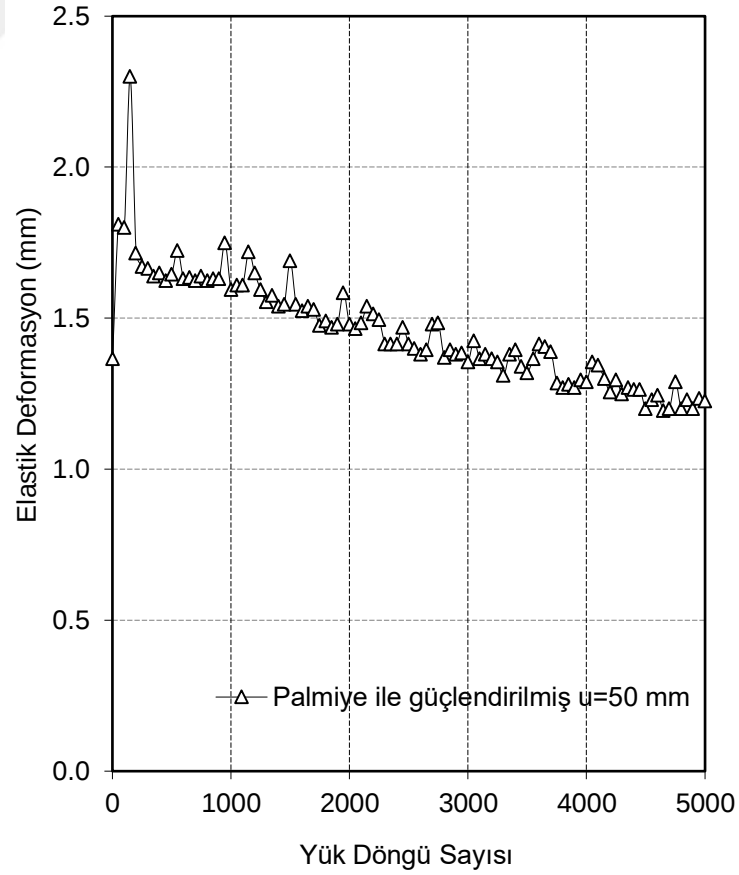


Şekil 4.7 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5)

Şekil 4.8’de toplam ve kalıcı deformasyonların değerleri bir arada gösterilmiştir. Her yük çevriminde toplam ve kalıcı deformasyonlar arasındaki farkla elde edilen elastik deformasyonların değeri 5000 yük çevrimi için Şekil 4.9’da verilmiştir. İlk yükleme döngüsünde elastik deformasyonun 1.365 mm’lik bir değere sahip olarak başlayıp artışla 100. yük çevriminde 1.8 mm değerine ulaşır sonrasında azalarak 5000 yük çevrimi sonucunda 1.22 mm değerinde olduğu görülmektedir.

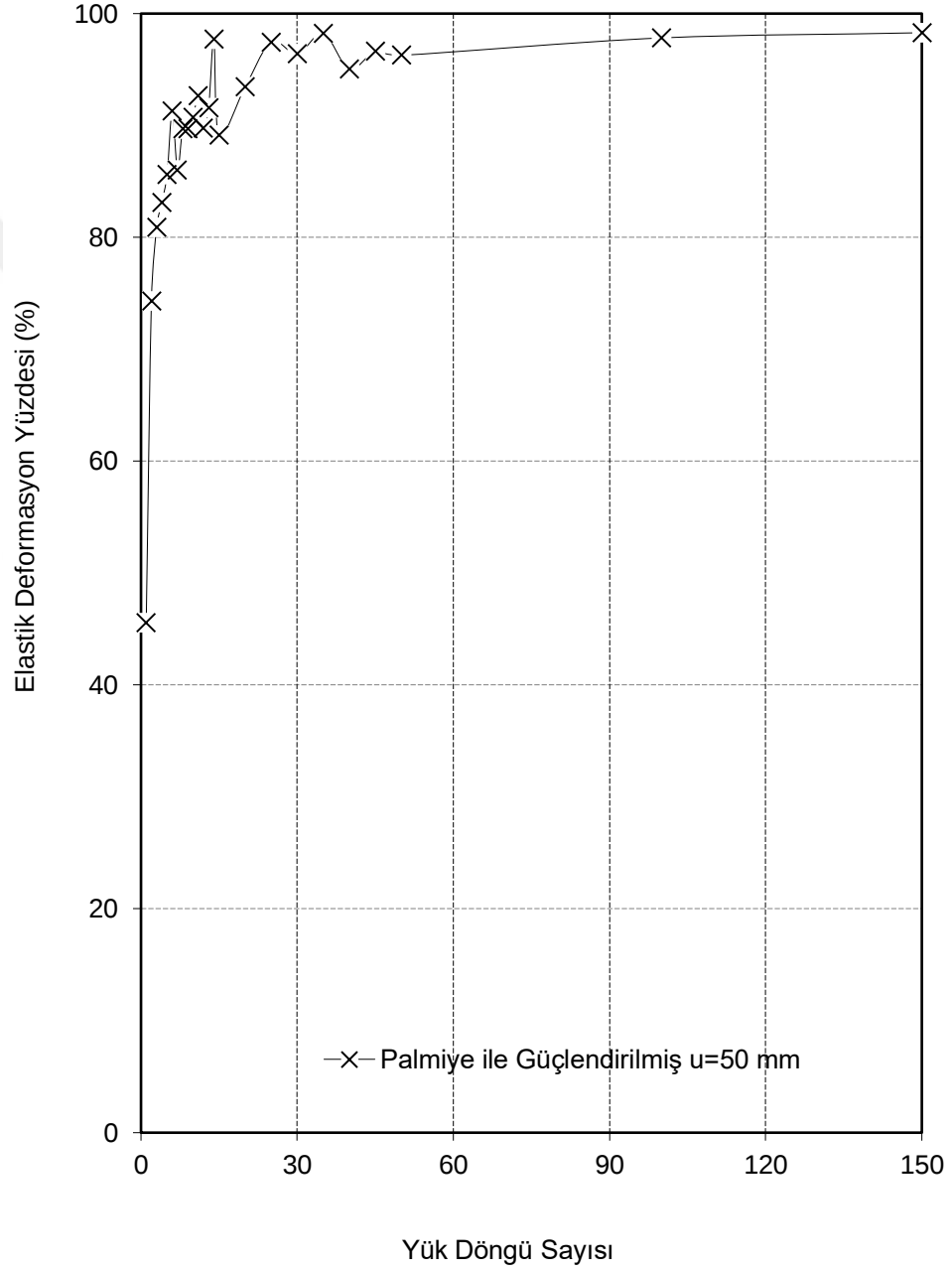


Şekil 4.8 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5)



Şekil 4.9 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5)

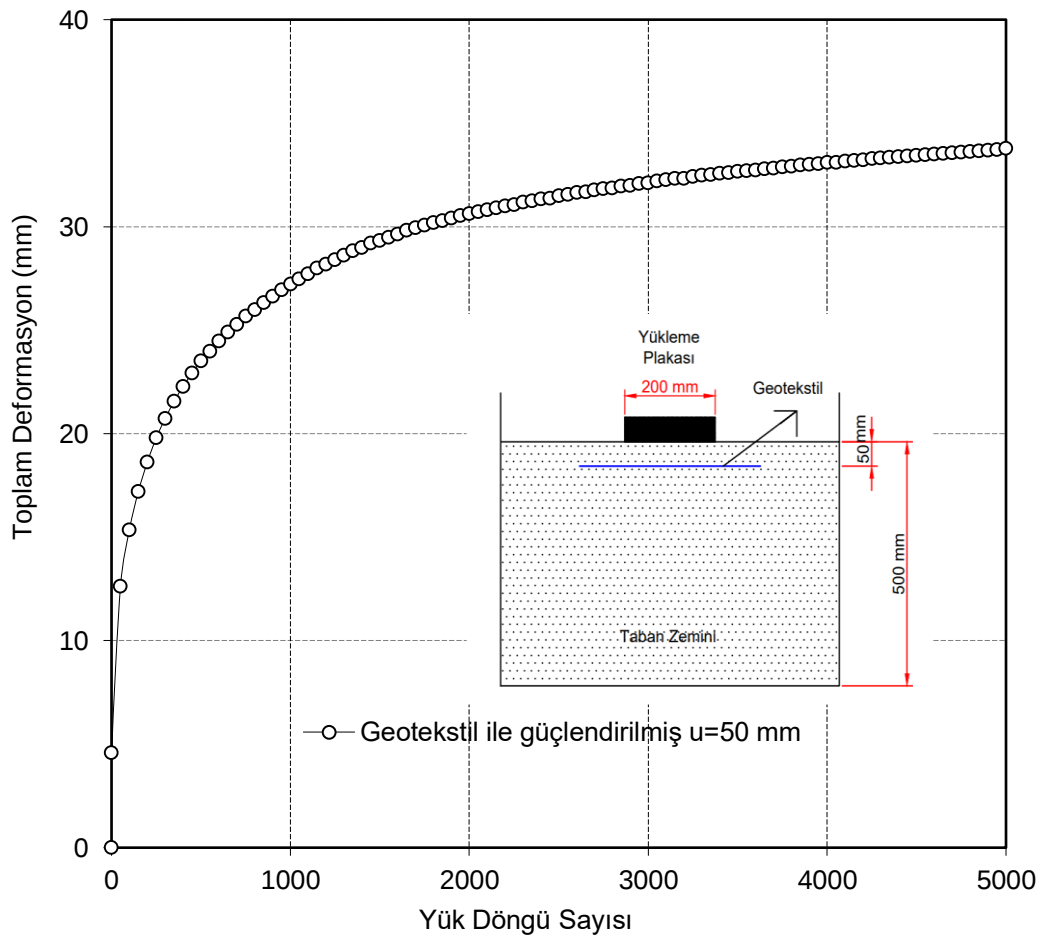
İlk 150 yük çevriminde elastik deformasyon yüzdesi yani toplam deformasyonlardaki elastik deformasyonların payları Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.10'a bakıldığında ilk yük çevrimlerinde kalıcı deformasyonların daha baskın olduğundan dolayı takriben 50 yük çevrimi civarlarına kadar elastik deformasyon yüzdesi hızla artış göstererek dengeli bir hal almıştır. 50. yük çevrimi sonundaki elastik deformasyon yüzdesi %96 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.10 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (PTPW-5)

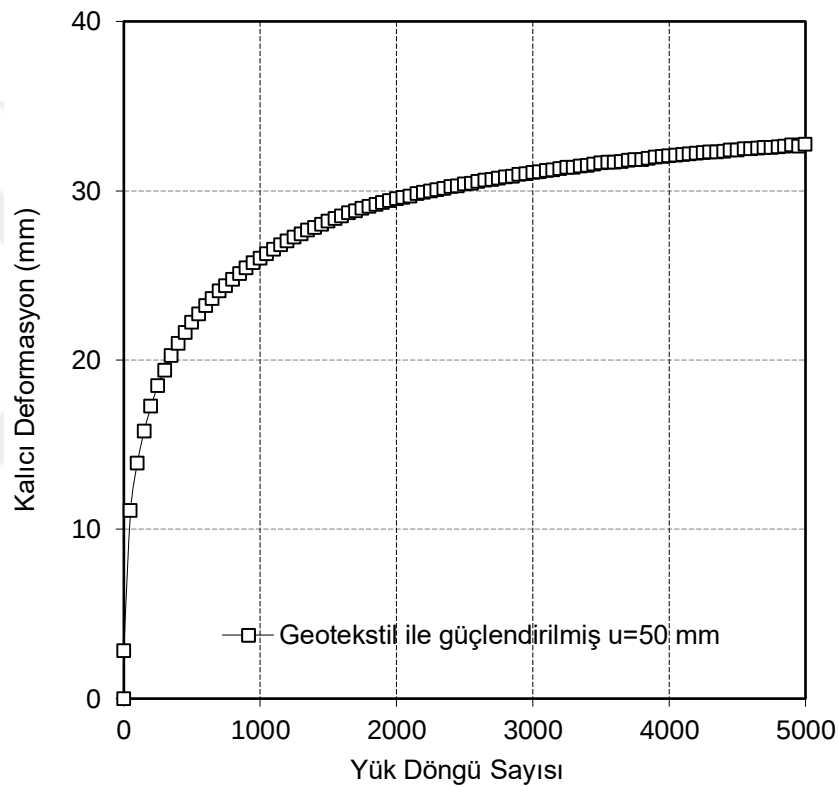
4.3. 50 mm Derinlikte Geotekstil ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi

500 mm kalınlığında sıkıştırılarak hazırlanan taban zeminine 50 mm gömme derinliğinde yerleştirilen geotekstil donatısıyla güçlendirilip geotekstil malzemesiyle zeminin üzerinde oluşacak etkinin gözlemlendiği bu deneyde 225 kPa basınca maruz bırakılarak 5000 yük çevrimiyle gerçekleştirilmiştir. Toplam deformasyon değerleri grafik Şekil 4.11’de verilmiştir. Önceki deneyde de görüldüğü gibi toplam deformasyon değerindeki artış miktarı ilk yük döngülerinde daha fazla olmasıyla birlikte yük döngülerinin miktarı arttıkça azaldığı görülmüş olup 5000 yük döngüsünde deneyin sonlandırılmasıyla toplam deformasyonun 33.76 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.11’deki ilişkide ilk yük döngüleri için grafik lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.



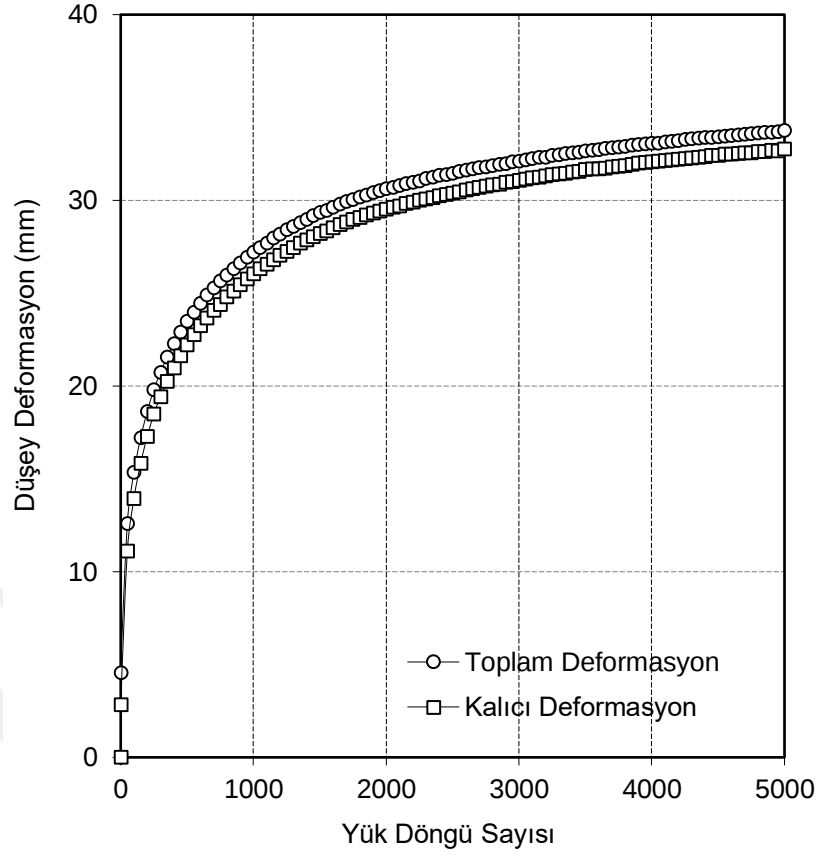
Şekil 4.11 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (GT-5)

Yapılan deneyde ortaya çıkan kalıcı deformasyon değerleri Şekil 4.12’ de verilmiştir. Bu grafikte de tıpkı önceki deneylerde olduğu üzere ilk yük döngü sayılarında hızla oluşan bir artışa sahip olan kalıcı deformasyon değeri sonrasındaki yük döngü sayılarında bu artışın miktarının hızının azaldığı görülmüştür. 5000 yük döngüsündeki kalıcı deformasyonun 32.77 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.12 incelendiğinde tıpkı toplam deformasyon grafiğinde olduğu gibi ilk yük döngüleri için grafiğik lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.

