



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜLERİ
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut OVALI

**YUMUŞAK KİL ZEMİN ÜZERİNE İNŞA EDİLEN
GEOSENTETİKLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
YOL DOLGUSU ÜZERİNDE ARAZİ
DENEYLERİNİN YAPILMASI**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2016

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**YUMUŞAK KİL ZEMİN ÜZERİNE İNŞA EDİLEN
GEOSENTETİKLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YOL
DOLGUSU ÜZERİNDE ARAZİ DENEYLERİNİN
YAPILMASI**

Mesut OVALI

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

**OSMANIYE
EYLÜL-2016**

TEZ ONAYI

YUMUŞAK KİL ZEMİN ÜZERİNE İNŞA EDİLEN GEOSENTETİKLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YOL DOLGUSU ÜZERİNDE ARAZİ DENEYLERİNİN YAPILMASI

Mesut OVALI tarafından Doç. Dr. Ahmet DEMİR danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ahmet DEMİR
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Prof. Dr. Abdülazim YILDIZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ÇÜ

Üye: Doç. Dr. Murat ÖRNEK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTE

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

Prof. Dr Abdullah Ali GÜRTEEN
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2014-PT3-033

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.

(İmza)
(Mesut OVALI)

ÖZET

YUMUŞAK KİL ZEMİN ÜZERİNE İNŞA EDİLEN GEOSENTETİKLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YOL DOLGUSU ÜZERİNDE ARAZİ DENEYLERİNİN YAPILMASI

Mesut OVALI

Doktora / Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ahmet DEMİR

Eylül 2016, 106 sayfa

Özellikle son otuz yılda esnek üst yapı temellerinin geosentetiklerle güçlendirilmesi hızla yaygınlaşmıştır. Geosentetiklerle güçlendirmenin kaplama performansını iyileştirdiği bilinmesine karşın güçlendirmeyi sağlayan mekanizmalar ve durumlar hala açık değildir. Bu çalışmada, zayıf zemin üzerine geosentetiklerle güçlendirilmiş temel dolgusuna sahip yol kaplamalarında, trafik yükleri altında yapılan arazi deneyleri ile güçlendirmenin etkileri araştırılmıştır. Geosentetiklerin temel malzemesini yanal olarak sınırlandırması ile malzemenin hapsedilmesi sonucunda kaplamanın performansını iyileştirdiği düşünülmektedir. Arazi deneyi sonuçlarından zayıf zeminler üzerine inşa edilen granüler dolgu tabakalarında geosentetiklerle güçlendirmenin teker izinin azaltılmasında iyi bir yöntem olduğu görülmüştür. Ancak, inşa edilen yol kesitlerinde donma çözünme döngüsü sonrasında ve uzun dönem daha yüksek trafik yükleri altında da gözlem yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arazi deneyleri, kil zemin, granüler dolgu, geogrid, geocell

ABSTRACT

FULL-SCALE FIELD TESTS ON GEOSYNTHETIC REINFORCED ROADS ON SOFT SUBGRADE

Mesut OVALI

PhD / M.Sc., Department of Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof.Dr Ahmet DEMİR

September 2016, 106 pages

The use of geosynthetics as reinforcement for the base layer of flexible pavement systems has grown steadily over the past thirty years. Although geosynthetic reinforcements can lead to improved pavement performance, the specific conditions or mechanisms that enable and govern the reinforcement are unclear, largely remaining unidentified and unmeasured. In this study, the assessment of the effect of geosynthetics on the pavement structural that is reinforced granular fill layer over soft clay soil, section's ability to support traffic loads were investigated using field tests. The improved performance of pavements due to addition of geosynthetics was attributed to the ability of geosynthetics to laterally restrain the base course material, thereby providing a confinement effect to the pavement. The results of the field tests show that mechanical reinforcement as is an effective method in reducing rutting and repairing granular fill layer overlying soft subgrade. However, additional monitoring of the constructed test section is needed to verify the long term performance and evaluate the effect of higher traffic load and freeze-thaw cycles.

Key Words: Field tests, clay soil, granular fill bed, geogrid, geocell

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans eğitimin ve tez çalışmam süresince bana yol gösteren ve değerli bilgilerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Değerli katkılarından dolayı, başta Sayın Prof. Dr. Cafer KAYADELEN, Arş. Gör. Bahadır OK, Arş. Gör. Talha SARICI ve Arş. Gör. Gökhan ALTAY'a teşekkür ederim.

Bu tezin oluşmasında bana destek olan Osmaniye İl Özel İdaresi personeline teşekkür ederim.

Bana her zaman destek olan eşim Neslihan'a, çocuklarım Erenay ve Feriha'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR	XI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1 Giriş	4
2.2 Karayolu Yapısı.....	5
2.2.1 Taban zemini	5
2.2.2 Alttemel tabakası.....	6
2.2.3 Temel tabakası	6
2.2.4 Kaplama tabakası	6
2.3 Esnek Üst Yapıda Meydana Gelen Bozulmalar	7
2.3.1 Teker İzi Oluşumu.....	7
2.3.2 Teker İzi Oluşum Şekilleri	8
2.3.3 Teker İzi Oluşum Nedenleri ve Etkileri	10
2.3.4 Teker İzinin Sınıflandırılması	11
2.4 Geosentetiklerle Güçlendirme	12
2.4.1 Geosentetikler	12
2.4.2 Geosentetiklerin Sınıflandırılması	12
2.4.3 Geosentetiklerin Fonksiyonları	15
2.4.4 Geosentetiklerin Güçlendirme Mekanizmaları	16
2.5 Analitik Yöntemler	18
2.5.1 Binquet ve Lee (1975b) Yöntemi.....	21
2.5.2 Huang ve Tatsuoka (1990) Yöntemi	25
2.5.3 Huang ve Menq (1997) Yöntemi	26
2.5.4 Wayne ve ark. (1998) Yöntemi.....	28
2.5.5 Michalowski (2004) Yöntemi	30

2.6	Arazi Çalışmaları.....	32
3.	MALZEME VE YÖNTEM	35
3.1	Giriş	35
3.2	Zemin Özellikleri	36
3.2.1	Yol Taban Zeminin Özellikleri	36
3.2.2	Temel Dolgusu Olarak Kullanılan Filler Malzemesinin Özellikleri....	39
3.3	Geosentetiklerin Özellikleri.....	42
3.4	Deney Düzeneği	45
3.4.1	Giriş.....	45
3.4.2	Deney Sisteminin Hazırlanması.....	50
3.4.3	DeneySEL Çalışmanın Yapılması	70
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	75
4.1	Seri I Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkisi.....	75
4.2	Seri II Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkisi.....	77
4.3	Seri I ve Seri II Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkilerinin Karşılaştırılması	79
4.4	Seri III Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkisi	80
4.5	Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkisi	82
4.6	Seri III ve Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkilerinin Karşılaştırılması	83
4.7	Göçme Yüklerinin Hesaplanması.....	86
4.8	Yatak Katsayılarının Hesaplanması	87
4.9	Teker İzi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	89
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	96
5.1	Sonuçlar.....	96
5.2	Öneriler.....	98
	KAYNAKLAR	99
	ÖZGEÇMİŞ	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Teker İzinin Sınıflandırması (AASHTO, 1986)	11
Çizelge 2.2. Polimerlerin Bazı Fiziksel Özellikleri (Koerner, R.M 1998)	12
Çizelge 2.3. Fonksiyonlarına Göre Geosentetikler (Karagül, B. Ç., 2007).	16
Çizelge 2.4. Geogrid Donatı İle Taşıma Kapasitesi Değişimleri (Michalowski, 2004)	32
Çizelge 3.1. Taban Zeminin Özellikleri	39
Çizelge 3.2. Filler Zeminin Özellikleri	42
Çizelge 3.3. Geotekstil'in Teknik Özellikleri	44
Çizelge 3.4. Geogrid'in Teknik Özellikleri.....	44
Çizelge 3.5. Geocell'in Teknik Özellikleri	44
Çizelge 3.6. DCP Deneylerinden Elde Edilen Ortalama CBR Değerleri	60
Çizelge 3.7. Plaka Yükleme Deneylerinin Özeti	72
Çizelge 4.1. Plaka Yükleme Deneylerinden Elde Edilen Göçme Yüğü (q_u) Değerleri	87
Çizelge 4.2. Plaka Yükleme Deneylerinden Elde Edilen Yatak Katsayıları (k).....	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yol Boyu Oluşan Tekerlek İzi Örneği (İsfalt, 2002)	2
Şekil 2.1. Karayolu Yapısı (Zornberg, 2011).....	5
Şekil 2.2. Yapısal Tekerlek İzi (Kutluhan, S., 2008)	9
Şekil 2.3. Akma Tekerlek İzi (Kutluhan, S., 2008).....	9
Şekil 2.4. Aşınma ve Oturma Tekerlek İzi (Kutluhan, S., 2008).....	10
Şekil 2.5. (a) Örgüsüz Geotekstil (b) Örgülü Geotekstil (Ingold ve Miller, 1988)....	13
Şekil 2.6. (a) Ekstrüde Geogrid (Shukla ve Yin, 2006) (b) Kaynaklı Geogrid (c) Örgülü Geogrid (Çiçek, C., 2014).....	15
Şekil 2.7. Geocell Örnekleri.....	15
Şekil 2.8. Geogrid-Zemin Kenetlenmesi (Kocaer, 2011)	17
Şekil 2.9. Zayıf Temel Zemin Üzerine Yapılan Yol Dolgularında Geosentetik Uygulaması (Kocaer, 2011)	18
Şekil 2.10. Donatılandırma Mekanizmaları (Chen, 2007)	20
Şekil 2.11. Göçme mekanizmaları (Binquet ve Lee, 1975b)	22
Şekil 2.12. Şerit Temel Altında Gerilme Dağılımları ve Göçme Mekanizması	23
Şekil 2.13. Donatısız ve Donatılı Zeminde Kuvvet Bileşenleri (Binquet ve Lee, 1975b)	25
Şekil 2.14. Donatılı Kum Zeminde Göçme Mekanizmaları	26
Şekil 2.15. Donatılı Zemin Sisteminde Göçme Mekanizması	27
Şekil 2.16. Donatılı Zemin Sisteminde Olası Göçme Mekanizmaları	30
Şekil 2.17. Zemin-Temel Sisteminde Göçme Mekanizması.....	31
Şekil 2.18. Geocell Donatı ile Kaplamalı ve Kaplamasız Yol Üst Yapı Tasarımı (Yang, 2010)	32
Şekil 3.1. Deney Sahası.....	35
Şekil 3.2. Kil Malzemesinin Temini	36
Şekil 3.3. Yol Taban Zeminin Granülometri Eğrisi	37
Şekil 3.4. (a) Likit Limit Grafiği (b) Kompaksiyon Grafiği	38
Şekil 3.5. CBR'ın Su İçeriğine Bağlı Olarak Değişimi	38
Şekil 3.6. Filler Malzemesinin Temini.....	40
Şekil 3.7. Temel Dolgusunun Granülometri Eğrisi	41
Şekil 3.8. Temel Dolgusunun Kompaksiyon Eğrisi.....	41