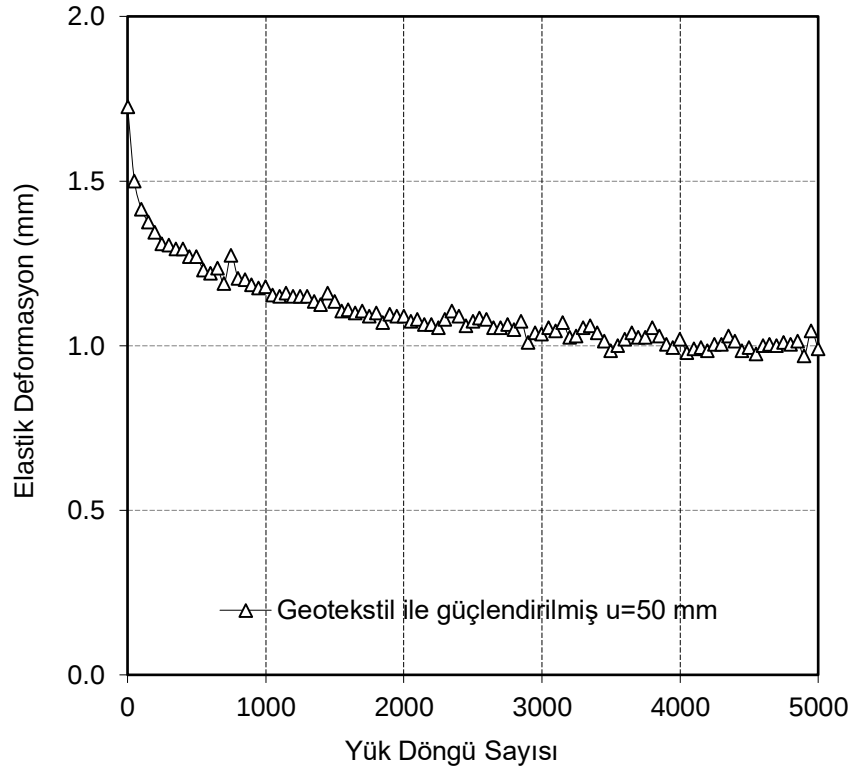


Şekil 4.12 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-5)

Şekil 4.13'te toplam ve kalıcı deformasyonların değerleri bir arada gösterilmiştir. Her yük çevriminde toplam ve kalıcı deformasyonlar arasındaki farkla hesap edilen elastik deformasyonların değeri 5000 yük çevrimi için Şekil 4.14'te verilmiştir. İlk yükleme döngüsünde elastik deformasyonun 1.725 mm'lik bir değere sahip olarak başlayıp sonrasında azalarak 5000 yük çevrimi sonucunda 0.99 mm değerinde olduğu görülmektedir.

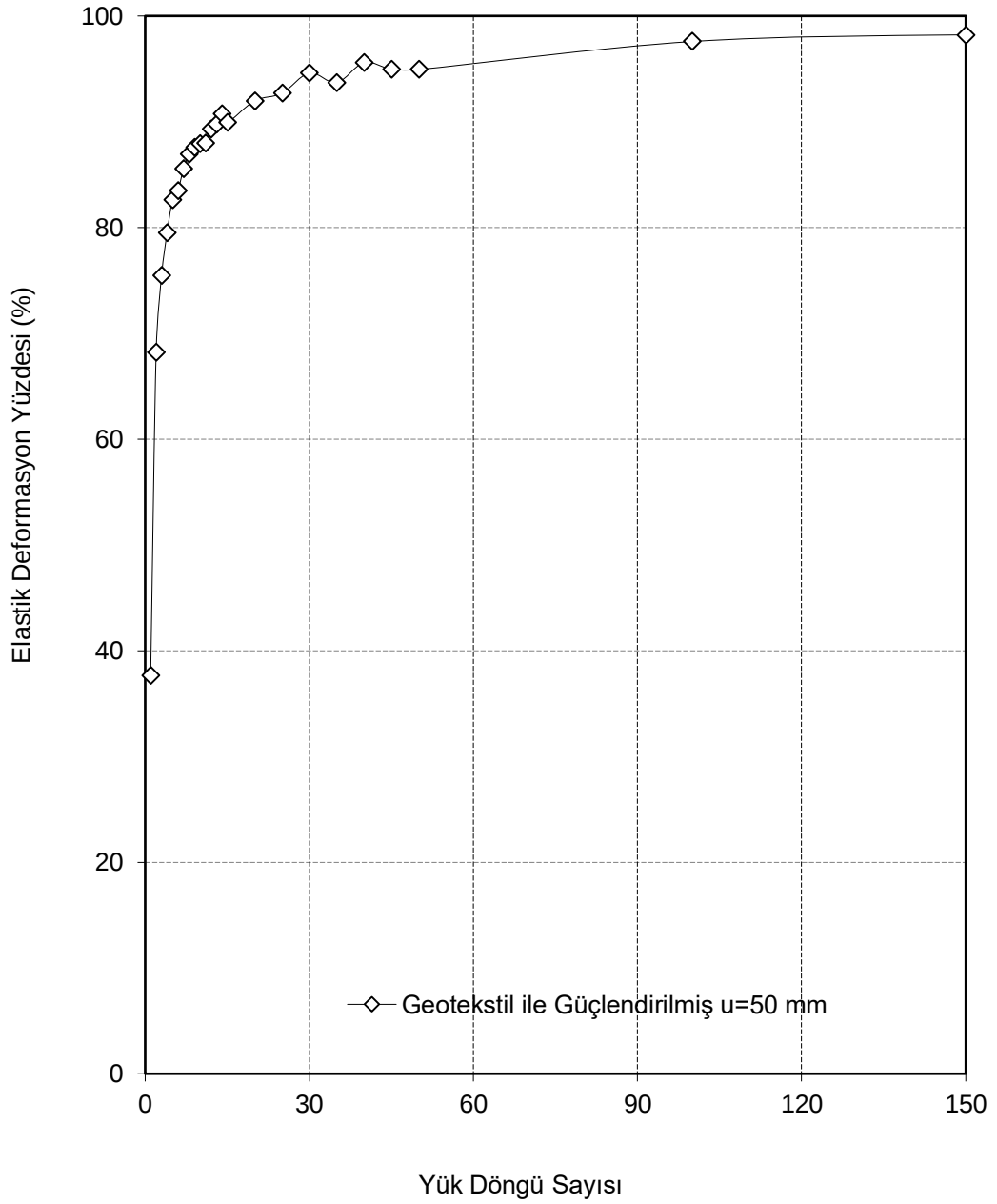


Şekil 4.13 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-5)



Şekil 4.14 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (GT-5)

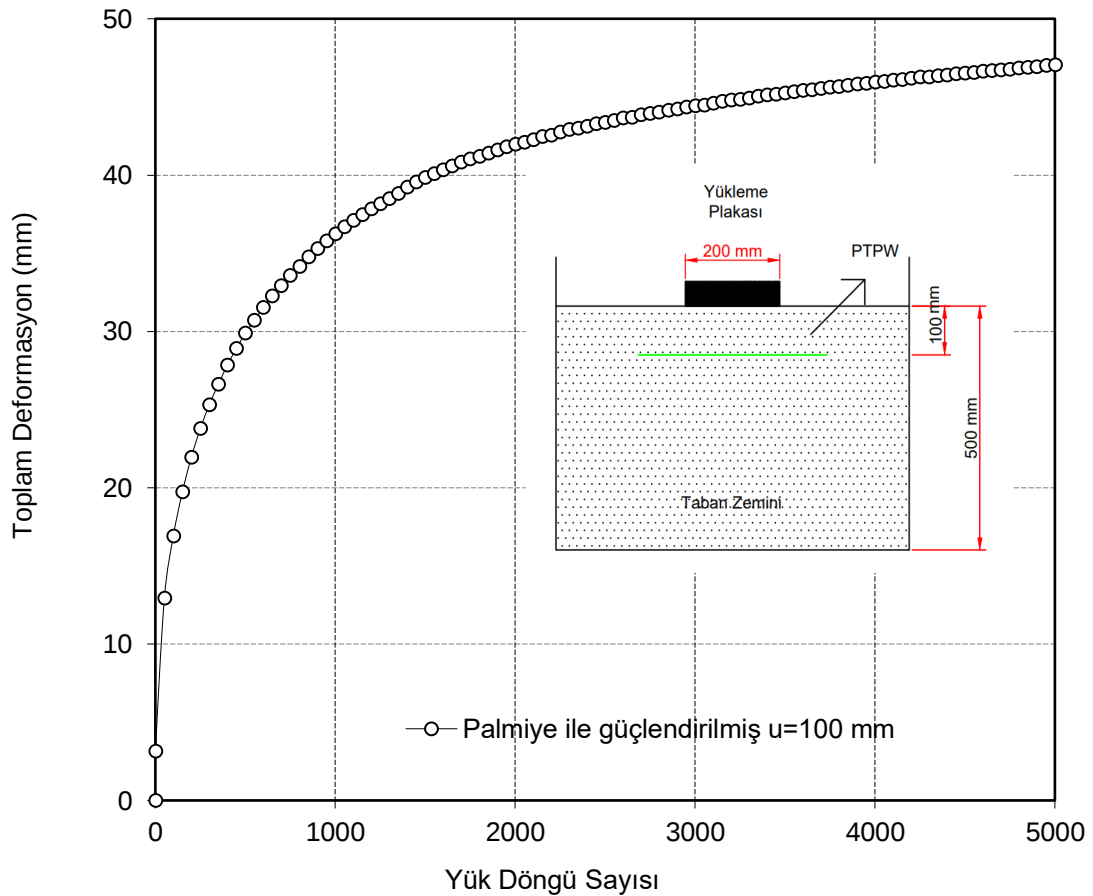
İlk 150 yük çevriminde elastik deformasyon yüzdesi yani toplam deformasyonlardaki elastik deformasyonların payları Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.15'e bakıldığında ilk yük çevrimlerinde kalıcı deformasyonların daha baskın olduğundan dolayı takriben 50 yük çevrimi civarlarına kadar elastik deformasyon yüzdesi hızla artış göstererek dengeli bir hal almıştır. 50. yük çevrimi sonundaki elastik deformasyon yüzdesi %94 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.15 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (GT-5)

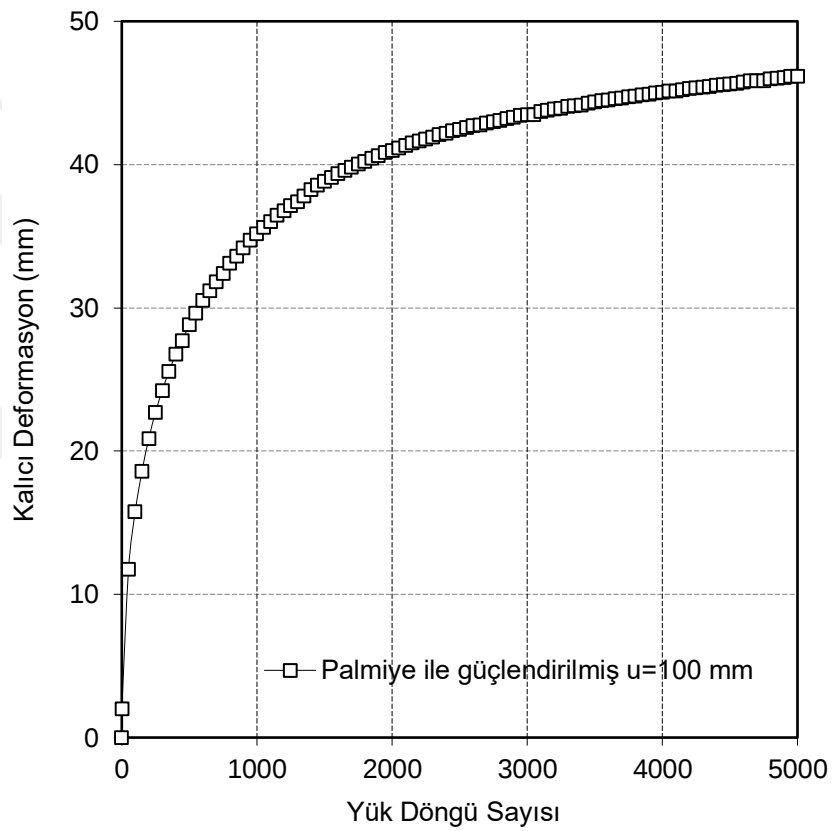
4.4. 100 mm Derinlikte PTPW ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi

500 mm kalınlığında sıkıştırılarak hazırlanan taban zeminine 100 mm gömme derinliğinde yerleştirilen PTPW donatısıyla güçlendirilip PTPW malzemesinin zemin üzerinde oluşturacağı etkinin önceki deneylerde 50 mm gömme derinliğindeki oluşan etkinin farkının gözlemlenmesi amacıyla yapılan bu deneyde 225 kPa basınca maruz 5000 yük çevrimiyle gerçekleştirilmiştir. Toplam deformasyon değerleri grafik Şekil 4.16'da verilmiştir. Önceki deneyde de görüldüğü gibi toplam deformasyon değerindeki artış miktarı ilk yük döngülerinde daha fazla olmasıyla birlikte yük döngülerinin miktarı arttıkça azaldığı görülmüş olup 5000 yük döngüsünde deneyin sonlandırılmasıyla toplam deformasyonun 47.06 mm'lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.16'daki ilişkide ilk yük döngüleri için grafiğin lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.



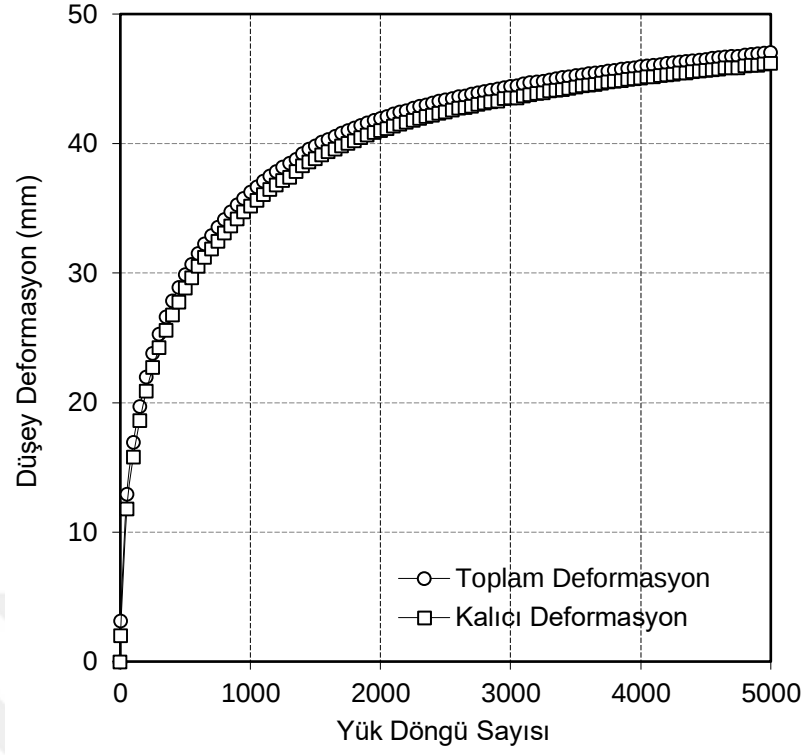
Şekil 4.16 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (PTPW-10)

Elastik deformasyonlarla ortaya çıkan kalıcı deformasyon değerleri Şekil 4.17’ de verilmiştir. Bu grafikte de tıpkı önceki deneylerde olduğu üzere ilk yük döngü sayılarında hızla oluşan bir artışa sahip olan kalıcı deformasyon değeri sonrasındaki yük döngü sayılarında bu artışın miktarının azaldığı görülmüştür. 225 kPa basıncın altında 5000 yük döngüsündeki kalıcı deformasyonun 46.18 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.17 incelendiğinde tıpkı toplam deformasyon grafiğinde olduğu gibi ilk yük döngüleri için grafik lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.

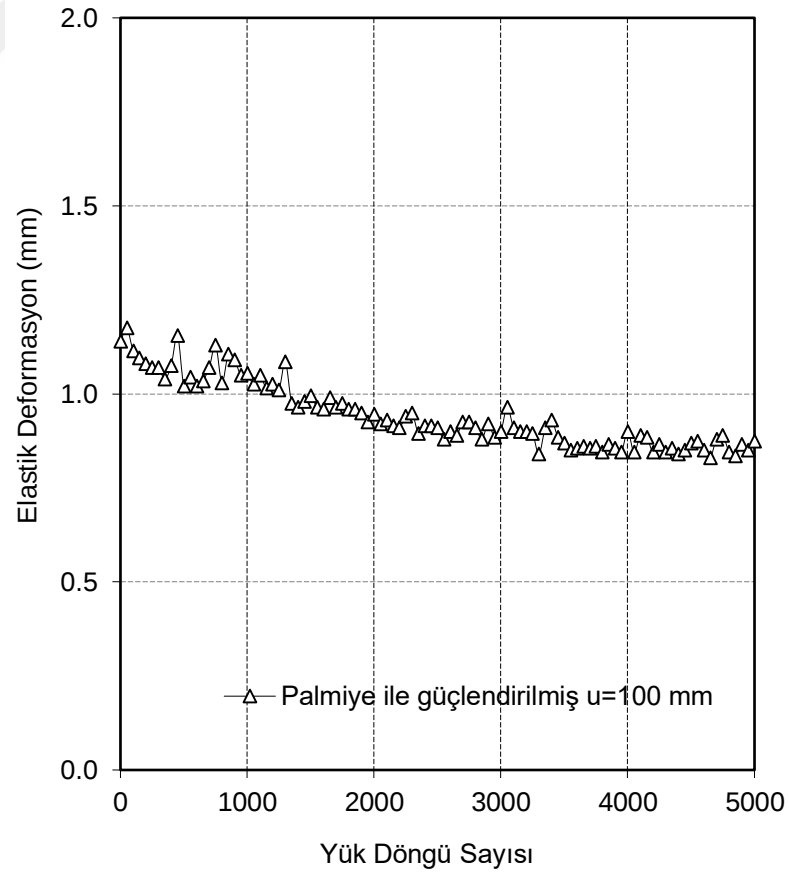


Şekil 4.17 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-10)

Şekil 4.18’de toplam ve kalıcı deformasyonların değerleri bir arada gösterilmiştir. Her yük çevriminde toplam ve kalıcı deformasyonlar arasındaki farkla elde edilen elastik deformasyonların değeri 5000 yük çevrimi için Şekil 4.19’da verilmiştir. İlk yükleme döngüsünde elastik deformasyonun 1.14 mm’lik bir değere sahip olarak başlayıp artışla 450. yük çevriminde 1.155 mm değerine ulaşır sonrasında azalarak 5000 yük çevrimi sonucunda 0.875 mm değerinde olduğu görülmektedir.

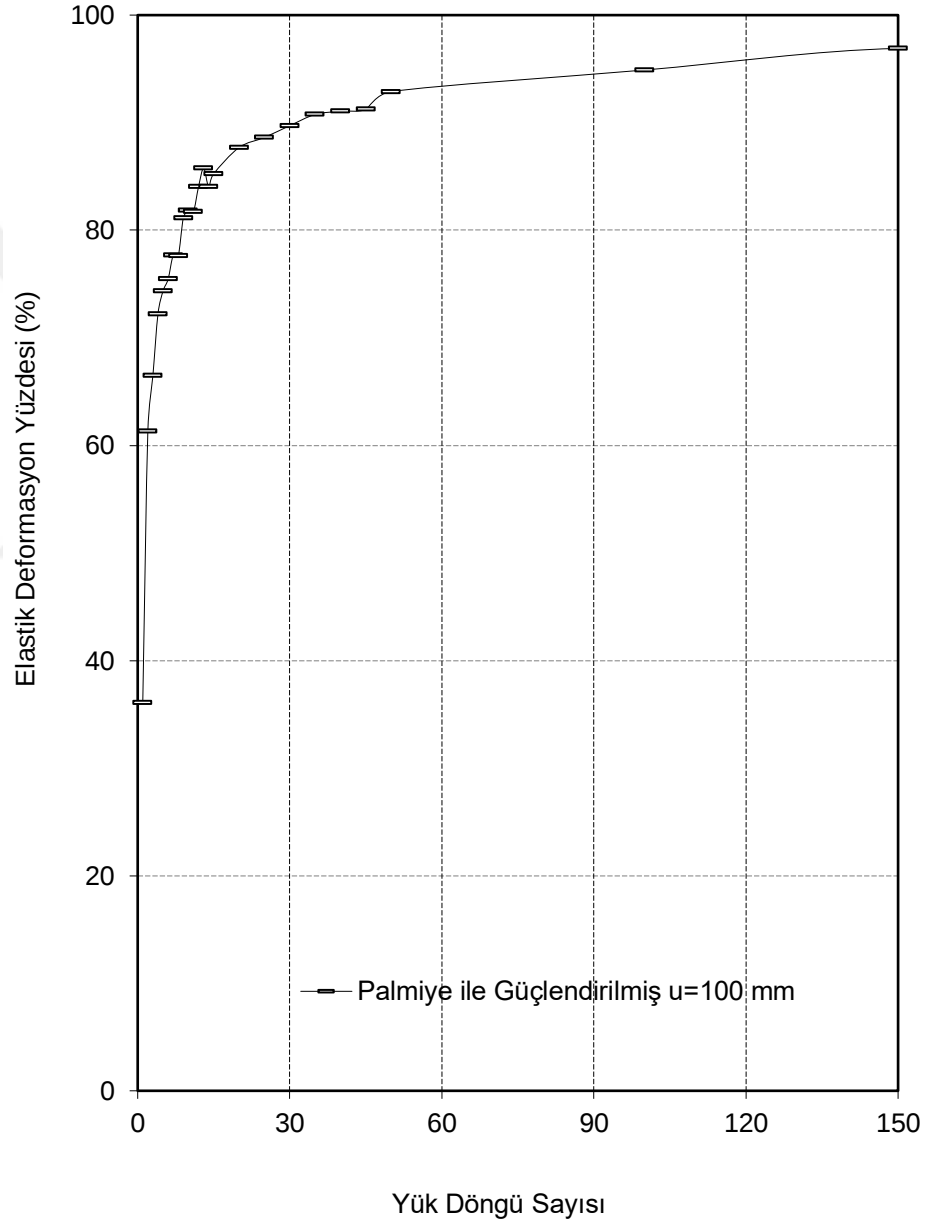


Şekil 4.18 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-10)



Şekil 4.19 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (PTPW-10)

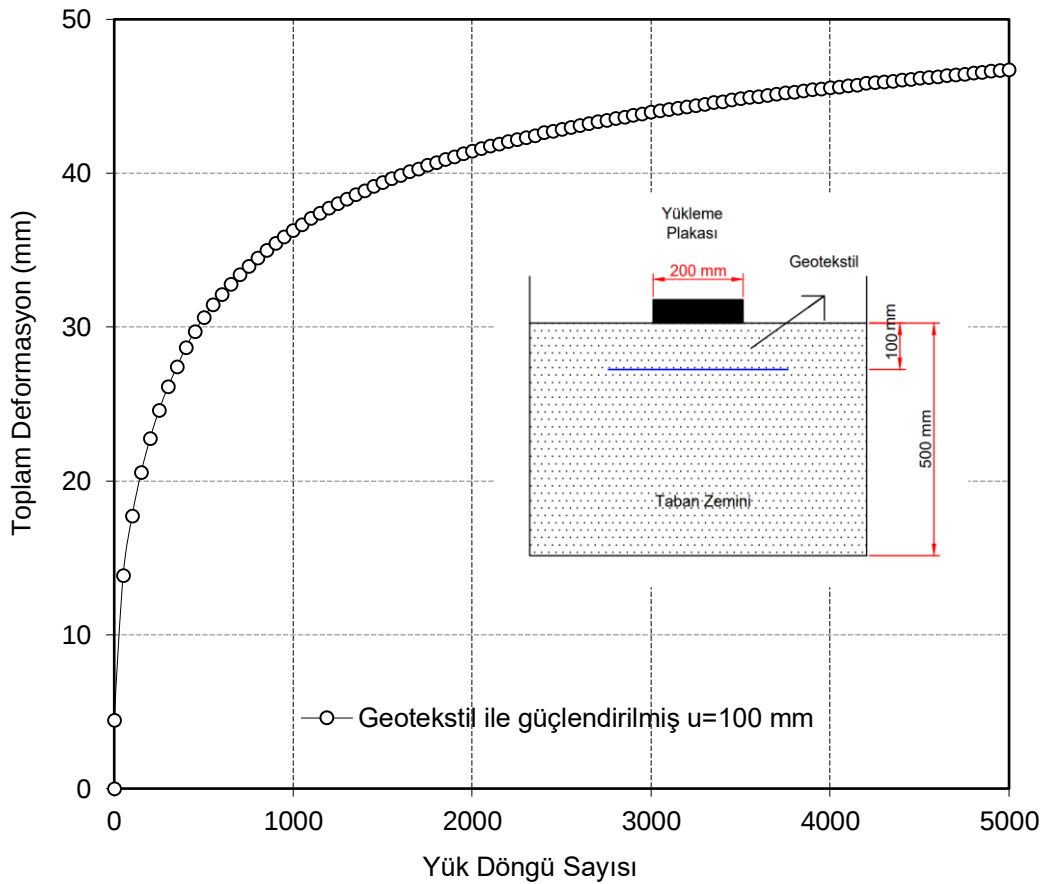
İlk 150 yük çevriminde elastik deformasyon yüzdesi yani toplam deformasyonlardaki elastik deformasyonların payları Şekil 4.20’de verilmiştir. Şekil 4.20’ye bakıldığında ilk yük çevrimlerinde kalıcı deformasyonların daha baskın olduğundan dolayı takriben 50 yük çevrimi civarlarına kadar elastik deformasyon yüzdesi hızla artış göstererek dengeli bir hal almıştır. 50. yük çevrimi sonundaki elastik deformasyon yüzdesi %93 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.20 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (PTPW-10)

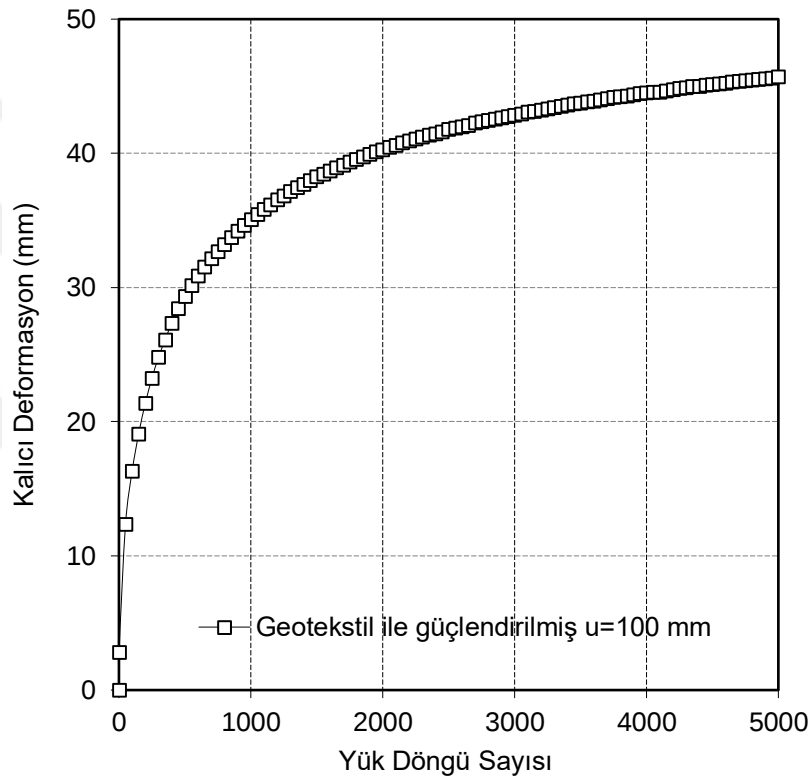
4.5. 100 mm Derinlikte Geotekstil ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi

500 mm kalınlığında sıkıştırılarak hazırlanan taban zeminine 100 mm gömme derinliğinde yerleştirilen geotekstil donatısıyla güçlendirilip geotekstil malzemesinin zemin üzerinde oluşturacağı etkinin önceki deneylerde 50 mm gömme derinliğindeki oluşan etkinin ve aynı düzende geotekstil ve PTPW ile olan farkının incelenmesi amacıyla yapılan bu deneyde 225 kPa basınca maruz 5000 yük çevrimiyle gerçekleştirilmiştir. Toplam deformasyon değerleri grafik Şekil 4.21’de verilmiştir. Önceki deneyde de görüldüğü gibi toplam deformasyon değerindeki artış miktarı ilk yük döngülerinde daha fazla olmasıyla birlikte yük döngülerinin miktarı arttıkça azaldığı görülmüş olup 5000 yük döngüsünde deneyin sonlandırılmasıyla toplam deformasyonun 46.71 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.21’deki ilişkide ilk yük döngüleri için grafiğin lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.



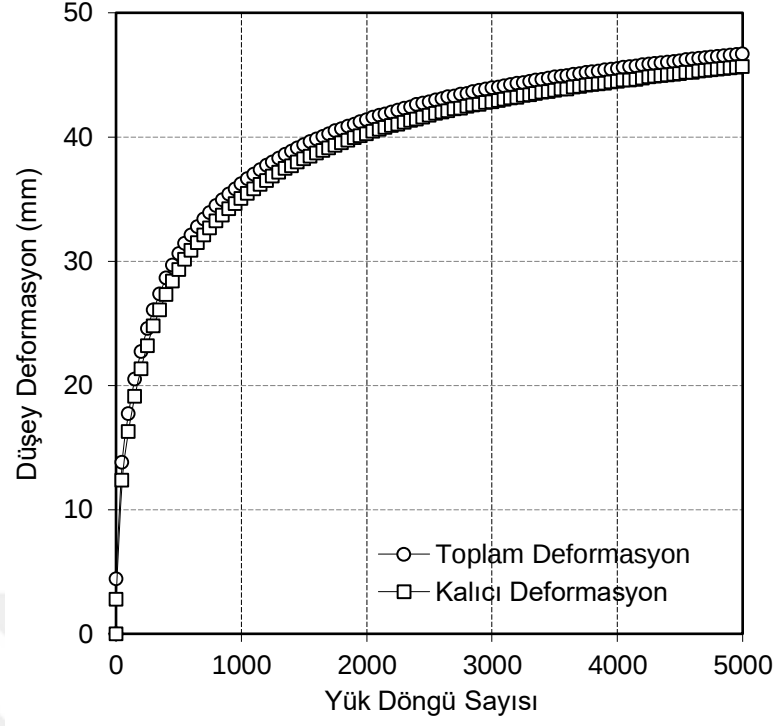
Şekil 4.21 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (GT-10)

Elastik deformasyonlarla ortaya çıkan kalıcı deformasyon değerleri Şekil 4.22’ de verilmiştir. Bu grafikte de tıpkı önceki deneylerde olduğu üzere ilk yük döngü sayılarında hızla oluşan bir artışa sahip olan kalıcı deformasyon değeri sonrasındaki yük döngü sayılarında bu artışın miktarının azaldığı görülmüştür. 225 kPa basıncın altında 5000 yük döngüsündeki kalıcı deformasyonun 45.7 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.22 incelendiğinde tıpkı toplam deformasyon grafiğinde olduğu gibi ilk yük döngüleri için grafik lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.