Şekil 3.9. Deneyleerde Kullanılan Geosentetik malzemeler	43
Şekil 3.10. Hazırlanan Deney Sahası	455
Şekil 3.11. Deney Sahasının Şematik Çizimi	47
Şekil 3.12. Güçlendirmesiz Kontrol Kesiti	48
Şekil 3.13. Geocell Güçlendirmeli Kesit.....	48
Şekil 3.14. Tek Sıra Geogrid Güçlendirmeli Kesit	49
Şekil 3.15. Çift Sıra Geogrid Güçlendirmeli Kesit	49
Şekil 3.16. Deney Sahasının Ön Görünüşü.....	50
Şekil 3.17. (a) Uydudan Nirengi Noktasının Belirlenmesi (b) Kazı Kenarlarının İşaretlenmesi	51
Şekil 3.18. Kazı Öncesi Zemin Üst Kotlarının Belirlenmesi.....	52
Şekil 3.19. Kazı Öncesi Zemin Üst Kotlarının Belirlenmesi.....	53
Şekil 3.20. Kazı Derinliğini Belirlemek İçin Kazı Tabanı Kotlarının Alınması.....	54
Şekil 3.21. Kazı Tabanının Sulanması	54
Şekil 3.22. Kil Dolgu Kotunun Belirlenmesi	55
Şekil 3.23. Yol Taban Zeminin Serilmesi.....	55
Şekil 3.24. Yol Taban Zeminin Sıkıştırılması.....	56
Şekil 3.25. Her Kesitte Yapılan DCP Deneyleerinin Kalerajı.....	56
Şekil 3.26. DCP Deneyleerinin Yapılması	57
Şekil 3.27. Kil Yüzeyinin Tırmıklanıp Homojenliğinin Sağlanması.....	58
Şekil 3.28. Yol Taban Zemininin Sulanması	59
Şekil 3.29. DCP Deneyleerinin Tekrarlanması.....	59
Şekil 3.30. DCP Deney Sonuçlarının Gösterilmesi (Güçlendirilmemiş Durum)	60
Şekil 3.31. Yol Taban Zeminin Kaplanması ve İslatılması	61
Şekil 3.32. Yol Taban Zemininin Zayıf Kil Zemin Olarak Oluşturulması	62
Şekil 3.33. Granüler Dolgu Malzemesinin Serilmesi ve Su İçeriğinin Ayarlanması. 63	
Şekil 3.34. Geotekstil Serilmesi.....	64
Şekil 3.35. Temel Dolgusunun Oluşturulması (İlk 15cm Tabaka)	65
Şekil 3.36. Geocell ve Geogrid Kullanılarak Oluşturulan Yol Kesitleri.....	66
Şekil 3.37. Yüzeyin Düzeltilmesi (Üst Fotoğraf)) ve Tabakaları Sıkıştırma İşlemi (Alt Fotoğraf)	67
Şekil 3.38. Kum Konisi Deneyi ile Sıkışma Kontrolü.....	68
Şekil 3.39. BSK Kaplama İnşası	69

Şekil 3.40. Teker Geçiş Güzergahı ve Deplasman Okuma Noktaları Görüntüsü.....	70
Şekil 3.41. Plaka Yükleme Deneyi	71
Şekil 3.42. Trafik Yükleme.....	73
Şekil 3.43. Nivo Aleti Kullanılarak Kot Okumalarının Yapılması.....	74
Şekil 4.1. Zayıf Kil Zemini Üzerindeki Statik Plaka Yükleme Deney Sonucu	76
Şekil 4.2. Seri I Deneylerinde Güçlendirmesiz Kesit için Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi.....	76
Şekil 4.3. Seri I Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi.....	77
Şekil 4.4. Seri II Deneylerinde Güçlendirilmemiş Yol Kesiti için Elde Edilen.....	78
Şekil 4.5. Seri II Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi.....	79
Şekil 4.6. Seri I ve Seri II Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı Eğrilerinin Karşılaştırılması	80
Şekil 4.7. 1., 3., ve 4. Kesitler Üzerinde Yapılmış Seri III Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi	81
Şekil 4.8. 1. ve 2. Kesitler Üzerinde Yapılmış Seri III Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi	81
Şekil 4.9. 1., 3., ve 4. Kesitler Üzerinde Yapılmış Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi	82
Şekil 4.10. 1. ve 2. Kesitler Üzerinde Yapılmış Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma-Taban Basıncı İlişkisi	83
Şekil 4.11. Güçlendirmesiz Yol Kesiti Üzerinde Yapılmış Seri III ve Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi.....	84
Şekil 4.12. Geocell Donatı ile Güçlendirilmiş Yol Kesiti Üzerinde Yapılmış Seri III ve Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi.....	84
Şekil 4.13. Tek Geogrid Donatı ile Güçlendirilmiş Yol Kesiti Üzerinde Yapılmış Seri III ve Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi.....	85
Şekil 4.14. Çift Geogrid Donatı ile Güçlendirilmiş Yol Kesiti Üzerinde Yapılmış Seri III ve Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma-Taban Basıncı İlişkisi.....	86
Şekil 4.15. Güçlendirmesiz Kontrol Kesitinde Araç Geçiş-Tekerlek İzi Değişimi ..	90
Şekil 4.16. Geocelle Güçlendirilmiş Kesitte Araç Geçiş-Tekerlek İzi Değişimi.....	90
Şekil 4.17. Tek Sıra Geogridle Güçlendirilmiş Kesitte Araç Geçiş-Tekerlek İzi Değişimi	91

Şekil 4.18. Çift Sıra Geogridle Güçlendirilmiş Kesitte Araç Geçişi-Tekerlek İzi Değişimi	92
Şekil 4.19. Farklı Kesitlerde Görülen Tekerlek İzi Değişimlerinin Karşılaştırılması	92
Şekil 4.20. 3000 Kez Araç Geçirildikten Sonra Farklı Kesitlerde Görülen Tekerlek İzi Değerleri	93
Şekil 4.21. 5000 Kez Araç Geçirildikten Sonra Farklı Kesitlerde Görülen Tekerlek İzi Değerleri	94
Şekil 4.22. Teker Yükleme Boyunca Oluşan Düşey Deplasman Davranışı.....	95

SİMGELER ve KISALTMALAR

a	Gerilme dağılım açısı	(°)
B	Temel genişliği	(m)
BSK	Bitümlü sıcak karışım	(-)
CBR	Kaliforniya taşıma gücü oranı	(%)
C _c	Eğrilik katsayısı	(-)
C _u	Üniformluk katsayısı	(-)
c	Kohezyon	(kN/m ²)
D _f	Temel gömülme derinliği	(m)
DCP	Dinamik koni penetrasyon deneyi	(-)
d	Toplam donatı derinliği	(m)
F _b	ABCD elemanının alt yüzeyindeki normal kuvvet	(N)
F _{br}	ABCD elemanının alt yüzeyindeki normal kuvvet (Güç.)	(N)
F _c	Zemin-donatı arayüzey kohezyonu, zemin kohezyonu oranı	(-)
F _t	ABCD elemanının üst yüzeyindeki normal kuvvet	(N)
F _{tr}	ABCD elemanının üst yüzeyindeki normal kuvvet (Güç.)	(N)
F _{sf}	Çekmeye karşı güvenlik sayısı	(-)
F _{sy}	Donatı kopmasına karşı güvenlik sayısı	(-)
F _y	Donatı çekme yada kopma dayanımı	(N)
h	Donatılar arası mesafe	(m)
h	Donatılar arası mesafe	(m)
J,M	Boyutsuz kuvvetler	(-)
K _p	Pasif zemin basınç katsayısı	(-)
K _s	Üst tabaka zemin zımbalama katsayısı	(-)
k	Yatak katsayısı	(kN/m ³)
L	Temel uzunluğu	(m)
M _c ,M _q ,M _v ,M _p	Donatıya bağlı taşıma gücü katsayıları	(-)
N	Teker geçiş sayısı	(adet)
N	Donatı sayısı	(adet)
N _r	Şerit temel birim uzunluğundaki donatı sayısı	(adet)
N _c ,N _v ,N _q	Taşıma gücü faktörleri	(-)
q	Taban basıncı	(kPa)
q	Sürşarj yükü	(kPa)
q _u	Zemin göçme yükü	(kPa)
q ₀	Donatısız durumda taban basıncı	(kPa)
q _r	Donatılı durumda taban basıncı	(kPa)
q _{u(R)}	Donatılı durumda elde edilen nihai taşıma kapasitesi	(kPa)
q _b	Donatılı durumda elde edilen nihai taşıma kapasitesi	(kPa)
S	ABCD elemanının yan yüzeyindeki kesme kuvveti	(N)
S _r	ABCD elemanının yan yüzeyindeki kesme kuvveti (Güç.)	(N)
s	Düşey deplasman	(m)
t	Donatı kalınlığı	(m)
w	Donatı genişliği	(m)
LL	Likit limit	(%)
PL	Plastik limit	(%)
PI	Plastisite indeksi	(-)
PI	DCP'den elde edilen penetrasyon indeksi	(-)
u	Donatı derinliği	(m)

T_t	Donatıda meydana gelen kuvvet	(N)
USCS	Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi	(-)
u	İlk donatı derinliği	(m)
z	Donatı derinliği	(m)
x	Yol kesiti	(m)
ϕ	Zemin içsel sürtünme açısı	(°)
ϕ_f	Zemin ile donatı arasındaki içsel sürtünme açısı	(°)
ϕ_t	Üst tabaka zemin içsel sürtünme açısı	(°)
ω	Zemin su muhtevası	(%)
ω_{opt}	Zeminin optimum su muhtevası	(%)
γ	Zemin birim hacim ağırlığı	(kN/m ³)
γ_t	Üst tabaka zemin birim hacim ağırlığı	(kN/m ³)
γ_s	Zemin dane birim hacim ağırlığı	(kN/m ³)
γ_k	Zemin kuru birim hacim ağırlığı	(kN/m ³)
γ_{kmax}	Zemin maksimum kuru birim hacim ağırlığı	(kN/m ³)
τ	Kayma gerilmesi	(kN/m ²)
σ_z	Z derinliğindeki normal gerilme	(kN/m ²)
η	Temel şekline bağlı katsayı	(-)
η	Zemin donatı ara yüzey sürtünme katsayısı	(-)
ΔB	Donatı ilaveden dolayı temel genişliği artışı	(m)
Δq	Taşıma kapasitesi artışı	(kPa)

1. GİRİŞ

Küresel anlamda pek çok gelişmenin yaşandığı günümüzde, küreselleşmeyle birlikte ulaştırma sektörünün önemi de giderek artmaktadır. Ulaştırma ekonomik, toplumsal ve kültürel anlamda çok geniş etki alanlarına sahiptir. Ulaştırma sektöründe karayolu taşımacılığı, başlangıç ve varış noktaları arasında aktarmasız bir taşımaya imkan sağlaması, özellikle kısa mesafeli taşımalarda nispeten ucuz ve hızlı olması ile motorlu araçların keşfedilmesi ve çeşitliliğinin artmasıyla birlikte önemli bir noktaya gelmiştir.