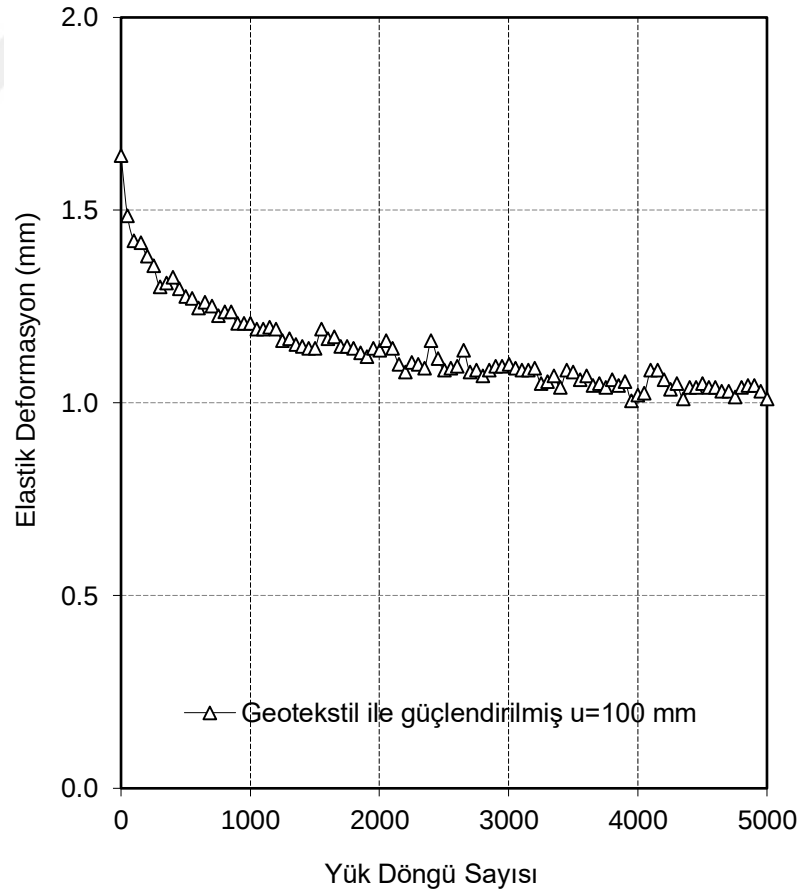


Şekil 4.22 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-10)

Şekil 4.23'te toplam ve kalıcı deformasyonların değerleri bir arada gösterilmiştir. Her yük çevriminde toplam ve kalıcı deformasyonlar arasındaki farkla hesap edilen elastik deformasyonların değeri 5000 yük çevrimi için Şekil 4.24'te verilmiştir. İlk yükleme döngüsünde elastik deformasyonun 1.64 mm'lik bir değere sahip olarak başlayıp sonrasında azalarak 5000 yük çevrimi sonucunda 1.01 mm değerinde olduğu görülmektedir.

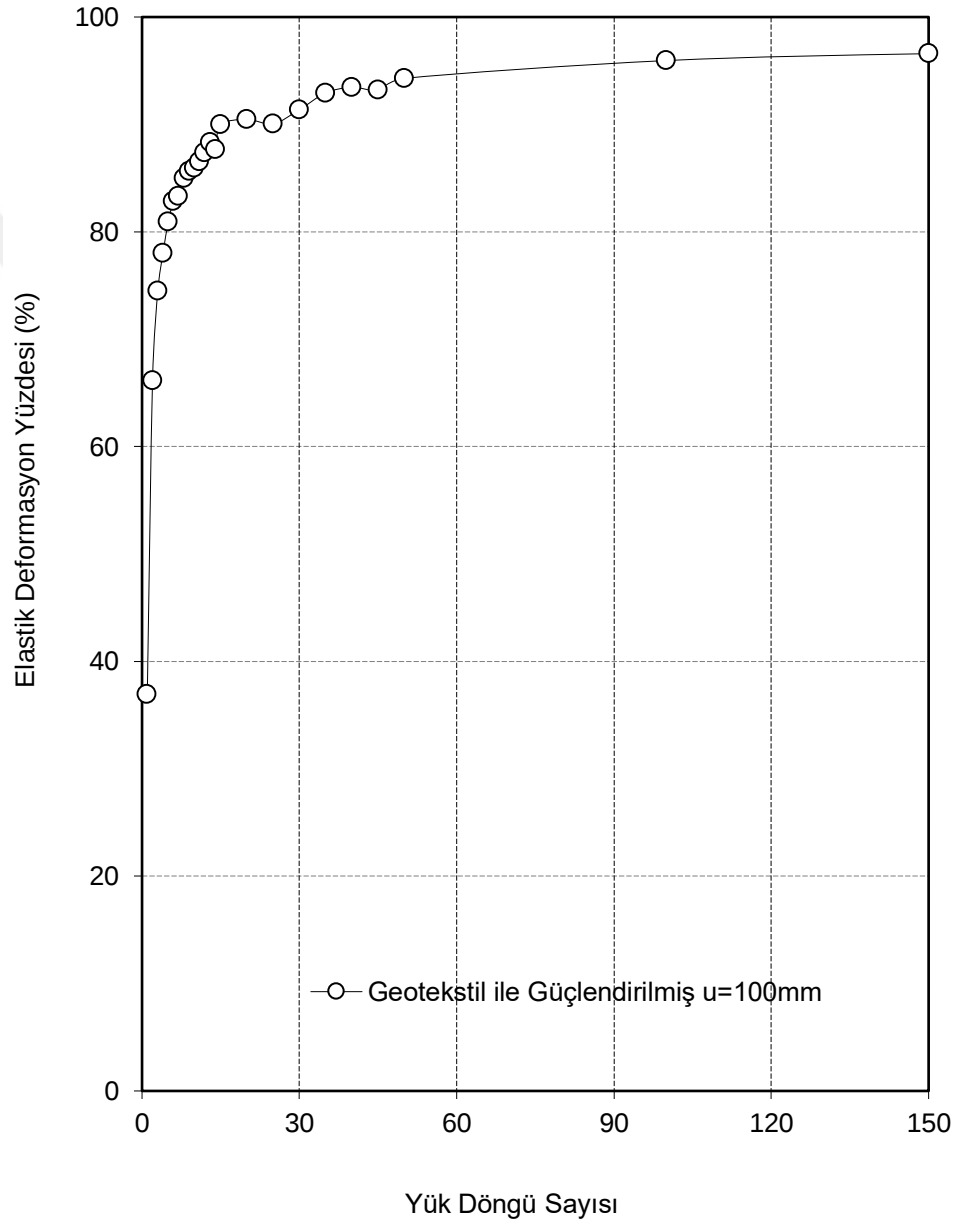


Şekil 4.23 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-10)



Şekil 4.24 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (GT-10)

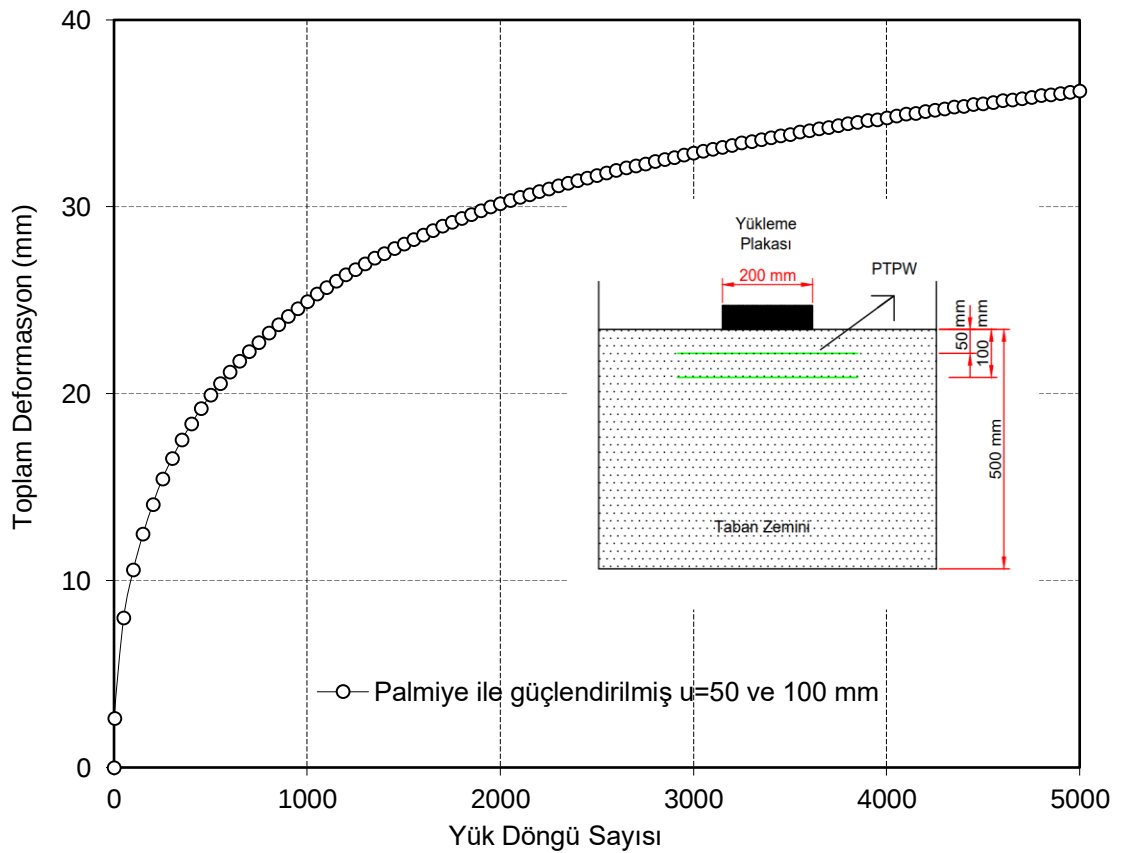
İlk 150 yük çevriminde elastik deformasyon yüzdesi yani toplam deformasyonlardaki elastik deformasyonların payları Şekil 4.25'te verilmiştir. Şekil 4.25'e bakıldığında ilk yük çevrimlerinde kalıcı deformasyonların daha baskın olduğundan dolayı takriben 50 yük çevrimi civarlarına kadar elastik deformasyon yüzdesi hızla artış göstererek dengeli bir hal almıştır. 50. yük çevrimi sonundaki elastik deformasyon yüzdesi %95 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.25 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (GT-10)

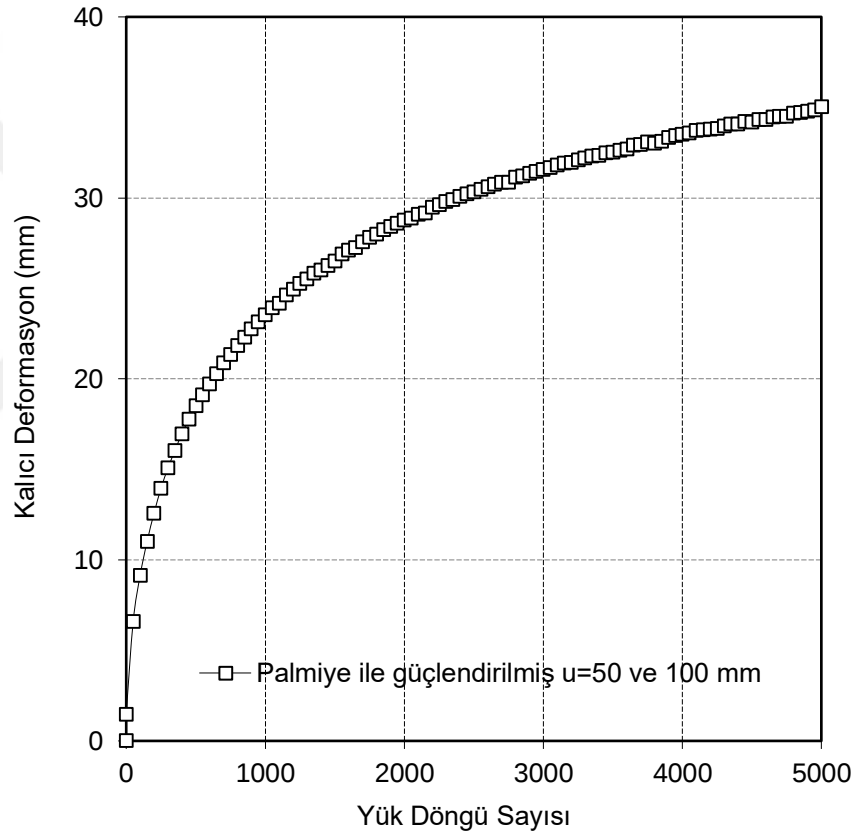
4.6. 50 mm ve 100 mm Derinlikte PTPW ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi

500 mm kalınlığında sıkıştırılarak hazırlanan taban zeminine 50 mm ve 100 mm gömme derinliğinde yerleştirilen PTPW donatısıyla güçlendirilip PTPW malzemesinin zemin üzerinde oluşturacağı etkinin önceki deneylerde 50 mm gömme derinliğindeki oluşan etkinin farkının incelenmesi amacıyla yapılan bu deneyde 225 kPa basınca maruz 5000 yük çevrimiyle gerçekleştirilmiştir. Toplam deformasyon değerleri grafik Şekil 4.26’da verilmiştir. Önceki deneyde de görüldüğü gibi toplam deformasyon değerindeki artış miktarı ilk yük döngülerinde daha fazla olmasıyla birlikte yük döngülerinin miktarı arttıkça azaldığı görülmüş olup 5000 yük döngüsünde deneyin sonlandırılmasıyla toplam deformasyonun 36.2 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.26’daki ilişkide ilk yük döngüleri için grafikte lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.



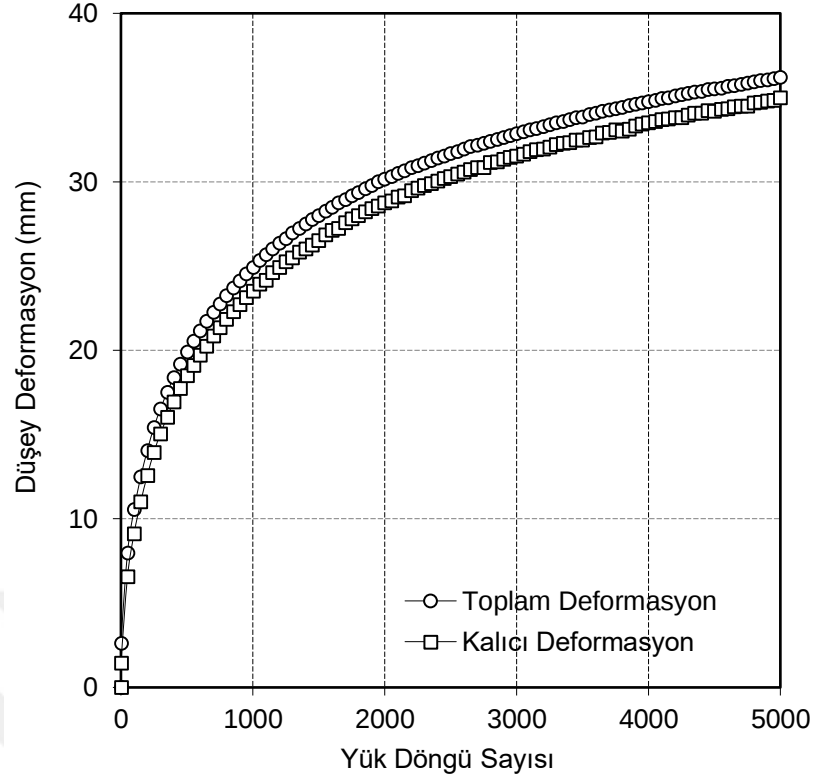
Şekil 4.26 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5-10)

Elastik deformasyonlarla ortaya çıkan kalıcı deformasyon değerleri Şekil 4.27’ de verilmiştir. Bu grafikte de tıpkı önceki deneylerde olduğu üzere ilk yük döngü sayılarında hızla oluşan bir artışa sahip olan kalıcı deformasyon değeri sonrasındaki yük döngü sayılarında bu artışın miktarının azaldığı görülmüştür. 225 kPa basıncın altında 5000 yük döngüsündeki kalıcı deformasyonun 35.01 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.27 incelendiğinde tıpkı toplam deformasyon grafiğinde olduğu gibi ilk yük döngüleri için grafik lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.

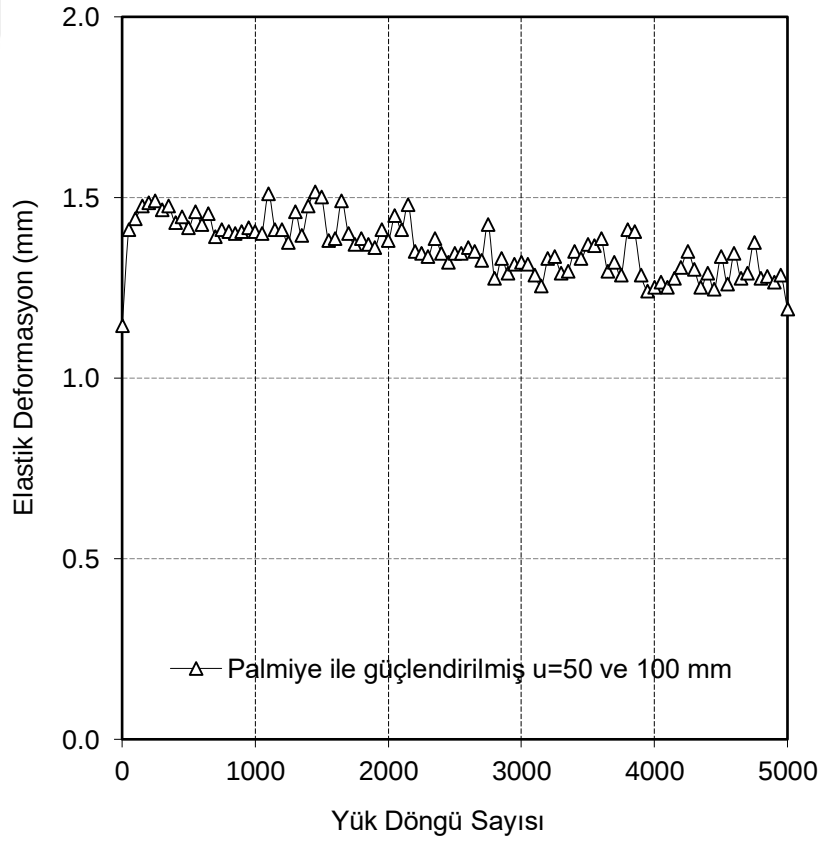


Şekil 4.27 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5-10)

Şekil 4.28’de toplam ve kalıcı deformasyonların değerleri bir arada gösterilmiştir. Her yük çevriminde toplam ve kalıcı deformasyonlar arasındaki farkla elde edilen elastik deformasyonların değeri 5000 yük çevrimi için Şekil 4.29’da verilmiştir. İlk yükleme döngüsünde elastik deformasyonun 1.145 mm’lik bir değere sahip olarak başlayıp artışla 450. yük çevriminde 1.515 mm değerine ulaşır sonrasında azalarak 5000 yük çevrimi sonucunda 1.19 mm değerinde olduğu görülmektedir.

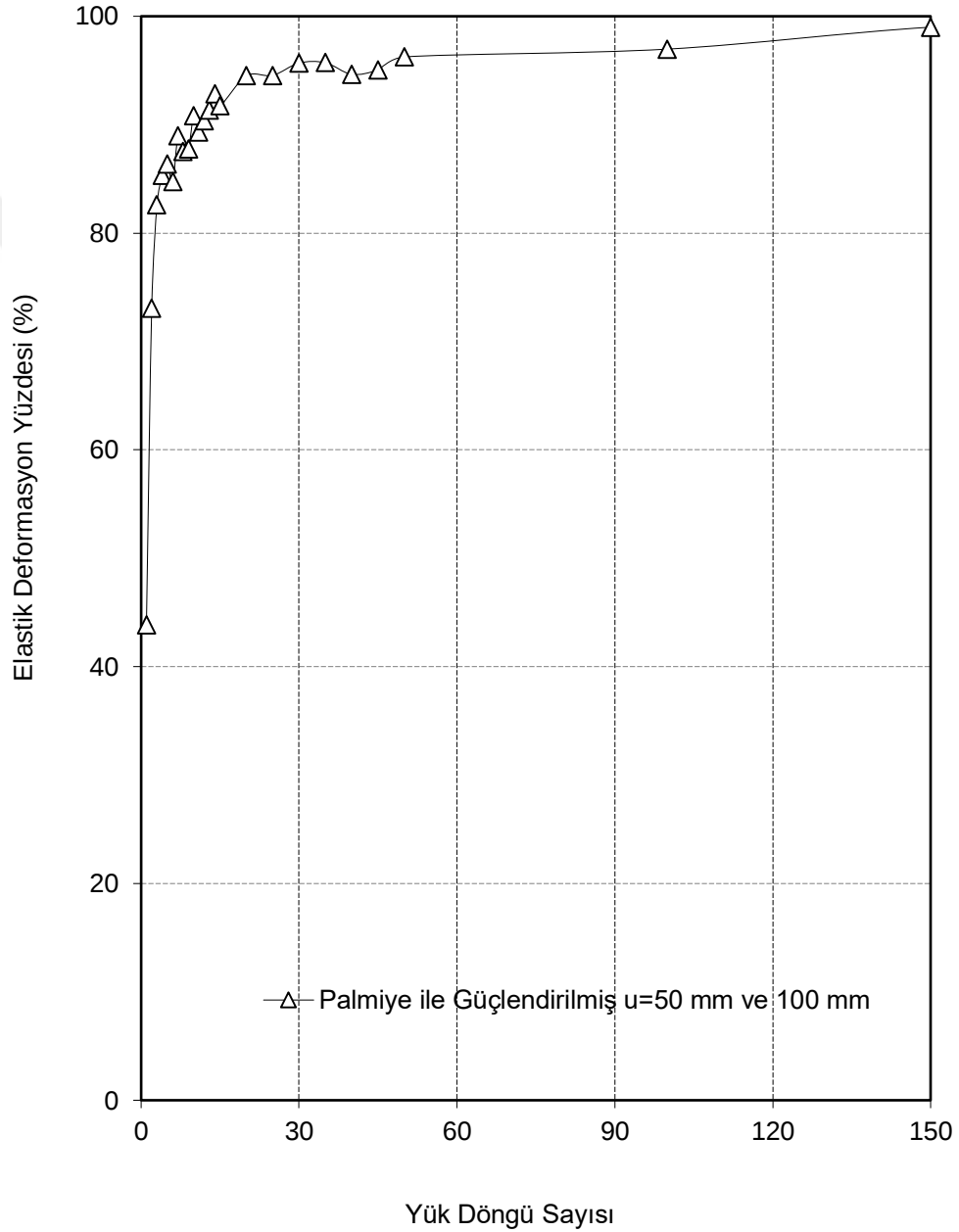


Şekil 4.28 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5-10)



Şekil 4.29 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (PTPW-5-10)

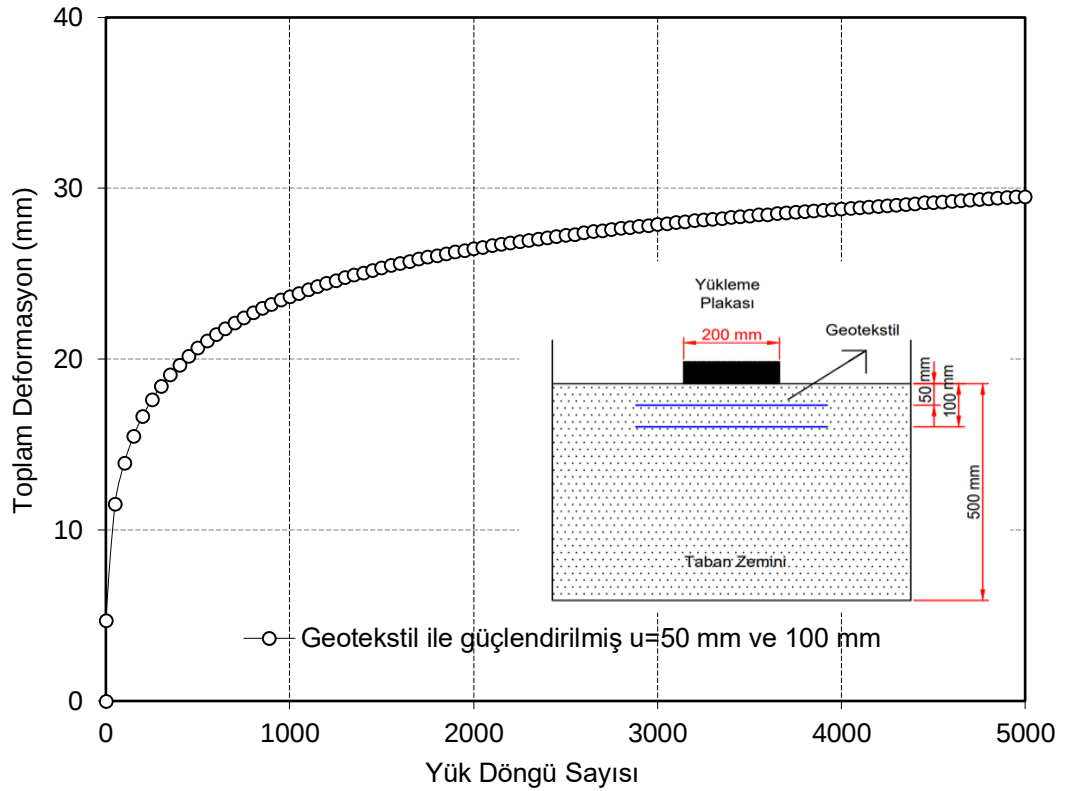
İlk 150 yük çevriminde elastik deformasyon yüzdesi yani toplam deformasyonlardaki elastik deformasyonların payları Şekil 4.30'da verilmiştir. Şekil 4.30'a bakıldığında ilk yük çevrimlerinde kalıcı deformasyonların daha baskın olduğundan dolayı takriben 50 yük çevrimi civarlarına kadar elastik deformasyon yüzdesi hızla artış göstererek dengeli bir hal almıştır. 50. yük çevrimi sonundaki elastik deformasyon yüzdesi %96 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.30 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (PTPW-5-10)

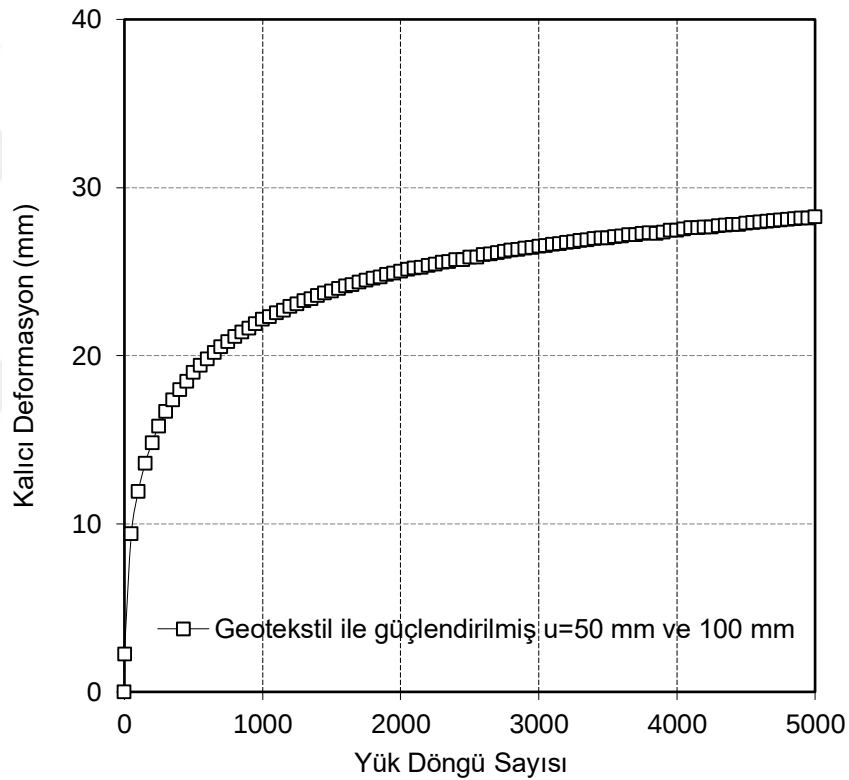
4.7. 50 mm ve 100 mm Derinlikte Geotekstil ile Güçlendirilmiş Deneyin Sonuçlarının İncelenmesi

500 mm kalınlığında sıkıştırılarak hazırlanan taban zeminine 50 mm ve 100 mm gömme derinliğinde yerleştirilen geotekstil donatısıyla güçlendirilip geotekstil malzemesinin zemin üzerinde oluşturacağı etkinin önceki deneylerde 50 mm gömme derinliğindeki oluşan etkinin ve aynı düzende geotekstil ve PTPW ile olan farkının incelenmesi amacıyla yapılan bu deneyde 225 kPa basınca maruz 5000 yük çevrimiyle gerçekleştirilmiştir. Toplam deformasyon değerleri grafik Şekil 4.31’de verilmiştir. Önceki deneyde de görüldüğü gibi toplam deformasyon değerindeki artış miktarı ilk yük döngülerinde daha fazla olmasıyla birlikte yük döngülerinin miktarı arttıkça azaldığı görülmüş olup 5000 yük döngüsünde deneyin sonlandırılmasıyla toplam deformasyonun 29.51 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.31’deki ilişkide ilk yük döngüleri için grafiğin lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.



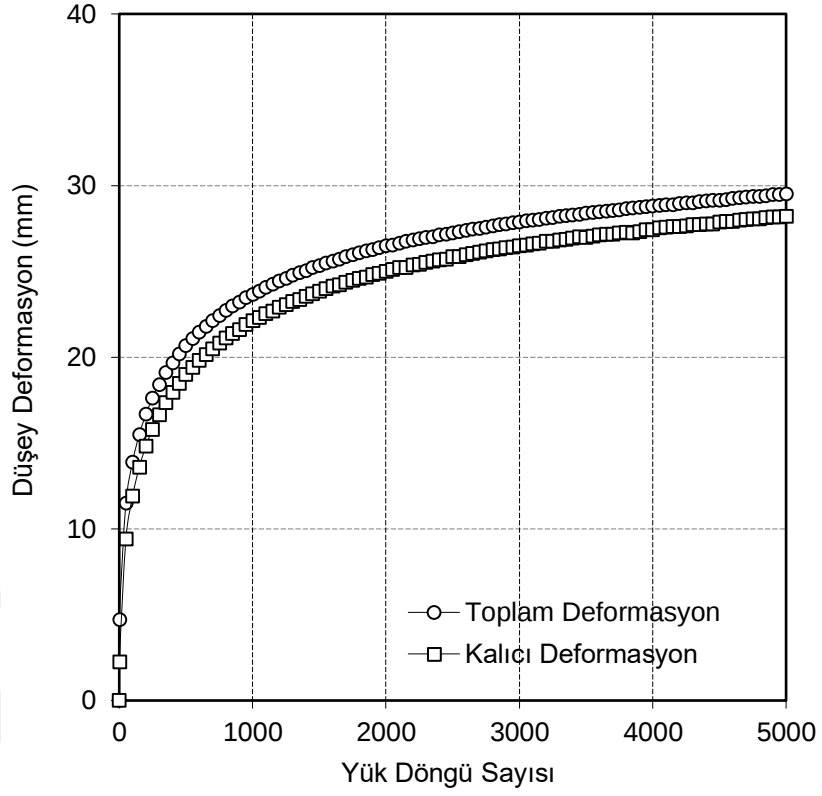
Şekil 4.31 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonla İlişkisi (GT-5-10)

Elastik deformasyonlarla ortaya çıkan kalıcı deformasyon değerleri Şekil 4.32’ de verilmiştir. Bu grafikte de tıpkı önceki deneylerde olduğu üzere ilk yük döngü sayılarında hızla oluşan bir artışa sahip olan kalıcı deformasyon değeri sonrasındaki yük döngü sayılarında bu artışın miktarının azaldığı görülmüştür. 225 kPa basıncın altında 5000 yük döngüsündeki kalıcı deformasyonun 28.23 mm’lik değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.32 incelendiğinde tıpkı toplam deformasyon grafiğinde olduğu gibi ilk yük döngüleri için grafik lineer doğru olarak başlayıp yük döngülerinin artmasıyla eğimi azalarak asimtotik bir hale bürünürken yükleme döngülerinin daha da artmasıyla parabolik bir hal almıştır.