Ülkemizde karayolu yapımı; bölgesel olarak, yerel yönetimler (Belediye ve Özel İdareler); genel olarak ise karayollarının planlanması, projelendirilmesi, yapımı, bakımı ve işletilmesinden sorumlu olan kurum Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yürütülmektedir.

Sürücüler, genellikle kara yollarından düzgün, konforlu, kayma direnci yüksek, hızlı erişimi sağlayan, ulaşım maliyetini düşüren ve gürültü düzeyi düşük yollar isterken; yolu yaptıran kişi veya kurumlar ise, daha çok dayanıklı, minimum bakım gerektiren, kalıcı deformasyona dirençli, aşınma direnci yüksek, hizmet ömrü uzun yolları hedeflemektedir.

Yüksek maliyetlerle inşa edilen ve ciddi bir kontrol ve bakım hizmetine ihtiyaç duyulan karayollarının, hizmet ömrünün hesaplanandan az olmaması ve ihtiyaçlara doğru cevap verebilmesi için, altyapı ve üst yapı sisteminin işlevini doğru bir şekilde yerine getirmesi gerekir. Bu da karayolu üst yapılarında oluşan bozulmaların etkenleri, bozulma tipleri ve alınacak önlemlerin gerçekçi şekilde göz önünde bulundurulması ve inşa aşamasında en az kusur ile imalatın gerçekleştirilmesi ile sağlanacaktır.

Ülkemizde yer alan yolların büyük bir kısmını esnek kaplamalar oluşturmaktadır. Esnek yol kaplamaları konusunda oluşan geniş bilgi birikimine rağmen, tasarım hatası, yapım hataları, bakım hataları, çevre ve iklim şartları ve trafik etkilerinden kaynaklanan sebeplerden dolayı; çatlaklar, oturmalar, bombelikler, çukurlar ve ayrışma, sökülme, soyulmalar gibi problemlerle sıklıkla karşılaşmaktadır. Taşıt tekerleklerinin yola değdiği bölümlerde, yol boyunca oluşan düşey kalıcı

deformasyonlar olarak tanımlanan tekerlek izi oluşumu (oluklanma), esnek yol üstyapılarında görülen önemli bozulma türlerinden biridir.



Şekil 1.1. Yol Boyu Oluşan Tekerlek İzi Örneği (İsfalt, 2002)

Bu bozulmaların önüne geçebilmek için hem ekonomik, hem de maksimum performans elde edilebilecek uygulamalar geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu tekniklerden biride, donatıların çeşitli şekillerde kullanımı ile tekerlek izi oluşumunun engellenmesidir. Donatılı zemin yönteminde amaç, zeminin taşıma gücünü artırmak, beklenen oturma ve deformasyonları azaltmaktır. Yapı malzemesi olarak zeminlerin kayma ve basınç dayanımı iyi olmasına karşın çekme dayanımı çok düşüktür. Donatılı zemin sistemlerinde, çekme dayanımı yüksek donatılarla basınç dayanımı yüksek zeminler birlikte dayanıklı ve rijit bir kompozit malzeme oluştururlar. Yöntem, 1970’li yıllardan itibaren tüm dünyada, özellikle dolgu ve dayanma yapılarında yaygın bir şekilde kullanılarak çok iyi sonuçlar alınmıştır. İlk yapılan çalışmalarda, donatı malzemesi olarak metal şerit veya çubuklar kullanılırken son yıllarda bu malzemelerin yerini geogrid ve geosel gibi geosentetik türü malzemeler almıştır.

Literatürde donatılı zeminlerle güçlendirilme konusunda yapılan çalışmalar deneysel ve teorik olarak iki grupta değerlendirilebilir. Deneysel çalışmalar, genellikle laboratuvar ortamında küçük veya orta ölçekli deney düzeneğinde statik yükleme

durumunda ve model temeller kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Biquet ve Lee, 1975a; Akinmusuru ve Akinbolade, 1981; Fragasz ve Lawton, 1984; Guido ve ark., 1986; Omar ve ark., 1993a; Omar ve ark., 1993b; Das ve ark., 1994; Adams ve Collin, 1997; Alawaji, 2000; Laman ve Yıldız, 2003). Bu çalışmalarda; ilk donatı tabakasının temel tabanına olan uzaklığı, donatı tabakaları arası derinlik, donatı tabaka sayısı, donatı boyu gibi donatı yerleşim düzeni ile ilgili parametrelerin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Gerek tasarım ve uygulamadaki kolaylıklar, gerekse donatı-zemin etkileşiminin daha efektif gerçekleşmesi nedeniyle deneysel çalışmalar daha çok kohezyonsuz zeminler üzerinde uygulanmıştır. Bu çalışmalarda, temel zemininin taşıma kapasitesinin donatı yerleşim düzenine bağlı olarak önemli ölçüde (2 – 4 kat civarında) arttığı bulunmuştur.

Yol yapımında geogrid kullanımı ise, 1970'lerde başlamış olup, daha sonraları, geogridle güçlendirilmiş yol uygulamalarının davranışını araştırmak için yapılan deneysel çalışmalar, genelde laboratuvar ortamında orta ölçekli deney düzenekleri kullanılarak yapılmış olup sınırlı sayıda arazi ortamında gerçek boyutlarda (prototip) yapılmış çalışma bulunmaktadır (Hass ve ark. 1988.; Al-Qadi ve ark., 1994; Perkins, 1999; Cancelli, ve Montanelli, 1999; Perkins, 2001; Perkins, 2002; Berg, ve ark., 2000; Wasage ve ark., 2004).

Bu tezin amacı, yumuşak zeminlere oturan esnek kaplamalı yollarda trafik yükleri sonrasında oluşan tekerlek izlerinin azaltılması için, geosentetik ile güçlendirme uygulamalarının faydalarını araştırmaktır. Tez kapsamında yumuşak zemin üzerine oturan temel/alttemel tabakası geosentetiklerle güçlendirilmiş yolların performansı gerçek trafik yüklemeleri altında tam ölçekli arazi deneyleri ile incelenmiştir. Ayrıca çalışmada statik ve tekrarlı plaka yüklemeleri gerçekleştirilerek geosentetik güçlendirmelerin yolun yük deformasyon davranışına etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak geosentetik güçlendirmenin teker izine ve yük deformasyon davranışına etkisi güçlendirmesiz durumlara göre kıyaslanarak sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Giriş

Karayolu yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir. Karayolu yapısı, görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından alt ve üst yapı olarak iki ayrı bölümde incelenebilir.

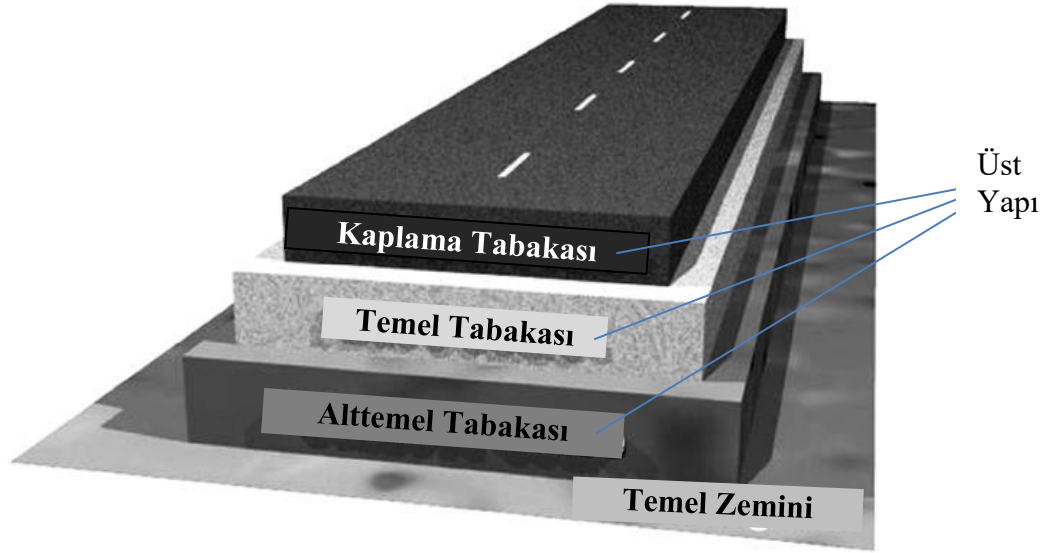
Altyapı, yapımı tamamlanmış bir karayolunda tesviye yüzeyiyle doğal zemin çizgisi arasındaki bölgedir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprakla oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerindeyse doğal zemindir. Ancak yarma kesimlerinde tesviye yüzeyini oluşturmak amacıyla yapılan dolgu çalışmaları da alt yapıya dahildir. Ayrıca köprü, viyadük, tünel, menfez ve istinat duvarı gibi yapılar da altyapı elemanı olarak kabul edilir.

Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa, yolu dış etkenlerden korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapı oluşturulurken bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkıştırmaya elverişli olmayan zeminler kullanılmamalıdır. Bu nedenle altyapıyı oluşturan zemin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir (Hanlı, 2009).

Trafik yüklerini taşımak ve doğacak gerilmeleri zemine dağıtmak üzere alt yapı üzerine granüler malzeme serilmesi ile elde edilen taşıyıcı tabakaya 'üst yapı' denir. Alttemel, temel ve kaplamalardan oluşan kısım tabakalı yol yapısıdır. Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit, yarı rijit ve esnek üstyapı olarak üç ana gruba ayrılmaktadır (Taşçı, 2010).

2.2 Karayolu Yapısı

Şekil 2.1’de örnek olarak bir kara yolu yapısının temel zemini, alttemel tabakası, temel tabakası ve kaplama tabakası kısımları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Karayolu Yapısı (Zornberg, 2011)

2.2.1 Taban zemini

Yol üstyapısı ve banketlerin oturduğu altyapı zeminin üst yüzeyi olan tesviye yüzeyi altında kalan, yarma veya dolgularda üstyapının taşıma gücüne etkisi olabilecek bir derinliğe kadar (25~85 cm) devam eden tabakadır. Üstyapı tabanı; sıkıştırılmış taban zemininden, kimyasal maddelerle stabilizasyon yapılmış taban zemini veya granüler malzemeden, kırma taş veya çakıl gibi doğal granüler malzemelerden oluşabilmektedir. Kullanılan malzeme çeşidi ne olursa olsun, kaplama ömrü boyunca olduğu gibi yapım sırasında da taban yeterli sertliğe sahip olmalıdır (Taşçı, 2010).

2.2.2 Alttemel tabakası

Alttemel, trafik yüklerinin taban üzerine yayılmasını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, ayrıca su ve don tesirlerine karşı direnimsizlik sağlamak tampon bölge görevi yapmak için tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır (Hanlı, 2009).

2.2.3 Temel tabakası

Temel tabakası, bağlayıcısız ya da bağlayıcı bir maddeyle işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi, üst yapının yük taşıma kabiliyetini arttırmaktır. Ayrıca, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır (Hanlı, 2009).