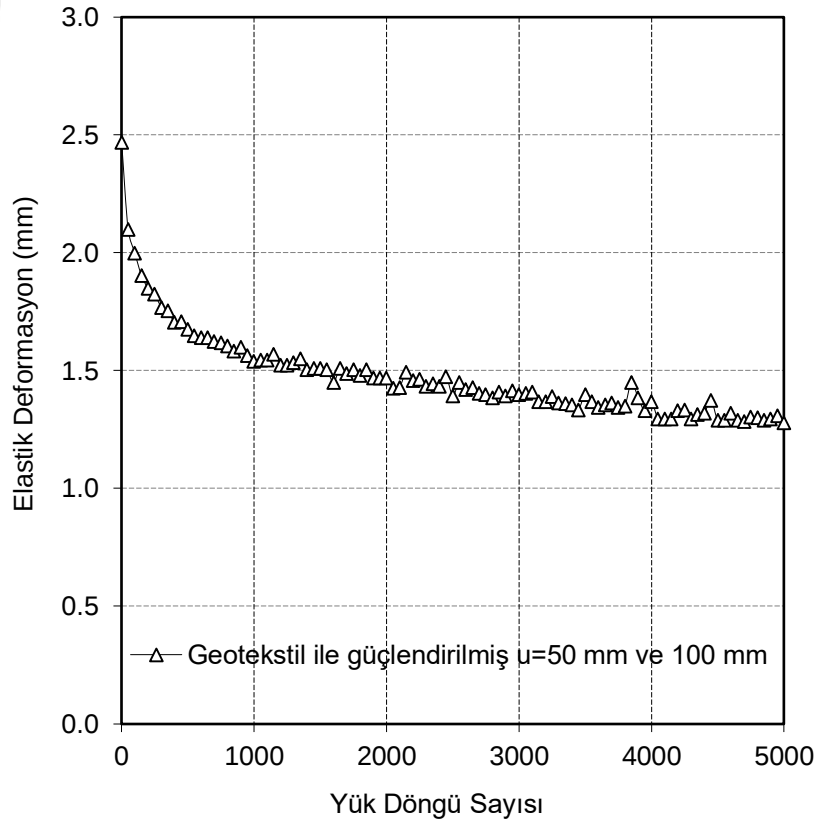


Şekil 4.32 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-5-10)

Şekil 4.33’te toplam ve kalıcı deformasyonların değerleri bir arada gösterilmiştir. Her yük çevriminde toplam ve kalıcı deformasyonlar arasındaki farkla hesap edilen elastik deformasyonların değeri 5000 yük çevrimi için Şekil 4.34’te verilmiştir. İlk yükleme döngüsünde elastik deformasyonun 2.47 mm’lik bir değere sahip olarak başlayıp sonrasında azalarak 5000 yük çevrimi sonucunda 1.28 mm değerinde olduğu görülmektedir.

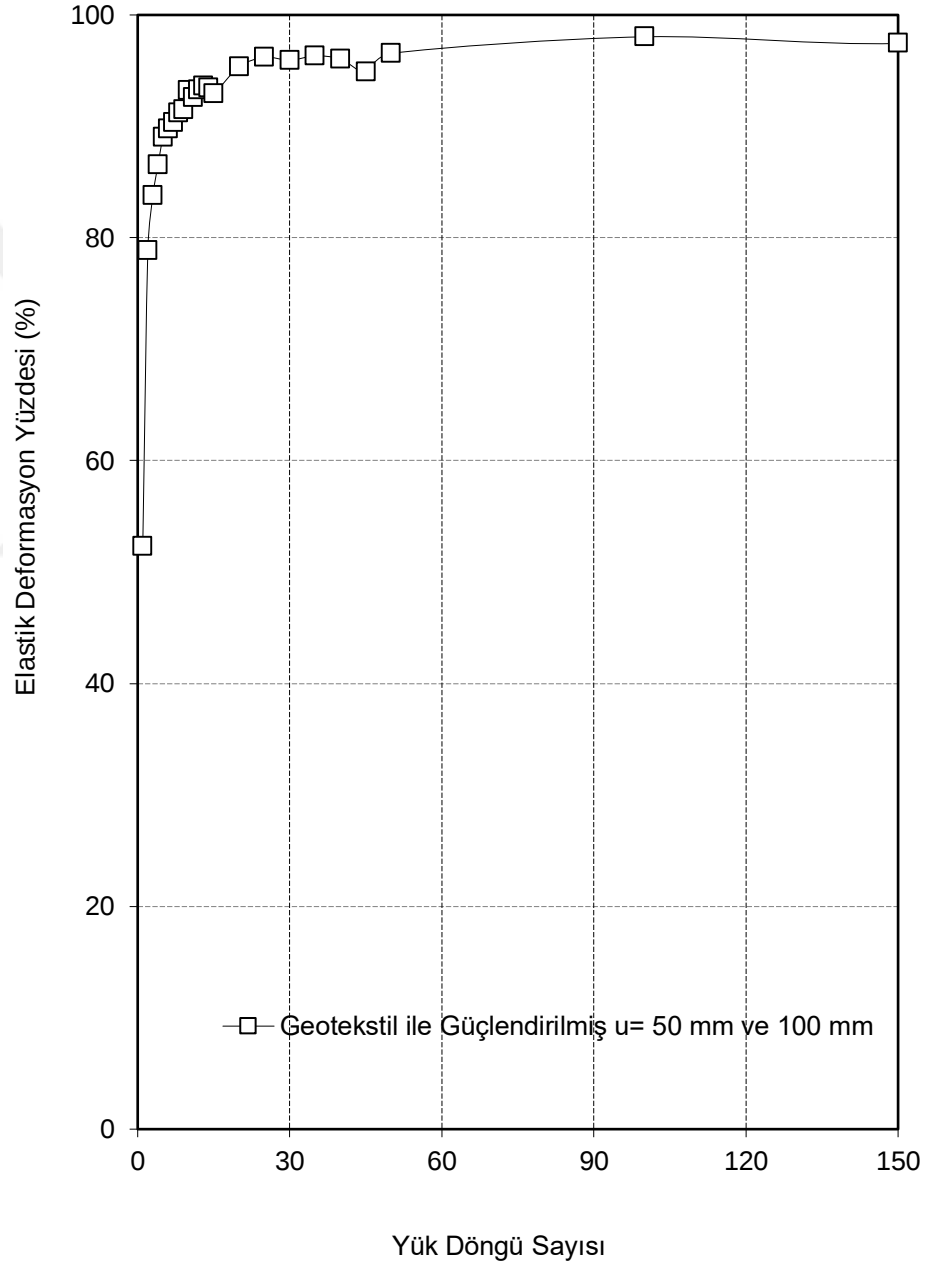


Şekil 4.33 Döngü Sayısının Toplam ve Kalıcı Deformasyonla İlişkisi (GT-5-10)



Şekil 4.34 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonla İlişkisi (GT-5-10)

İlk 150 yük çevriminde elastik deformasyon yüzdesi yani toplam deformasyonlardaki elastik deformasyonların payları Şekil 4.35'te verilmiştir. Şekil 4.35'te bakıldığında ilk yük çevrimlerinde kalıcı deformasyonların daha baskın olduğundan dolayı takriben 50 yük çevrimi civarlarına kadar elastik deformasyon yüzdesi hızla artış göstererek dengeli bir hal almıştır. 50. yük çevrimi sonundaki elastik deformasyon yüzdesi %97 olarak belirlenmiştir.



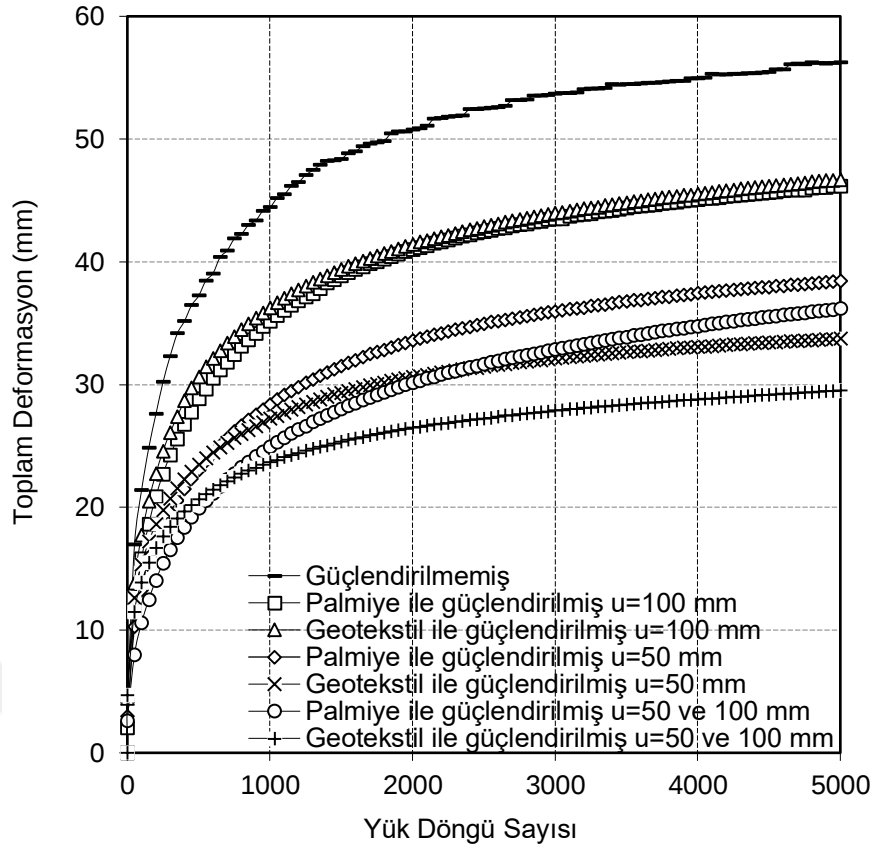
Şekil 4.35 Döngü Sayısının Elastik Deformasyon Yüzdesiyle İlişkisi (GT-5-10)

4.8. Deneyin Sonuçlarının Karşılaştırılması

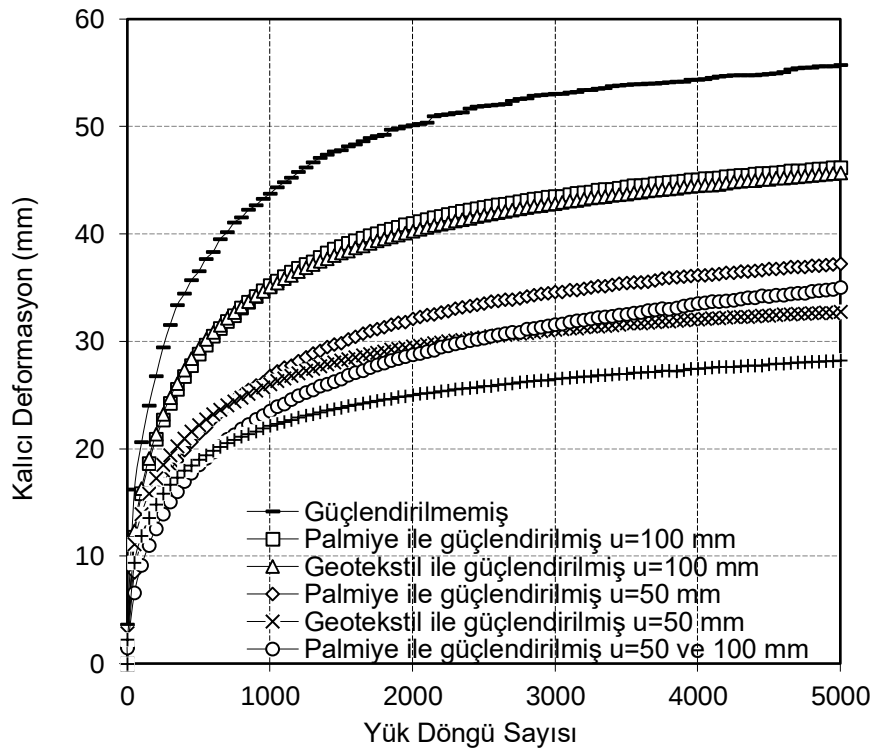
Bu bölümde yapılan deneyler sonucunda aynı kum numene ve toplam zemin yüksekliğinin aynı tutulduğunda (500 mm) güçlendirilmemiş ve farklı gömme derinliklerinde (50 mm ve 100 mm) geotekstile alternatif olarak kullanılan PTPW'nin güçlendirme etkisinin toplam, kalıcı, elastik deformasyonlar, elastik deformasyon yüzdesiyle TBR ve RDR bakımından incelenmesi yapılmıştır.

4.8.1. Toplam Deformasyon ve Kalıcı Deformasyon

Yapılan bütün deneylerin elde edilen sonuçları güçlendirilmemiş, PTPW ile güçlendirilmiş ve geotekstil ile güçlendirilmiş alt zeminin yük döngü sayısına karşılık toplam deformasyonları ve kalıcı deformasyonları sırayla Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de verilmiştir. Grafiklerden toplam ve kalıcı deformasyonların artan yük döngüsü sayısı ile arttığı açıkça görülmektedir. İlk yük döngülerinde toplam ve kalıcı deformasyonlar baskındır; ancak yük döngü sayısı arttıkça bu deformasyonların artış hızının azaldığı gözlemlenmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere tüm yükleme döngülerinin sonucunda tüm donatılı alt katmanların toplam ve kalıcı deformasyonları donatısız duruma göre daha düşüktür. PTPW-10 ve GT-10 ile alt zeminlerin güçlendirilmesi durumuna bakılacak olursa toplam ve kalıcı deformasyonlar açısından kendi aralarında değerlendirildiğinde, sonucun nerdeyse aynı olduğu görülmüştür. Ayrıca GT-5 ile güçlendirilmiş alt zemini toplam ve kalıcı deformasyon açısından PTPW-5 ile güçlendirilmiş alt zeminlerden daha iyi performans göstermiştir. Benzer şekilde PTPW-5-10 ve GT-5-10 dikkate alındığında, PTPW-5-10 alt zemini toplam ve kalıcı deformasyonlar açısından GT-5-10'dan daha yüksek deformasyon göstermiştir.



Şekil 4.36 Döngü Sayısının Toplam Deformasyonlarla İlişkisi



Şekil 4.37 Döngü Sayısının Kalıcı Deformasyonlarla İlişkisi

5000 yük döngüsü sonucundaki tüm toplam deformasyonların ve kalıcı deformasyonların değerleri Çizelge 4.1’ de gösterilmiştir.