2.2.4 Kaplama tabakası

Yol üstyapı kaplaması; karayolu ulaştırmasında seyir halindeki taşıtlara düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırıcı etkilerine karşı koymak, yapıya sızan yüzeysel suları azaltmak ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini minimize etmek amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen yapıdır (Bağdatlı, 2010).

Esnek üstyapılar taban zemini üzerine serilmiş granüler alttemel ve temel tabakaları üzerine bitümlü kaplamaların serilmesi şeklinde inşa edilirler. Esnek üstyapı, tesviye sathı ile sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yolu ile tabii zemine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi faktörlere bağlıdır. Esnek üstyapı belirli özelliklere sahip malzemelerden oluşmuş bir seri tabakayı içerir. Tabaka kalınlıkları tabanın taşıma gücü ve trafik yüklerine bağlı olarak hesaplanır .(Taşçı, 2010).

2.3 Esnek Üst Yapıda Meydana Gelen Bozulmalar

Mühendislik açısından üstyapı bozulması, “üstyapının özgün fiziksel koşullarından herhangi bir şekilde sapması” olarak düşünülebilir. Bozulma bazen üstyapının doğasında var olan özelliklerin bir sonucu olarak belirir. Bazen de, tasarım yönteminin ve malzemelerin hatalı seçimleri bozulmaya yol açabilir (Hanlı, 2009). Genel olarak, esnek üstyapılardaki bozuklukların gruplandırılması şu şekildedir; a) Çatlaklar, oturmalar, bombelikler b) Çukurlar c) Ayrışma, sökülme ve soyulmadır.

Bir yolun hizmet ömrünü uzatmanın veya ekonomik ömrü içerisinde ondan ekonomik bir şekilde faydalanmanın tek çözümü, gerekli düzeyde devamlı bakım yaparken, yol üstyapısının dayanımını gerekirse onarım çabalarıyla yükseltmektir. Yol bozulmalarının giderilmesi, ancak bozulma nedenlerinin iyice anlaşılmasına bağlıdır. Aksi takdirde, nedeni anlaşılmayan veya yanlış anlaşılan bozuklukların bakım ve onarım hizmetleri, mevcut aksaklıkları gidermekten uzak kalacaktır. Yol sonsuz uzunlukta bir yapı olduğuna göre, yol boyunca bozulmaya etki eden faktörler devamlı değişim göstermekte, şartnamesine uygun inşa edilse de mevcut zemin yapısı, nem oranı, iklim, trafik miktarları, farklı dingil yükleri gibi faktörler yolu etkilemektedir. Böylece, sayısız aksaklıklar yüzeyde kendini gösterirken, kullanıcıları tarafından bu bozukluklar gözlenmekte ve kullanıcılar bunların giderilmesi konusunda kamuoyu ile baskı unsuru oluşturmaktadır. Genel olarak, yol üstyapısında meydana gelen bozulmalar, fonksiyonel bozulma ve yapısal bozulma olmak üzere iki türlü olarak tanımlanır. Fonksiyonel bozulmada, üstyapı için amaçlanan fonksiyonlar yavaş yavaş yerine getirilemez. Yapısal bozulma ise, üstyapı bileşenlerinin bir veya birkaçının kırılmasını, göçmesini veya bozulmasını belirtir. (Güzel, 2001).

2.3.1 Teker İzi Oluşumu

Kalıcı deformasyon, bitümlü sıcak karışım tabakası yüzey enkesitinin, tasarımdaki düzgün durumunu koruyamaması ve bozulmasıdır. BSK (bitümlü sıcak karışım) her yüklendiğinde küçük miktarlarda oluşan geri-dönümsüz deformasyonların toplamını sembolize ettiğinden “kalıcı” deformasyon olarak tanımlanır. Tekerlek izi oluşumu kalıcı deformasyonun en yaygın şeklidir (Hanlı, 2009).

Tekerlek izi oluşumu (oluklanma), esnek yol üstyapılarında görülen önemli bozulma türlerinden biridir. Taşıt tekerleklerinin yola değdiği bölümlerde, yol boyunca oluşan düşey kalıcı deformasyonlar olarak tanımlanır.

Asfalt betonu kaplamalardaki tekerlek izi derinliği, yük tekrar sayısı ile artar. Genellikle araç tekerleklerinin yola değdiği bölümlerde boyuna yönde çökmeler, kenarlarda ise küçük miktarlarda yükselmeler şeklinde görülür. Tekerlek izinde sıkışma ve kayma deformasyonunun önemli rolleri vardır. Tekerlek izinin ne kadarının sıkışmadan, ne kadarının kayma deformasyonundan kaynaklandığını belirlemek zordur. Bununla birlikte yüzeye yakın kısımlarda kayma deformasyonu daha önemli bir rol oynar. Kaplama yüzeyinden aşağıya inildikçe, kayma deformasyonu sıkışmaya göre önemini kaybeder (Kutluhan, 2008).

2.3.2 Teker İzi Oluşum Şekilleri

Farklı nedenlere bağlı olarak dört çeşit tekerlek izi oluşum şekli vardır. Bunlar; yapısal tekerlek izi, akma tekerlek izi ve yüzeysel tekerlek izi olan; aşınma tekerlek izi, oturma (konsolidasyon -sıkışma) tekerlek izidir (Kutluhan, 2008).

2.3.2.1 Yapısal Teker İzi

Bitümlü tabakanın altındaki (taban zemini dahil) bir veya daha fazla tabakanın kendi içlerindeki deformasyonlarının sonucudur. Bunun nedeni, yükten dolayı oluşan gerilmelerin malzeme dayanımını aşmasıdır. Bu durumda, tekerlek izinin etrafında kabarmalar oluşmaz (Şekil 2.2).

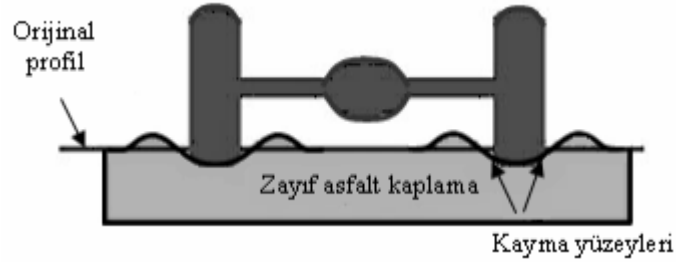
Bu tip tekerlek izi oluşumu genellikle gerçekteki trafik koşullarına uygun tasarlanmamış üstyapılarda görülür. Aynı zamanda uygun olmayan (düşük kaliteli) malzemenin kullanılmasından, malzemenin iyi sıkıştırılmamasından, kötü drenajdan, donma ve çözülme etkilerine karşı önlem alınmamasından da kaynaklanabilir (Kutluhan, 2008).



Şekil 2.2. Yapısal Tekerlek İzi (Kutluhan, 2008)

2.3.2.2 Akma Tekerlek İzi

Bitümlü tabaka veya tabakaların kendi içlerindeki deformasyonların sonucudur. Bunun nedeni, yükten dolayı oluşan gerilmelerin bitümlü malzemenin dayanımını aşmasıdır. Tekerlek izi etrafında kabarmalar oluşur. Akma tekerlek izi, en çok, çıkış eğimli kesimlerde, kavşak yaklaşımlarında ve kurbalarda, yani ağır taşıtların hızlarını azalttığı kesimlerde ve lastik ile kaplama arasındaki değme alanında ortaya çıkan teğetsel gerilmelerin yüksek olduğu kesimlerde oluşur (Şekil 2.3). Bu tip tekerlek izi oluşumunda etkili faktörler, bitümlü karışımdaki bileşenlerin özellikleri ve karışım oranlarıdır (Kutluhan, 2008).



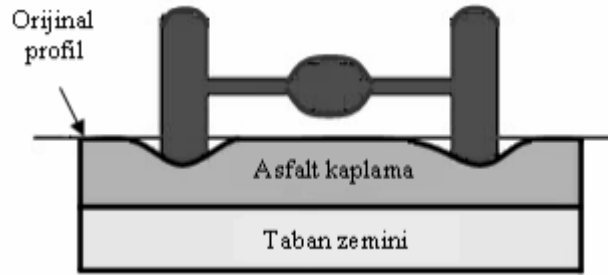
Şekil 2.3. Akma Tekerlek İzi (Kutluhan, 2008)

2.3.2.3 Aşınma Teker İzi

Yüzeysel tekerlek izi tiplerinden olan aşınma tekerlek izi, kışın çivili tekerleklerin kullanılmasından dolayı, yüzeydeki agregaların aşınması nedeniyle oluşur (Şekil 2.4). Özellikle çivili tekerleklerin kullanıldığı kuzey Avrupa ülkelerinde görülmektedir. Bu tip tekerlek izinde göz önüne alınacak parametre agrega sertliğidir (Kutluhan, 2008).

2.3.2.4 Oturma (Konsolidasyon – Sıkışma) Teker İzi

Dördüncü tip, oturma nedeniyle oluşan tekerlek izidir. Bu da yüzeysel tekerlek izi sınıfına girer. Aşınma tekerlek iziyle aynı şekle sahiptir (Şekil 2.4). Kaplama yapımı sırasındaki sıkıştırmanın yetersizliği nedeniyle oluşur. Yetersiz sıkıştırılmış bir karışım, özellikle sıcak havalarda, duran veya yavaş hareket eden trafiğin mevcut olduğu kavşaklarda, trafik etkisiyle oturmaya eğilimlidir. Bu tip tekerlek izinde kenarlarda kabarma oluşmaz (Kutluhan, 2008).



Şekil 2.4. Aşınma ve Oturma Tekerlek İzi (Kutluhan, 2008)

2.3.3 Teker İzi Oluşum Nedenleri ve Etkileri

Saeed 2008’de yaptığı çalışmada teker izi oluşumunu etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralamıştır.

- Düşük kayma mukavemetine sahip temel ve/veya zemin tabakası
- Temel tabakasındaki malzemenin yoğunluğunun düşük olması
- Temel tabakası gradasyonunun yetersiz olması

- Temel tabakasının fazla ince dane içermesi
- Temel tabakasının fazla su içeriğine sahip olması
- Temel tabakasındaki malzemenin köşeliliğinin ve yüzey pürüzlülüğünün yetersiz olması
- Donma erime ve tekrarlı yük döngülerinin oluşturduğu bozukluklar

İz ve oluklar, aşağıdaki olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olurlar.

a. Suların toplanmasıyla, su yastığı oluşumu, kayma tehlikesinin artması ve soğuk havalarda ince buz tabakalarının oluşması, tekerlek izi oluşumu, yolu kullananlar için de ciddi bir güvenlik meselesidir. Su tekerlek izlerinde biriktiğinde, su yastığı olayı için potansiyel oluşturur. Su yastığı olayı, kaplama ile lastik arasında ince bir su tabakası oluşması ve bunun neticesinde lastiğin yüzeyle temasını kaybetmesidir. Bu olay direksiyon hâkimiyetinin kaybedilmesiyle sonuçlanabilir. Aynı şekilde şerit değiştirme durumunda da aynı sorun yaşanabilmektedir.

b. Seyir konforunun düşmesiyle birlikte, şerit değiştirmek isteyen hızlı araçlar için tehlike oluşması (Şengül, 2006).