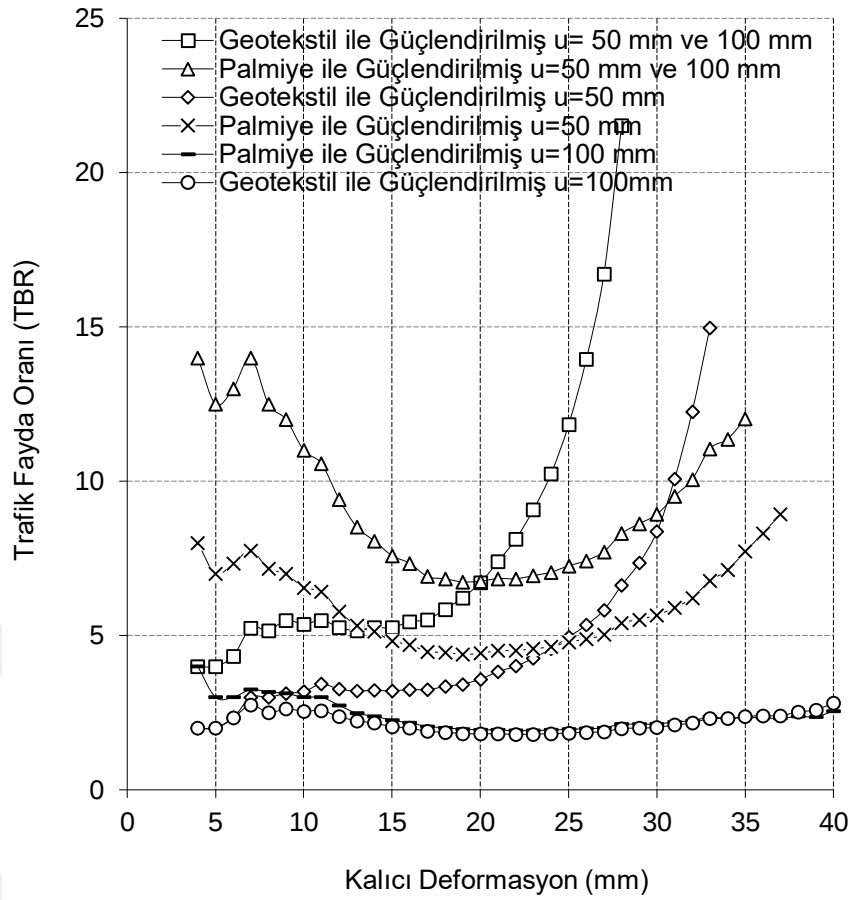
Çizelge 4.1 5000 Yük Döngüsü Sonundaki Toplam ve Kalıcı Deformasyon Değerleri (mm)

Deney	Kalıcı Deformasyon	Toplam Deformasyon
GM	55.72	56.24
PTPW-5	37.22	38.44
GT-5	32.77	33.76
PTPW-10	46.18	47.06
GT-10	45.7	46.71
PTPW-5-10	35.01	36.2
GT-5-10	28.23	29.51

4.8.1.1. Trafik Fayda Oranı (TBR)

PTPW ve geotekstlin bir güçlendirme donatısı olarak kullanılmasının avantajı yol temelinin performans artışının değerlendirilmesi, tekerlek izi davranışının bir performans göstergesi olarak kullanılan TBR kullanılarak değerlendirilebilir. TBR, takviyeli bir temelde belirlenen bir tekerlek izi derinliğine yani kalıcı deformasyona ulaşması için gereken yük çevrim sayısının, takviyesiz temelde de aynı tekerlek izi derinlik mertebesine ulaşması için lazım olan yük çevrim sayısına oranı olarak tanımlamıştır (Denklem 4.1). TBR değerleri 5000 yük döngü sayısı sonunda oluşan kalıcı deformasyonlara göre değerlendirilmiş ve Şekil 4.38’de sunulmuştur. Şekil 4.38’de görüldüğü gibi, PTPW-5-10 alt zeminin TBR değerleri 20 mm kalıcı deformasyona kadar GT-5-10 alt zeminlerden daha yüksektir, bu da PTPW’nin bir takviye malzemesi olarak kullanıldığında ticari olarak üretilen geotekstillere alternatif olabileceğine dair önemli bir öneri sunmaktadır. Bununla birlikte, 20 mm kalıcı deformasyondan sonra PTPW-5 ve GT-5 içinde benzer davranış tespit edilmiştir; ancak bu aşamada geçiş noktası yaklaşık olarak 25 mm kalıcı deformasyondadır. PTPW-5 alt zemininin yaklaşık 13 mm kalıcı deformasyona kadar GT-5-10’dan daha yüksek TBR değerleri gösterdiği görülmüştür. PTPW-10 ve GT-10 alt zeminlerin 100 mm gömme derinliğindeki TBR’leri değerlendirildiğinde donatı türünden bağımsız olarak nerdeyse aynı performansı gösterdiği görülmüştür.

$$(TBR)_{n.kalıcı def.} = \left(\frac{Yük Döngü Sayısı_{güçlendirilmiş}}{Yük Döngü Sayısı_{güçlendirilmemiş}} \right)_{n.kalıcı def.} \quad (4.1)$$



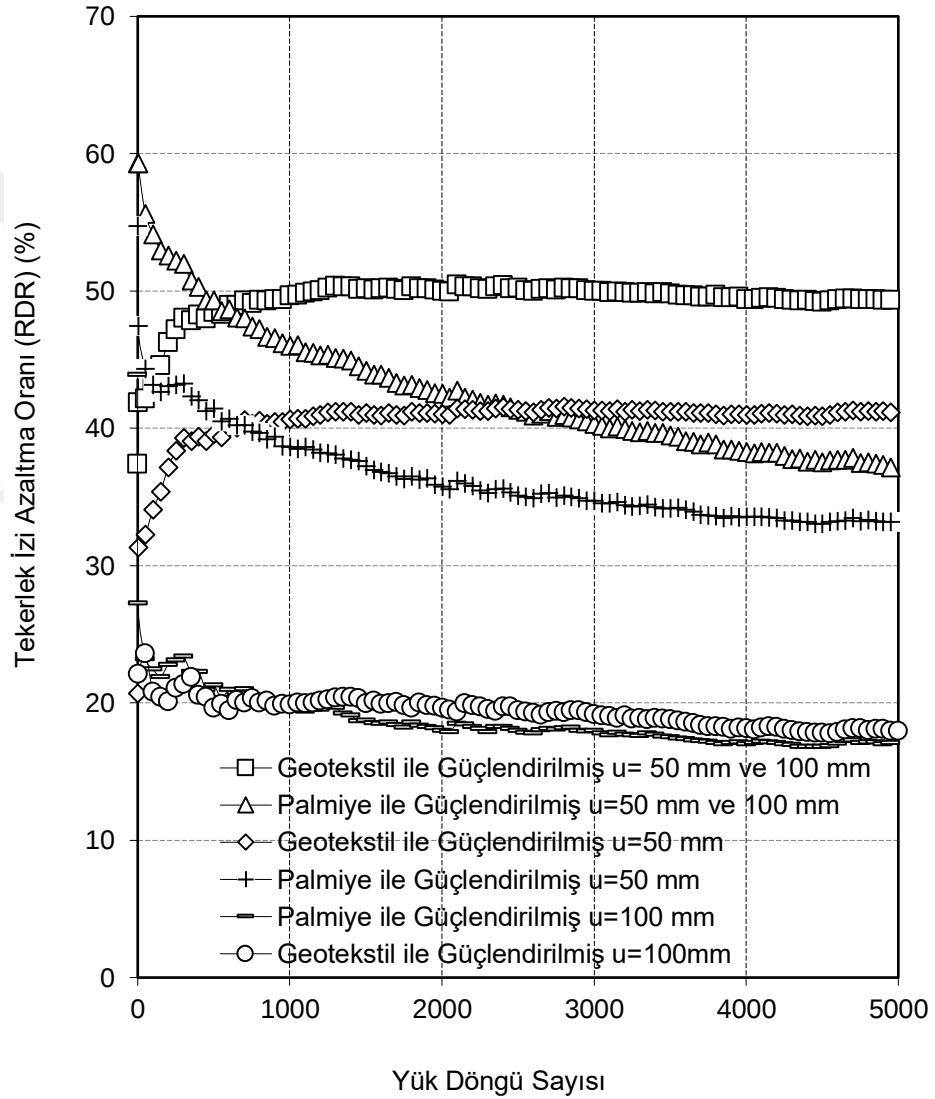
Şekil 4.38 Trafik Fayda Oranı (TBR)

4.8.1.2. Tekerlek İzi Azalma Oranı (RDR)

Bu çalışmada PTPW ve geotekstil donatıları ile elde edilen tekerlek izi davranışındaki azalmayı hesaplamak için RDR parametresi kullanılmıştır. Kalıcı deformasyondaki azalışı yüzdesel olarak belirten RDR oranı tüm PTPW ve geotekstil takviyeli alt zeminler için 5000 yük döngüsü sonunda denklem (4.2)'e uygun olarak her 50 yükleme döngüsü için hesaplanmış ve Şekil 4.39'da gösterilmiştir. Grafikten PTPW donatılı alt tabakaların RDR değerlerinin artan yük döngüsü sayısı ile azaldığı; bunun aksine geotekstil donatılı alt tabakaların RDR değerlerinin yük döngü sayısı ile arttığı görülmüştür. Bu davranıştan, PTPW geotekstil ile karşılaştırıldığında ilk yükleme döngülerinde tekerlek izini azaltmada daha üstün olduğu çıkarılabilir. Ayrıca TBR ile benzer şekilde başlangıçta PTPW ile güçlendirilmiş alt tabakaların belirli bir yükleme döngüsü sayısına kadar geotekstil

ile güçlendirilmiş alt tabakalardan daha yüksek RDR değerleri gösterdiği ancak bir geçiş noktasından sonra RDR değerlerinin sabit bir değere yakınsadığı görülmüştür. Güçlendirilmiş alt zeminlerin genel performansı RDR açısından değerlendirildiğinde GT-5-10 ile güçlendirilmiş alt zemin en yüksek RDR değerini (%49.31) sağlamıştır. Çizelge 4.2’ de güçlendirilen zeminlerin RDR değerleri verilmiştir.

$$(RDR)_{N=n} = \left(1 - \frac{\text{Kalıcı deformasyon}_{\text{güçlendirilmiş}}}{\text{Kalıcı deformasyon}_{\text{güçlendirilmemiş}}} \right)_{N=n} \times 100 \quad (4.2)$$



Şekil 4.39 Tekerlek İzi Azalma Oranı (RDR)

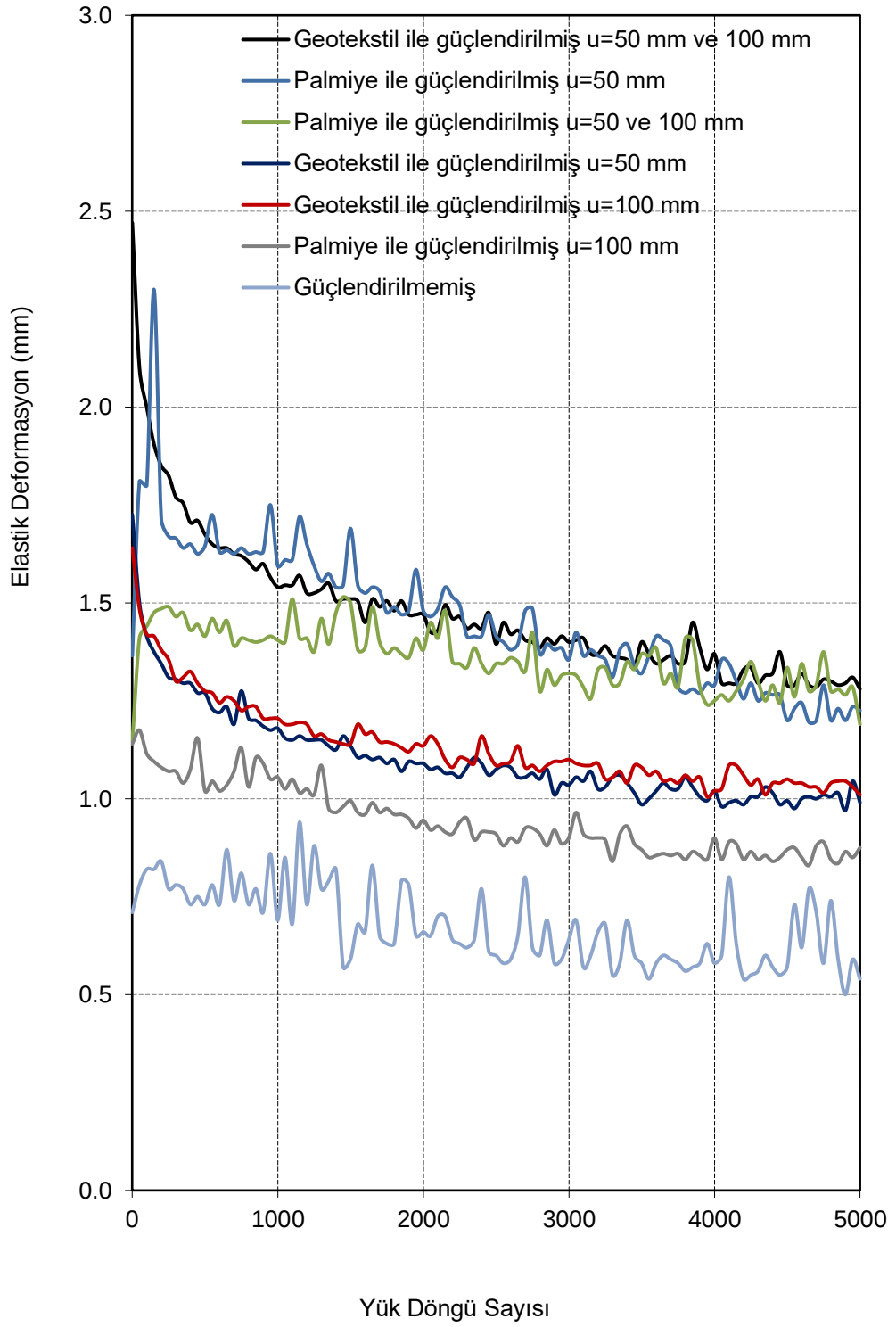
Çizelge 4.2 5000 Yük Döngüsü Sonundaki RDR Değerleri

Deney	RDR(%)
PTPW-5	33.18
GT-5	41.16
PTPW-10	17.08
GT-10	17.95
PTPW-5-10	37.35
GT-5-10	49.31

4.8.2. Elastik Deformasyon

Yapılan tüm deneylerin sonucunda her yük döngüsü için toplam deformasyon değerinden kalıcı deformasyon değerinin farkının alınmasıyla hesaplanmıştır (Önal, 2021) (Denklemler 4.3). Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş zeminlerin her bir 5000 yük döngüsü için elastik deformasyon değerleri Şekil 4.40'da gösterilmiştir. Tüm elastik deformasyon eğrilerinin genel eğilimi artan yükleme döngüleriyle birlikte elastik deformasyonların azaldığını ve neredeyse sabit bir değere stabilize olduğunu göstermektedir. Grafikten de görüldüğü üzere donatısız zeminin elastik deformasyonları donatılı durumlara kıyasla minimum değerlere sahiptir. PTPW-5 ve GT-5-10 alt zeminleri neredeyse aynı ve en yüksek deformasyonları gösterirken bunları PTPW-5-10, GT-10, GT-5 ve PTPW-10 takip etmiştir. Bu davranıştan PTPW'nin geotekstilin aksine elastik deformasyonu arttırma konusunda üstün bir kabiliyete sahip olduğunu göstermiş ve ne kadar yüksek elastik deformasyon meydana gelirse yol kaplamalarının hizmet ömrünün o kadar uzun olduğu sonucuna varılabilir.

$$(Elastik Def.)_{N=n} = (Toplam Def. - Kalıcı Def.)_{N=n} \quad (4.3)$$



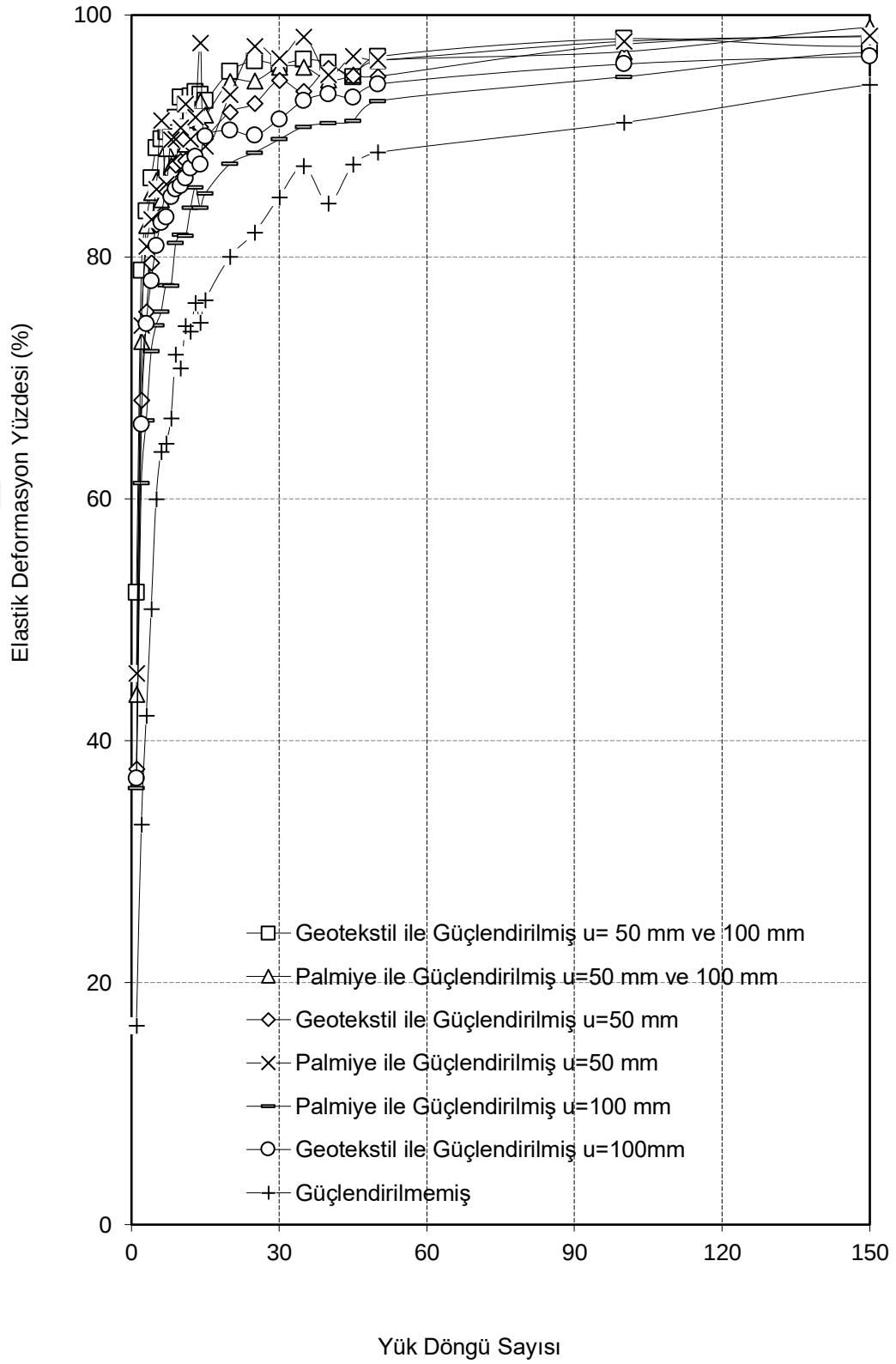
Şekil 4.40 Döngü Sayısının Elastik Deformasyonlarla İlişkisi