2.3.4 Teker İzinin Sınıflandırılması

Tekerlek izi derinliğini belirlemek için 1.2 m veya 1.8 m uzunluğunda düz bir master kullanılır. Bu master, gidiş yönüne dik olarak, tekerlek izi üzerine enlemesine yerleştirilir ve maksimum derinlik ölçülür yada yol yüzeyinin enine profilini çıkaran cihazlar kullanılarak tekerlek izi derinliği belirlenebilir. AASHTO'ya göre tekerlek izi sınıflandırması Çizelge 2.1'de görülmektedir (Kutluhan, 2008).

Çizelge 2.1. Teker İzinin Sınıflandırması (AASHTO, 1986)

Teker İzi Sınıfı	Ortalama Teker İzi Derinliği
Düşük	¼- ½ inç (6- 13 mm)
Orta	½ inç (13-25 mm)
Yüksek	1 inç (> 25 mm)

2.4 Geosentetiklerle Güçlendirme

2.4.1 Geosentetikler

Geosentetik, Amerikan standartlarında (ASTM -American Society for Testing and Materials): “Bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan, polimerik malzemelerden üretilen düzlemsel ürün” olarak tanımlanmıştır.

Geosentetikler genelde; Poliyamid (PA), Poliester (PET), Polietilen (PE), Polivinilklorid (PVC) gibi polimerlerden oluşturulmaktadır. Bu polimerler işlem sırasında, sürekli lifler (flamentler), 50 – 150 mm boylarında kesilmiş kısa lifler ve değişik boyutlarda kesilmiş film (bant) parçacıkları şekillerine getirilirler. Lif haline geldikten sonra farklı yöntemler ile birleştirilerek geosentetikler oluşturulur (Koerner, 1998). Polimerlerin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Polimerlerin Bazı Fiziksel Özellikleri (Koerner, 1998)

Polimer Tipi	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Kopmada deformasyon Yüzdesi (%)
PET	1380	800-1200	12000-18000	8-15
PP	900	400-600	2000-5000	10-40
LPDE	920	80-250	200-1200	20-80
HPDE	950	350-600	600-6000	10-45
PA	1140	700-900	3000-4000	15-30
PVC	1250	20-50	10-100	50-150

2.4.2 Geosentetiklerin Sınıflandırılması

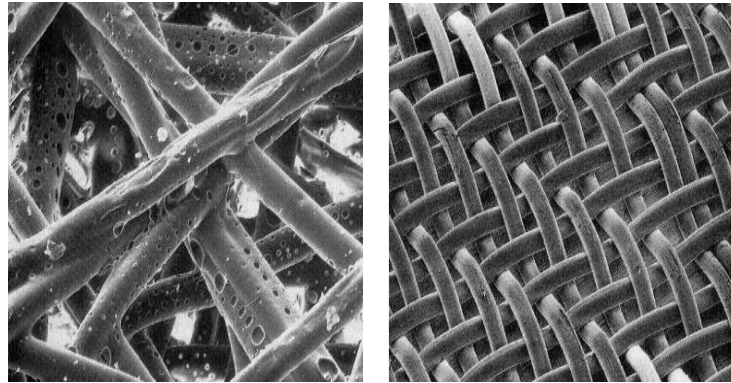
Geosentetik malzemeler literatürde sıkça; geotekstilller, geogridler, geonetler, geomembranlar, geosentetik kil kaplamalar, geoborular, geokompozitler, geofoamlar (geoköpük), geotüpler, geohücreler (geocelller) ve geo diğerleri olarak sınıflandırılmaktadırlar (Erbil, 2009). Bu çalışmada kullanılan geosentetik türleri

geotekstil, geogrid ve geocell olduğu için bu tip geosentetikler daha detaylı incelenmiştir.

2.4.2.1 Geotekstilller

Amerikan standartlarında (ASTM -American Society for Testing and Materials): “bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğerk geoteknik mühendisliğı ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünü” olarak tanımlanmıştır.

İki veya daha fazla iplik dizisinin düzgün açılarla, geleneksel dokuma yöntemleri kullanılarak birleştirilmesiyle elde edilen örgülü geotekstil ve polimer ipliklerin belli bir yönde yada rastgele doğrultuda, gevşek ağ yapısı şeklinde birleştirilmesiyle elde örgüsüz geotekstil olmak üzere iki çeşit geotekstil mevcuttur (Sağlam, 2009). Şekil 2.5'te örgüsüz ve örgülü geotekstil örnekleri gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 2.5. (a) Örgüsüz Geotekstil (b) Örgülü Geotekstil (Ingold ve Miller, 1988)

2.4.2.2 Geogridler

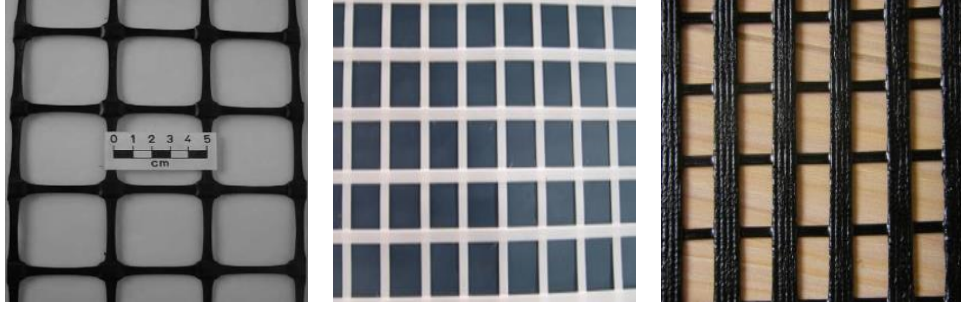
Hammadde olarak kullanılan polimer malzemelerin elde edilmesi yönündeki yöntemlerde meydana gelen gelişmeler, bu malzemelerin donatı olarak kullanılmasını sağlamıştır. Geogridler zeminin geçmesine izin verecek kadar genişlikte enleme ve boylamasına yer alan şeritlerden oluşmaktadır. Bu şeritler arasına sıkışan zemin ile donatı kenetlenir. Bu durum yükün uygulandığı boyuna şeritleri dik kesen enine şeritlerde bir pasif dayanım ve zahiri bir kohezyon oluşturur (Koerner, 1998).

Geogridler üretilme durumlarına göre; ekstrüde, kaynaklı ve örgülü geogrid olmak üzere, üçe ayrılır. Çekme dayanımı ve bileşim yerlerindeki kopma dayanımı, geogridlerin en önemli özelliği olup, bu özellikler üretim şekline göre önemli ölçüde değişmektedir (Karagül, 2007).

Eksidüre geogridler, büyük ölçekli polietilen ya da polipropilen plakalar (levhalar) üzerine düzenli bir şekilde kalıplar yardımıyla delikler açılarak ve yüksek sıcaklıktaki fırın ya da suyun içinde tek yönde veya çift yönde çekilerek dayanım kazandırılarak üretilirler. Bu üretim yönteminde bağlantı noktaları kendiliğinden oluşur ve herhangi bir ek yeri bulunmaz. Bağlantı noktaları kendiliğinden oluştuğu için diğer üretim yöntemlerine göre mukavemeti fazla geogridler üretilebilir (Karagül, 2007).

Kaynaklı geogridler, çeşitli polimerlerden istenilen çekme dayanımına ve genişliğe sahip olacak şekilde önceden imal edilen şeritlerin, kimyasal reçine, lazer veya ısı gibi yöntemlerle birleştirilmesi ile üretilirler. En önemli üstünlüğü, imalat tezgâhında bir kaç basit ayarlama yapılarak istenilen göz açıklığına ve şekline sahip geogrid üretiminin mümkün olması; en zayıf yönü ise, bağlantı noktası dayanımının şeridin kendi dayanımından daha düşük olabilmesidir (Çiçek, 2014).

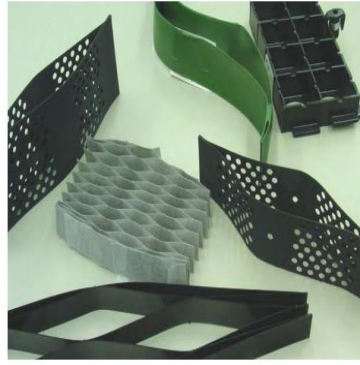
Örgülü geogridler, genellikle polyester hammaddesine sahip olan ipliklerin dokuma makineleri ile dokunmasıyla üretilen geogridlerdir. İstenen mukavemete göre polyester iplik sayısı iki yönde de değişebilir. Bu yöntemle üretilen geogridlerin, bağlantı noktalarındaki mukavemeti, ekstrüde sistemdeki kadar yüksek değildir (Karagül, 2007). Şekil 2.6'da ekstrüde, kaynaklı ve örgülü geogrid örnekleri verilmiştir.



(a) (b) (c)
Şekil 2.6. (a) Ekstrüde Geogrid (Shukla ve Yin, 2006) (b) Kaynaklı Geogrid (c) Örgülü Geogrid (Çiçek, C., 2014).

2.4.2.3 Geoceller

Geoceller, şerit şeklinde üretilen geotekstillerin veya polimer tabakaların, birbirlerinin üstüne çapraz şekilde yerleştirilip, kesişim noktalarından birbirlerine sabitlenmesi ile oluşturulan üç boyutlu petek şeklindeki geosentetiklerdir. Hücrelerinin içine zemin kaya veya beton gibi dolgu malzemelerinin doldurulması ile kullanılırlar. Şekil 2.7’de bazı geocell örnekleri gösterilmiştir.



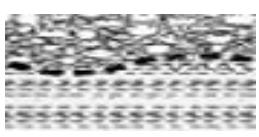
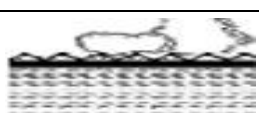

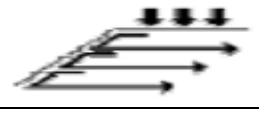
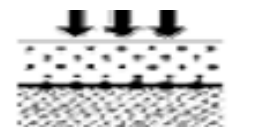


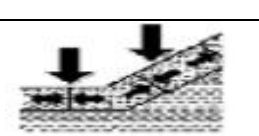


Şekil 2.7. Geocell Örnekleri

2.4.3 Geosentetiklerin Fonksiyonları

İnşaat mühendisliği uygulamalarında geosentetikler genellikle türlerine göre filtrasyon, drenaj, ayırma, koruma, geçirimsizlik, donatılı duvar ve zemin iyileştirmesi gibi fonksiyonların bir veya birkaçını yerine getirmek için kullanılırlar. Çizelge 2.3’de geosentetiklerin fonksiyonlarına göre kullanım alanları verilmektedir.

Çizelge 2.3. Fonksiyonlarına Göre Geosentetikler (Karagül, 2007).

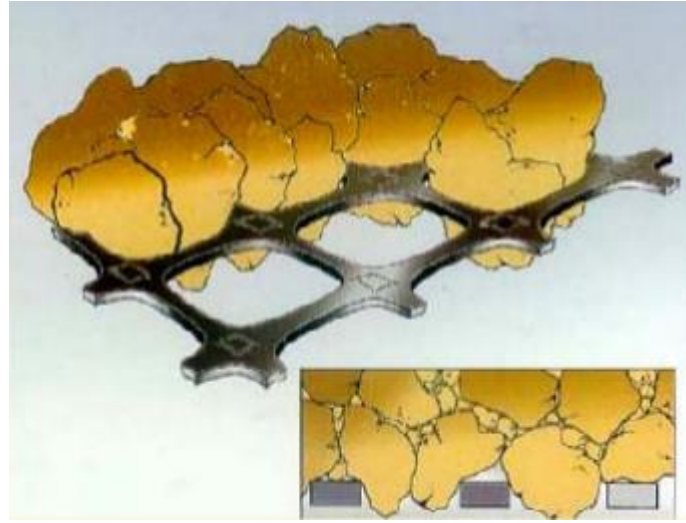
FONKSİYON		ÇEŞİT	TANIM
Filtrasyon		Geokompozit Örgüsüz geotekstil	Sıvı geçişine izin verip zemin danelerini geçirmemek
Drenaj		Geonet Geokompozit	Sıvının taşınması.
Ayırma		Geotekstil Geokompozit	İki malzeme yada zeminin karışmasını engellemek
Koruma		Örgüsüz Geotekstil Geonet Geokompozit	Yapının zarar görmesini önlemek.
Geçirimsizlik		Geomembran Geokompozitler	Sıvı bariyeri.
Donatılı Duvar		Tek Yönlü Geogrid Örgülü Geotekstiller	Zemine gelecek çekme kuvvetini karşılamak.
Zemin İyileştirme		Çift Yönlü Geogrid Örgülü Geotekstil Geokompozit, Geocell	Taşıma gücünü arttırmak.
Asfalt ve Beton Donatısı		Çift Yönlü Geogrid	Gelebilecek çekme kuvvetini karşılamak.
Erozyon Kontrolü ve Yüzey Stabilitesi		Geomat Geohücre Biomat Bionet	Doğal olaylardan dolayı zeminin taşınmasını ve ayrılmasını önlemek.
Sınırlama		Geohücre	Zemin kütlelerinin yanal hareketlerini önlemek.

2.4.4 Geosentetiklerin Güçlendirme Mekanizmaları

Donatılı zeminler, son yıllarda gittikçe önem kazanan zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Özellikle, baraj, dolgu, şev, istinad duvarları gibi geoteknik uygulamalarda geosentetik malzemeler, güçlendirme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yumuşak zeminler üzerine inşa edilecek yol alt temel zemini ile temel zemini içerisinde donatılı zemin tabakası oluşturmak suretiyle temel zemininin

taşıma kapasitesi önemli ölçüde artabilmekte, membran etkisiyle oturma miktarının ve yanal deformasyonların azaltılması ile de yol kaplamasının performansı önemli ölçüde iyileşebilmektedir. Donatılı zemin uygulamasında, dolgu malzemesi temel altına kontrollü bir şekilde sıkıştırılarak serilirken, dolgu malzemesi arasına bir veya daha fazla geosentetik donatı tabakaları yerleştirilmek suretiyle temel altında dayanıklı ve rijit bir kompozit malzeme oluşturulabilmektedir.

Geosentetiklerin temel işlevleri; ayırma, filtrasyon, güçlendirme, drenaj, koruma ve yalıtım olarak sayılabilir. Güçlendirme amaçlı olarak genellikle geogridler kullanılmaktadır. Geogridler, metallere göre daha düşük rijitliğe sahip olmasına karşın, zemin ile daha efektif çalışarak daha iyi performans gösterirler. Geogridler, özellikle metal donatılara oranla daha yüksek donatı-zemin sürtünme katsayısına sahiptirler ve ızgara şeklindeki açıklıkları sayesinde zemin ile arasında oluşan kenetlenme etkisiyle donatılı zemin uygulamalarında daha efektif davranırlar (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Geogrid-Zemin Kenetlenmesi (Kocaer, 2011)

Geogrid donatılı zeminde kayma direnci artmaktadır. Donatı-zemin sistemindeki kayma direnci, geogrid boşluklarına giren zemin taneleri ile donatı arasında oluşan kayma direnci ve geogrid boşluklarına giren zemin tanelerinin kendi arasında oluşan kayma direncinden oluşmaktadır. Geogridlerin; sertlik, birim şekil değiştirme oranı, geometri, uygulanan normal basınçlar ve zemin özellikleri gibi farklı parametrelerinin kayma mukavemeti üzerinde önemli etkilerinin olduğu bilinmektedir (Kocaer, 2011).

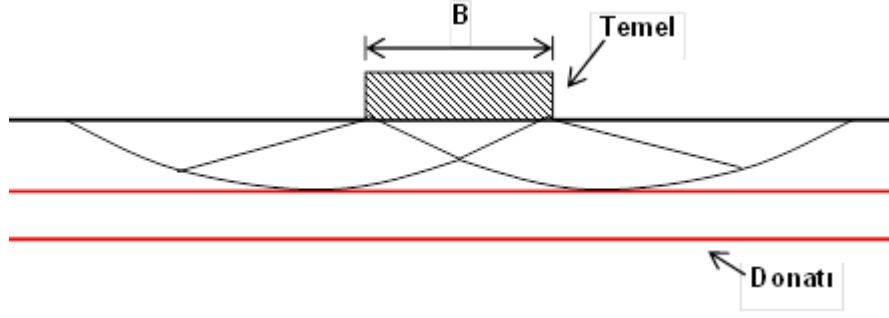
Rijit taban etkisi: Rijit taban etkisi ilk olarak, Binquet ve Lee (1975b) tarafından tanımlanmıştır. Bu yöntemde, ilk donatı derinliğinin (u) belli bir değerden büyük olması durumunda donatı, etki bölgesini sınırlamakta ve zemin donatı sistemi, rijit bir taban gibi davranmaktadır. Bu konuda bir çok araştırmacı tarafından yapılan deneysel çalışmalarda da (Akinmusuru ve Akinbolade, 1981; Mandal ve Sah, 1992; Khing ve ark., 1993; Omar ve ark., 1993b; Ghosh ve ark., 2005) benzer davranışlar gözlenmiştir (Şekil 2.10a).

Membran Etkisi: Bu yaklaşımda, yük uygulandığında, temel ve temel zemini aşağı doğru hareket etmekte, böylece geogrid donatının deforme olduğu görülmektedir. Geogrid donatının rijitliğine bağlı olarak Geogrid donatı da yükü karşılamaya çalışarak temele doğru bir kuvvet oluşturacaktır. Bu tür bir mekanizmanın oluşabilmesi için belli bir oturma değerine ulaşılması ve donatıda herhangi bir kopma ve çekme olmaması için donatının belli bir uzunlukta ve rijitlikte olması gerekmektedir. Bu konuda yapılan benzer çalışmalarda (Kumar ve Saran 2003) bu yöntem güçlendirilmiş kum zeminlere oturan kare temeller için de uygulanmıştır (Şekil 2.10b).

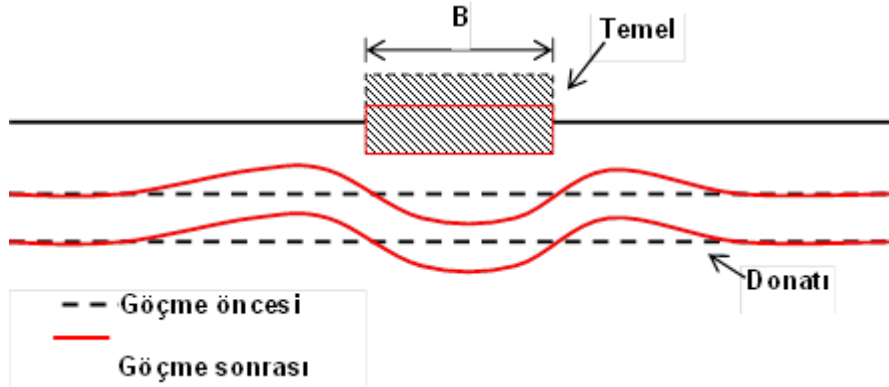
Sınırlandırma Etkisi: Zemin ve geogrid donatı arasındaki yer değiştirmeden dolayı zemin-donatı ara yüzeyinde sürtünme kuvveti oluşmak, böylece zemin-donatı arasında bir kenetlenme etkisi de meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, donatı ile güçlendirilmiş zeminde yanal deformasyon veya potansiyel çekme gerilmesi sınırlandırılmaktadır. Zeminlerde, yanal olarak sınırlama arttıkça zeminlerin rijitlik modülleri, dolayısıyla da basınç mukavemetleri artmaktadır. Bu durumda zeminin taşıma kapasitesinin artmasına neden olmaktadır. Bu yaklaşım, Huang ve Tatsuoka (1990) tarafından temel genişliğinin (B) ve geogrid donatı boyuna (L) eşit alınarak güçlendirildiği kum zeminlerde yapılan deneysel çalışmalarda başarıyla doğrulanmıştır. Michalowski (2004) tarafından bu mekanizma, donatı ile güçlendirilen zeminlerin limit analizinde ve güçlendirilmiş zeminlere oturan şerit temellerin nihai taşıma kapasitelerini hesaplayan bir formülasyon elde edilmesinde kullanılmıştır (Şekil 2.10c).