4.8.2.1. Elastik Deformasyon Yüzdesi

Belirli olan bir yük çevrimindeki elastik deformasyonun aynı yük çevrimine ait olan elastik ve kalıcı deformasyon toplamına yani toplam deformasyon değerine bölünmesiyle elastik deformasyon yüzdesi elde edilmektedir. (Denklem 4.4).

$$(Elastik\ Deformasyon\ Yüzdesi)_{N=n} = \left(\frac{Elastik\ deformasyon}{Toplam\ deformasyon} \right)_{N=n} \quad (4.4)$$

Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş alt katmanların elastik deformasyon yüzdesi Şekil 4.41’de gösterilmiştir. Grafikten açıkça görüldüğü üzere donatılı ve donatısız alt tabakaların elastik deformasyon yüzdesi ilk yükleme döngülerinde hızla artmış ancak artan yükleme döngülerinin sayısı ile hızla sabit bir değere yakınsamıştır. Beklenildiği gibi takviyesiz alt tabakanın takviyeli alt tabakalara kıyasla en düşük elastik deformasyon yüzdesi değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda tüm takviyeli alt zeminlerin elastik davranışının donatı ile güçlendirildiği manasına gelmektedir dolayısıyla kaplama malzemesinin hizmet ömründe bir artışın sağlandığı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 4.41 İlk 150 Yük Döngüsü İçin Elastik Deformasyon Yüzdesi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, palmye ağacı budama atığının (PTPW) zemin iyileştirme maddesi olarak performansını değerlendirmek için 7 adet döngüsel tekrarlı yükleme deneyi yapılmıştır. Ticari olarak üretilen geotekstil ile atık bir malzeme olan PTPW arasında bir kıyaslama yapılmaktadır. 500 mm taban zemini kalınlığına farklı gömme derinliklerinde PTPW ile geotekstil kullanılarak güçlendirilip test edildiğinde toplam deformasyon, kalıcı deformasyon ve elastik deformasyon bakımından sağladığı faydalar incelenmiştir. Yapılan çalışmaya dayanarak varılan sonuçlara aşağıda maddeler halinde yer verilmiştir.

5.1 Sonuçlar

- PTPW ve geotekstil takviyeli alt zeminler toplam deformasyon, kalıcı deformasyon, elastik deformasyonlar ve elastik deformasyon yüzdesi açısından takviyesiz alt zemine kıyasla önemli ölçüde daha iyi performans göstermiştir.
- PTPW takviyeli alt zeminler geotekstil takviyeli alt zeminlere kıyasla ilk yükleme döngülerinde daha yüksek TBR ve RDR değerlerine sahip olduğu görülmüştür.
- Geotekstil ve PTPW 5000 yük döngüsü sonunda tekerlek izi derinliğini sırasıyla %49.31 ve %37.15 oranında önemli ölçüde azaltmıştır, bu da doğal atık bir malzeme olan PTPW'nin zeminin tekerlek izi davranışını iyileştirmek için yeni çevre dostu bir çözüm olarak kullanılma fırsatı sağladığını göstermiştir.
- Geotekstil ve PTPW takviyeli alt tabakaların en etkili olduğu durumlardan elde edilen TBR değerleri 20 mm kalıcı deformasyonda yaklaşık olarak benzer olduğu görülmüştür.
- PTPW ve geotekstilin dahil edilmesiyle elastik deformasyonda önemli ölçüde artış olduğu görülmüş ayrıca PTPW zemin iyileştirme malzemesi olarak kullanıldığında daha fazla elastik davranış olduğu gözlemlenmiştir.

- Tüm bunlar dikkate alındığında geotekstil ve PTPW takviyeli alt zeminlerin birbirine benzer olduğu atık bir malzeme olan PTPW'nin zeminin tekerlek izi performansını iyileştirmek için geoteksitle alternatif olarak kullanılabileceği görölmüştür.

5.2 Öneriler

- Tekrarlı yükler altında PTPW ile geocell kullanılarak arasındaki performansı değerlendirilebilir.
- Tekrarlı yükler altında PTPW ile geotekstilin sağladığı etki nümerik analizler gerçekleştirilerek doğrulanabilir.
- Gömme derinlikleri değiştirilerek ve kullanılan kademe sayısı artırılarak iyileşme etkisi incelenebilir.
- Tekrarlı yüklemenin yükleme süresi arttırılarak deneysel çalışma yeniden yürütölebilir.

KAYNAKLAR

- Abdeldjouad, L., Asadi , A., Ball, R. J., Nahazanan, H., & Huat, B. K., Application of alkali-activated palm oil fuel ash reinforced with glass fibers in soil stabilization. *Soils and Foundations*, 59(5), 1552-1561, (2019).
- Ahlvin, R. G., & Ulery, H. H., Tabulated values for determining the complete pattern of stresses, strains, and deflections beneath a uniform circular load on a homogeneous half space. *Highway Research Board Bulletin*(342), (1962).
- Al-Refeai, T. O., Behavior of geotextile reinforced sand on weak subgrade. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 12(2), 219-232, (2000).
- Altay , G., Geocell kullanılarak oluşturulan dayanma duvarların deneysel ve nümerik olarak incelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 202, (2019).
- Anusudha, V., Sunitha, V., & Mathew, S., Performance of coir geotextile reinforced subgrade for low volume roads. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14, 213-221, (2021).
- Arifin, Y. F., & Rahman, G., Stabilization of Soft Soil with Cement and Palm Kernel Shell Ash Admixture. *MATEC Web of Conferences*, 280, (2019).
- Basha, E. A., Hashim, R., Mahmud, H. B., & Muntohar, A. S., Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and Building Materials*, 19(6), 448-453, (2005).
- Bhattacharyya, R., Fullen, M. A., Davies, K., & Booth, C. A., Utilizing palm-leaf geotextile mats to conserve loamy sand soil in the United Kingdom. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 130(1-2), 50-58, (2009).
- Cuelho, E. V., & Perkins, S. W., Geosynthetic subgrade stabilization – Field testing and design method calibration. *Transportation Geotechnics*, 10, 22-34, (2017).
- Evangeline, S. Y., Sayida, M. K., & Girish, M. S., Long-Term Performance of Rural Roads Reinforced with Coir Geotextile – A Field Study. *Journal of Natural Fibers*, 1-18, (2019).
- Fannin, R. J., & Sigurdsson, O., Field Observations on Stabilization of Unpaved Roads with Geosynthetics. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(7), 544-553, (1996).
- Ferrandez-Garcia, C., Ferrandez-Garcia, A., Ferrandez-Villena, M., Hidalgo-Cordero, J., Garcia-Ortuna, T., & Ferrandez-Garcia, M. T., Physical and

- Mechanical Properties of Particleboard Made from Palm Tree Prunings. *Forests*, 9(12), 755, (2018).
- Garcia-Ortuno, T., Ferrandez-Garcia, M. T., Andreu Rodriguez, J., Ferrandez Gracia, C. E., & Ferrandez-Villena, M., Evaluating the properties of palm particle boards (*Washingtonia robusta* H. Wendl). In *Proceedings of the 6th Iberian Congress of Agroengineering*, (s. 126-130), (2011).
- George, A. M., Banerjee, A., Puppala, A. J., & Saladhi, M., Performance evaluation of geocell-reinforced reclaimed asphalt pavement (RAP) bases in flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(2), 181-191, (2021).
- Gil-Lopez, T., Medina-Molina, M., Verdu-Vazquez, A., & Martel-Rodriguez, B., Acoustic and economic analysis of the use of palm tree pruning waste in noise barriers to mitigate the environmental impact of motorways. *Science of the Total Environment*, 584-585, (2017).
- Giroud, J. P., & Han, J., Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads. I. Development of Design Method. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(8), 775-786, (2004).
- Gray, D. H., & Ohashi, H., Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(3), 335-353, (1983).
- Hausmann, M. R. Geotextiles for unpaved roads-A review of design procedures. *Geotextiles and Geomembranes*, 5(3), 201-233, (1987).
- Kaplan, E., Kayadelen, C., Öztürk, M., Önal , Y., & Altay, G. Experimental evaluation of the usability of palm tree pruning waste (PTPW) as an alternative to geotextile. *Revista de la construcción*, 21(1), 69-82(2022).
- Mamatha, K. H., & Dinesh, S. V., Performance evaluation of geocell-reinforced pavements. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 13(3), 277-286, (2019).
- Mandal, I., & Pal, S., COVID-19 pandemic persuaded lockdown effects on environment over stone quarrying and crushing areas. *Science of the Total Environment*, 732, (2020).
- Marandi, S. M., Bagheripour, M. H., Rahgozar, R., & Zare, H., Strength and ductility of randomly distributed palm fibers reinforced silty-sand soils. *American Journal of Applied Sciences*, 5(3), 209-220, (2008).
- Mujah, D., Rahman, M. E., & Zain, N. H., Performance evaluation of the soft soil reinforced ground palm oil fuel ash layer composite. *Journal of Cleaner Production*, 95, 89-100, (2015).

- Nair, A. M., & Latha, G. M., Repeated load tests on geosynthetic reinforced unpaved road sections. *Geomechanics and Geoengineering*, 95, 95-103, (2016).
- Negi, M. S., & Singh, S. K., Experimental and numerical studies on geotextile reinforced subgrade soil. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 1-12, (2019).
- Negi, M. S., & Singh, S. K., Experimental and numerical studies on geotextile reinforced subgrade soil. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 15(9), 1106-1117, (2021).
- Nnochiri, E. S., Ogundipe, O. M., & Oluwatuyi, O. E., Effects of Palm Kernel Shell Ash on Lime-Stabilized Lateritic Soil. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 25(3), 1-7, (2017).
- Önal, Y., Geosentetiklerle Güçlendirilmiş Karayolu Temel Tabakasının Davranışının Tekrarlı Yükler Altında İncelenmesi. *Tez(Yüksek Lisans)*. Osmaniye, Türkiye: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, (2021).
- Palmiera, E. M., & Antunes, L. G., Large scale tests on geosynthetic reinforced unpaved roads subjected to surface maintenance. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(6), 547-558, (2010).
- Pokharel, S. K., Han, J., Leshchinsky, D., & Parsons, R. L., Experimental evaluation of geocell-reinforced bases under repeated loading. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(2), 114-127, (2018).
- Pokharel, S. K., Han, J., Leshchinsky, D., Parsons, R. L., & Halahmi, I., Investigation of factors influencing behavior of single geocell-reinforced bases under static loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(6), 570-578, (2010).
- Pourakbar, S., Asadi, A., Huat, B. B., & Fasihnikoutalab, M. H., Stabilization of clayey soil using ultrafine palm oil fuel ash (POFA) and cement. *Transportation Geotechnics*, 3, 24-35, (2015).
- Qian, Y., Han, J., Pokharel, S. K., & Parsons, R. L., Determination of Resilient Modulus of Subgrade Using Cyclic Plate Loading Tests, (2011).
- Qu, J., & Xiong, K., Influences of Curing Environment on Strength Performances of Shanghai Clayey Soil Reinforced with Palm Fiber. *Advances in Civil Engineering*, (2020).
- Qu, J., & Zhao, D., Stabilising the cohesive soil with palm fibre sheath strip. *Road Materials and Pavement Design*, 17(1), 87-103, (2016).

- Qu, J., & Zhu, H., Function of palm fiber in stabilization of alluvial clayey soil in Yangtze River Estuary. *Journal of Renewable Materials*, 9(4), 767-787, (2021).
- Rashidian, V., Naeini, S. A., & Mirzakhani, M., Laboratory testing and numerical modelling on bearing capacity of geotextile-reinforced granular soils. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 12(3), 241-251, (2018).
- Saride, S., Rayabharapu, V. K., & Vedpathak, S., Evaluation of Rutting Behaviour of Geocell Reinforced Sand Subgrades Under Repeated Loading. *Indian Geotechnical Journal*, 45(4), 378-388, (2015).
- Shukla, S. K., Geosynthetics and their Applications. In *Geosynthetics and their Applications*, (2002).
- Singh, M., Trivedi, A., & Shukla, S. K., Strength enhancement of the subgrade soil of unpaved road with geosynthetic reinforcement layers. *Transportation Geotechnics*, 19, 54-60. (2019).
- Suku, L., Prabhu, S. S., Ramesh, P., & Babu, G. L., Behavior of geocell-reinforced granular base under repeated loading. *Transportation Geotechnics*, 9, 17-30, (2016).
- Suku, L., Prabhu, S. S., Ramesh, P., & Babu, G. S., Effect of geogrid-reinforcement in granular bases under repeated loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(4), 377-389, (2017).
- Tafreshi, S. N., Khalaj, O., & Dawson, A. R., Repeated loading of soil containing granulated rubber and multiple geocell layers. *Geotextiles and Geomembranes*, 42(1), 25-38, (2014).
- Thakur, J. K., Pokharel, S. K., & Parsons, R. L., Performance of geocell-reinforced recycled asphalt pavement (RAP) bases over weak subgrade under cyclic plate loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 35, 14-24, (2012).
- TS 1500., İnşaat mühendisliğinde zeminlerin sınıflandırılması. *Türk Standartları Enstitüsü*, (2000).
- Zhang, L., Zhao, M., Shi, C., & Zhao, H., Bearing capacity of geocell reinforcement in embankment engineering. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(5), 475-482, (2010).

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Ebubekir Kaplan
2. Doğum Tarihi :
3. Ünvanı : İnşaat Mühendisi
4. Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Çukurova Üniversitesi	2019
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üni.	2023

5. Akademik Ünvanlar:

Görevi	Bölümü	Kurumu	Yıl

6. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl

7. Yayınlar:

8. Yazılan uluslar arası kitaplar veya kitaplarda bölümler:

9. Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

10. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

11. Diğer yayınlar:

12. Projeler:

13. Bilimsel Kuruluşlara Üyelikler:

14. Ödüller:



OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

FORM
YL11

OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞ'NA

Tarih: 25/08/2023

Tez Başlığı / Konusu: Palmiye Ağacı Budama Atığının (PTPW) Karayolu Taban Zeminin Güçlendirilmesinde Geotekstile Alternatif Olarak Kullanımının Tekrarlı Yükler Altında İncelenmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract, c) Giriş, d) Ana bölümler ve e) Sonuç, f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 69 sayfalık kısmına ilişkin, 25/08/2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme tiplerinden biri uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %11 'dir.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30) ☒

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dahil,
- 4- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10) ☐

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Ebubekir KAPLAN

Öğrenci No: 2012707103

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: İnşaat Mühendisliği

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

RAPORU DÜZENLEYEN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

(Unvan, Ad Soyad, İmza)