Belirtilen göçme mekanizmalarına dayanarak geliştirilen yöntemler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

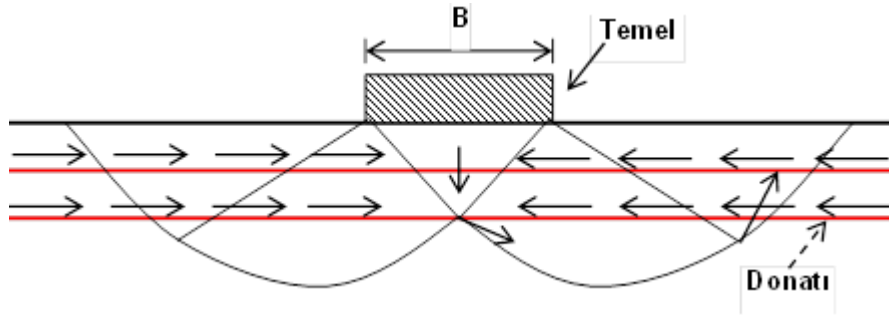
- ✚ Binquet ve Lee Yöntemi,
- ✚ Huang ve Tatsuoka Yöntemi,
- ✚ Huang ve Menq Yöntemi,
- ✚ Wayne ve ark. Yöntemi ve
- ✚ Michalowski Yöntemi



a) Rijit sınır etkisi



b) Membran etkisi



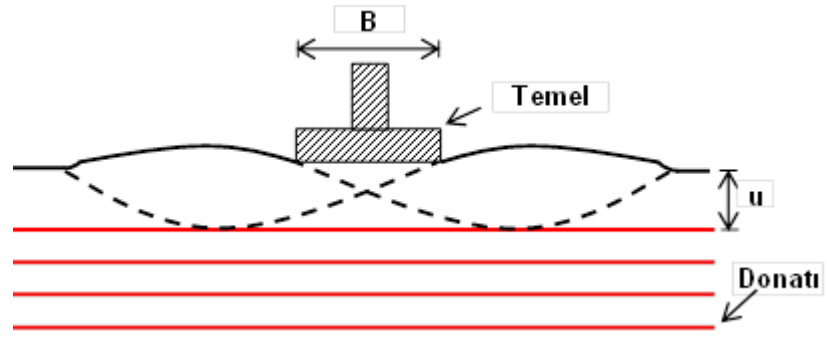
c) Sınırlandırma etkisi

Şekil 2.10. Donatılandırma Mekanizmaları (Chen, 2007)

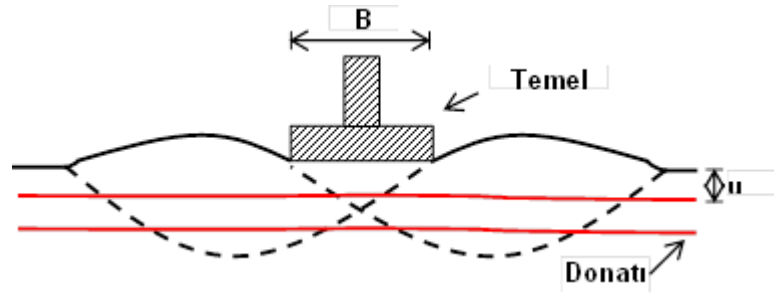
2.5.1 Binquet ve Lee (1975b) Yöntemi

Binquet ve Lee (1975b), küçük ölçekli model deneylerden elde edilen sonuçları değerlendirerek, geogrid donatı yerleşim düzeni ve rijitliğini esas alan üç farklı göçme mekanizması tanımlamışlardır. Birinci tür mekanizmada, ilk donatı derinliğinin $u > 2B/3$ olması durumunda göçme bölgesi geogrid donatının üzerinde meydana gelmektedir (Şekil 2.11a). İkinci tür mekanizmada, ilk donatı derinliğinin $u < 2B/3$, donatı sayısının $N < 3$ olması veya donatı boyunun oldukça kısa olması durumlarında donatı sünmesi gözlenmektedir (Şekil 2.11b). Üçüncü tür mekanizmada ise, ilk donatı derinliğinin $u < 2B/3$, donatı sayısının $N > 4$ ve donatı boyunun fazla olması durumlarında donatı kopması gözlenmektedir (Şekil 2.11c).

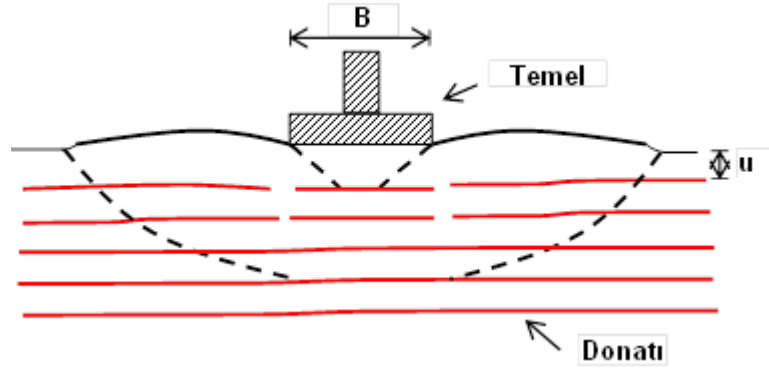
Donatı sünmesi veya kopması esas alınarak Binquet ve Lee (1975b) tarafından kum zemine oturan şerit temeller için bir tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Binquet ve Lee yöntemine göre zemin içindeki gerilme dağılımları zemin türünden bağımsızdır (Şekil 2.12).



a) Göçmenin Donatıların Üzerinde Oluşması Hali ($u/B > 2/3$)

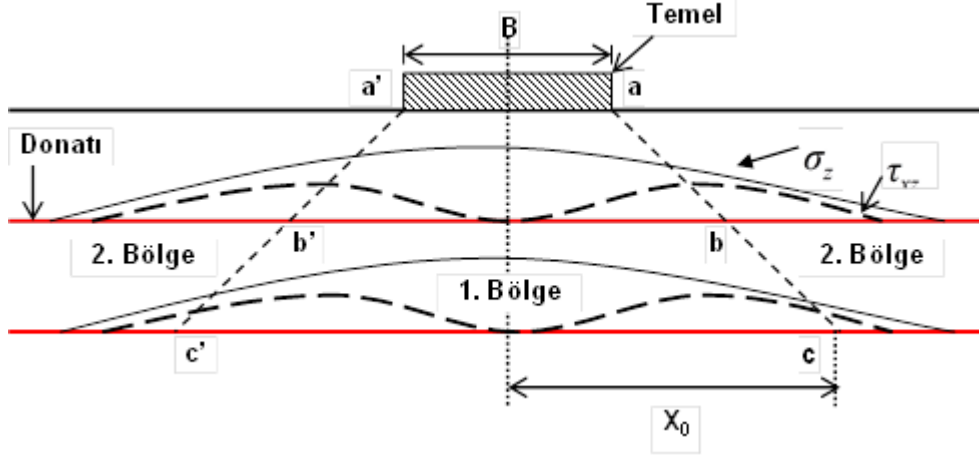


b) $u/B < 2/3$ ve $N < 3$ veya kısa donatı; donatı sünmesi



c) $u/B < 2/3$, $N > 4$ ve uzun donatı; donatı kopması

Şekil 2.11. Göçme mekanizmaları (Binqet ve Lee, 1975b)



Şekil 2.12. Şerit Temel Altında Gerilme Dağılımları ve Göçme Mekanizması

Göçme sonrası sınır noktaları üzerinde donatının şekli Şekil 2.13b’de sunulmaktadır. Donatısız durumda zemin içinde ABCD elemanı için kuvvet denklemleri aşağıdaki gibidir (Şekil 2.13a).

$$F_t - F_b - S = 0 \quad (2.11)$$

burada F_t ve F_b sırasıyla ABCD elemanının üst ve alt yüzeylerindeki düşey normal kuvvetlerdir. S ise, ABCD elemanının yan yüzeylerine etkiyen kesme kuvvetidir. Donatılı zemin durumunda (Şekil 2.13b) ise kuvvet denge denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$F_{tr} - F_{br} - S_r - T_t = 0 \quad (2.12)$$

burada F_{tr} ve F_{br} sırasıyla ABCD elemanının üst ve alt yüzeylerine etkiyen düşey normal kuvvetlerdir. S_r , ABCD elemanının yan yüzeyine etkiyen kesme gerilmesi, T_t ise, donatıda meydana gelen kuvettir. Aynı oturma oranlarında ($F_b = F_{br}$);

$$T_t = F_{tr} - F_t - S_r + S \quad (2.13)$$

Boussinesq denklemi kullanılarak Binquet ve Lee (1975b) tarafından herhangi bir z derinliğinde donatıda meydana gelen kuvvet (T_t) için aşağıdaki denklem önerilmiştir.

$$T_t(z, N) = \frac{1}{N} \left[J\left(\frac{z}{B}\right)B - I\left(\frac{z}{B}\right)h \right] q_0 \left(\frac{q_r}{q_0} - 1 \right) \quad (2.14)$$

burada z donatı derinliği, N donatı sayısı, h donatılar arası mesafe, B temel genişliği, q_0 donatısız durumda taban basıncı, q_r donatılı durumda taban basıncı, I ve J ise aşağıdaki gibi hesaplanan boyutsuz kuvvetlerdir.

$$J\left(\frac{z}{B}\right) = \frac{\int_0^{X_0} \sigma_z\left(\frac{z}{B}\right) dx}{q_r B} \quad I\left(\frac{z}{B}\right) = \frac{\tau_{xz \max}\left(\frac{z}{B}\right)}{q_r} \quad (2.15)$$

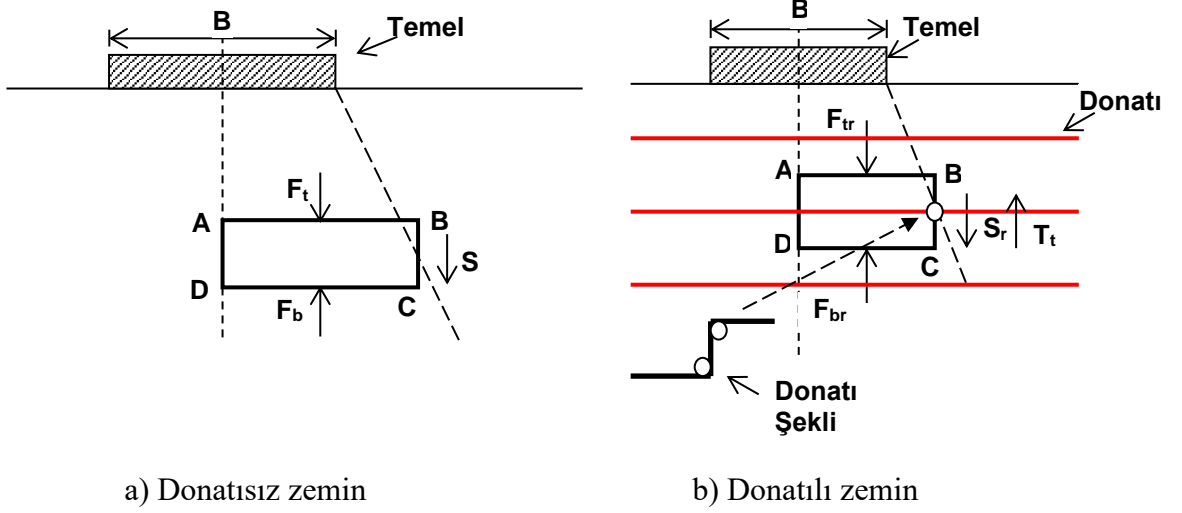
burada X_0 , τ_{xz} 'nin maksimum olduğu noktaya olan mesafe, σ_z , z derinliğindeki düşey gerilme ve $\tau_{xz \max}$ ise z derinliğindeki maksimum kayma gerilmesidir. Binquet ve Lee (1975b) tarafından donatıya ait müsaade edilebilir çekme dayanımı R_y ve kopma dayanımı T_f aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$R_y = \frac{w \times N_r \times t \times f_y}{FS_y} \quad (2.16)$$

$$T_f(z) = 2f \cdot LDR \left[M\left(\frac{z}{B}\right)Bq_0\left(\frac{q_r}{q_0}\right) + \gamma(L_0 - X_0)(z + D) \right] \quad (2.17)$$

burada w tek bir donatının genişliği, t tek bir donatının kalınlığı, N_r şerit temelin birim uzunluğundaki donatı sayısıdır. w ve N_r donatının lineer yoğunluğu (LDR) olarak tanımlanmaktadır. f_y donatının akma yada kopma dayanımı, FS_y donatı

kopmasına karşı güvenlik sayısıdır. f , $(\tan \phi_f / FS_f)$ eşitliği ile tanımlanan müsaade edilebilir zemin-donatı sürtünme katsayısıdır. ϕ_f zemin-donatı arasındaki sürtünme açısı, FS_f çekmeye karşı güvenlik sayısı ve M ise boyutsuz kuvvettir.



Şekil 2.13. Donatısız ve Donatılı Zeminde Kuvvet Bileşenleri (Binquet ve Lee, 1975b)

2.5.2 Huang ve Tatsuoka (1990) Yöntemi

Huang ve Tatsuoka (1990), donatılı kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma gücünü araştırmak amacıyla yapılan laboratuvar deney sonuçlarını esas alarak donatılı zeminlere ait iki farklı göçme mekanizması tanımlamışlardır. Birinci tür mekanizmada, donatılandırılmış bölge altında yer alan donatısız bölgede yerel göçme meydana gelmektedir (Şekil 2.14a). İkinci tür mekanizmada ise, donatılandırılmış bölge içerisinde yerel göçme meydana gelmektedir (Şekil 2.14b).

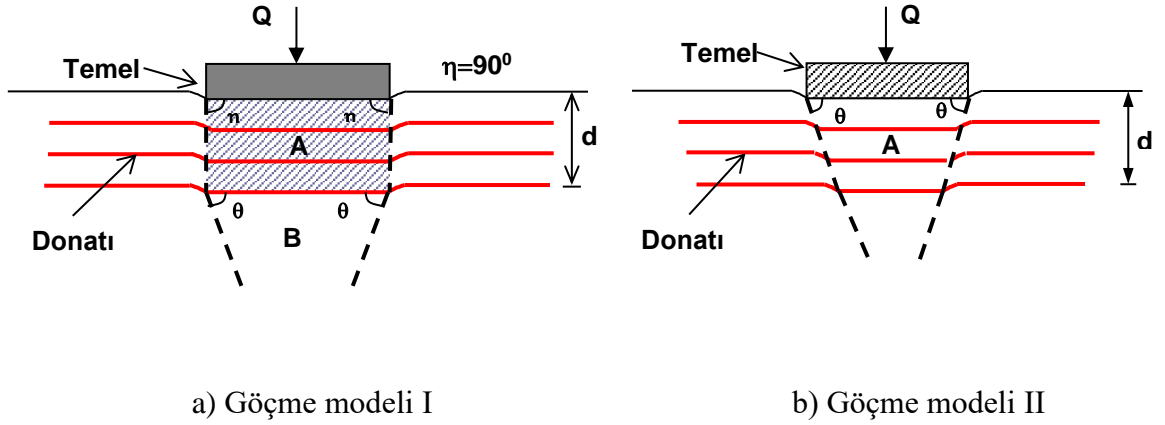
Birinci tür göçme mekanizması için taşıma kapasitesi artışı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\Delta q = K_p^2 \gamma_d \left[\frac{2d + b + 2s_2}{2} - \frac{c + s_1}{2} \right] + \frac{2 \left[\sum_{i=1}^N T_{t,i} \tan \phi N_i \right]}{B} \quad (2.18)$$

İkinci tür göçme mekanizması için ise, taşıma kapasitesi artışı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\Delta q = K_p \frac{\left[\sum_{i=1}^N T_{tav,i} N_i \right]}{d} \quad (2.19)$$

burada $K_p = \tan^2 (45^\circ + \varphi/2)$ 'dir. φ , kum zemine ait $\delta = 90^\circ$ durumunda düzlem birim deformasyon koşullarındaki basınç (PSC) deneyinde elde edilen içsel sürtünme açısıdır.



Şekil 2.14. Donatılı Kum Zeminde Göçme Mekanizmaları

2.5.3 Huang ve Menq (1997) Yöntemi

Huang ve Menq (1997), Schlosser ve ark. (1983) tarafından önerilen göçme mekanizmasını esas alarak, donatı ile güçlendirilen zeminlerde göçme mekanizması önermişlerdir (Şekil 2.15). Bu göçme mekanizmasına göre derin temel ve geniş taban etkisi olmak üzere iki tane donatılendirme etkisi taşıma kapasitesi artışına katkıda bulunmaktadır. Bu göçme mekanizması, donatılendirilmiş zemine oturan temelin taşıma kapasitesinin (temel genişliği, B) donatısız zemin durumunda d derinliğinde (toplam donatı derinliği) daha geniş bir temel durumunda (genişlik $B + \Delta B$) elde edilen taşıma gücüne eşit olduğu esasına dayanmaktadır.

Donatısız durum için,

$$q_{u(\text{unreinforced}, D_f=0)} = \eta \times \gamma \times B \times N_\gamma \quad (2.20)$$

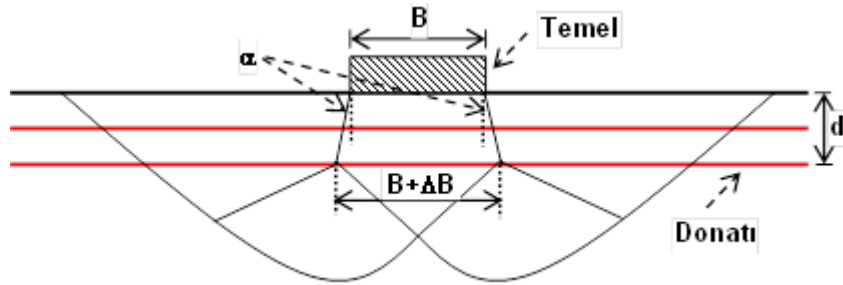
Donatılı durum için ise,

$$q_{u(R)} = q_{u(\text{unreinforced}, D_f=d)} = \eta \times \gamma \times (B + \Delta B) \times N_\gamma + d \times N_q \quad (2.21)$$

burada $q_{u(\text{unreinforced}, D_f=0)}$ temelin zemin yüzeyinde olması koşuluyla donatısız durum için nihai taşıma kapasitesi, $q_{u(R)}$ ise donatılı zemin durumunda elde edilen nihai taşıma kapasitesidir. D_f temel gömülme derinliği, η temel şekline bağlı bir katsayı, γ zemine ait kuru birim hacim ağırlığı, B temel genişliği, N_γ , N_q taşıma gücü faktörleri, d toplam donatı derinliği, ΔB donatı ilavesinden dolayı temel genişliği artışı ($(2xd) \tan \alpha$), α geniş taban etkisinden dolayı gerilme dağılımı açısıdır (Şekil 2.15). Farklı araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalara ait veriler esas alınarak Huang ve Menq (1997) tarafından regresyon analizi yapılmış ve gerilme dağılımı açısını (α) bulmak için aşağıdaki eşitlik tanımlanmıştır.

$$\tan \alpha = 0.680 - 2.071 h/B + 0.743 CR + 0.03 l/B + 0.076 N \quad (2.22)$$

burada h donatılar arası mesafe, l donatı uzunluğu, N donatı sayısı, CR ise donatı kaplama oranıdır. Donatı kaplama oranı, donatı alanının donatılandırılmamış zemin alanına oranına eşittir.



Şekil 2.15. Donatılı Zemin Sisteminde Göçme Mekanizması

2.5.4 Wayne ve ark. (1998) Yöntemi

Wayne ve ark. (1998) tarafından donatı ile güçlendirilmiş temel zeminleri için 4 farklı göçme mekanizması önerilmiştir (Şekil 2.16). Önerilen göçme mekanizmaları, donatı yerleşim düzeni ve zemin türüne göre değişiklik göstermektedir.

İlk donatı derinliğinin (u) belli bir değerden büyük olması durumunda donatı rijit bir sınır gibi davranmakta ve göçme bu donatının üzerinde meydana gelmektedir (Şekil 2.16a). Bu tür bir göçmeyi önlemek için donatı temele yakın mesafeye yerleştirilmelidir.

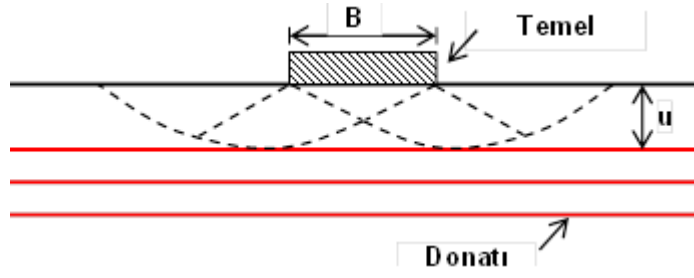
Donatılar arası mesafenin (h) büyük olması durumunda göçme donatılar arasında meydana gelmektedir (Şekil 2.16b). Bu tür bir göçme donatılar arasında uygun bir aralık bırakılmasıyla engellenebilmektedir.

Donatının yeteri kadar uzun olmadığı ve donatılandırılmamış bölgenin çok rijit olduğu durumda donatılandırılmış bölge boyunca zımbalama göçmesi meydana gelmektedir (Şekil 2.16c). Bu tür bir göçmede donatılandırılmış kütle rijit bir derin temel ve donatılandırılmış bölge kalınlığı da temelin gömülme derinliği olarak kabul edilmektedir. Donatılandırılmış temel zemininde taşıma gücü, Vesic (1973) gibi araştırmacılar tarafından sunulan klasik taşıma gücü formülleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

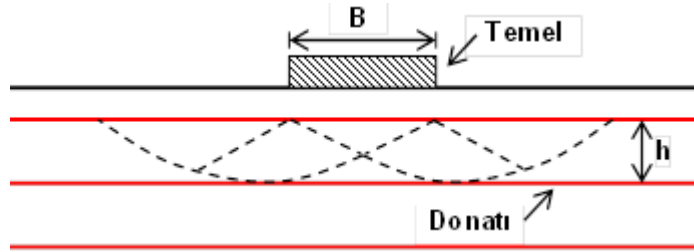
Donatılandırılmış bölge boyunca zımbalama göçmesi (Şekil 2.16d) genelde uygun donatı yerleştirme düzenine sahip güçlendirilmiş temel zemini içerisinde meydana gelmektedir. Bu tür bir göçmede donatılandırılmış zemin, Wayne ve ark. (1998) tarafından üstte sert zemin altta zayıf zemin olmak üzere iki farklı tabaka ele alınmıştır. Meyerhof ve Hanna (1978) tarafından taşıma gücü artışında donatı katkısını içeren aşağıdaki formülasyon geliştirilmiştir.

$$q_{u(R)} = q_b + 2c_t(B+L) \frac{d}{BL} + \gamma_t H^2 \left[1 + 2 \frac{D_f}{d} \right] K_s (B+L) \frac{\tan \phi_t}{BL} + 2(B+L) \frac{T}{BL} - \gamma_t d \quad (2.23)$$

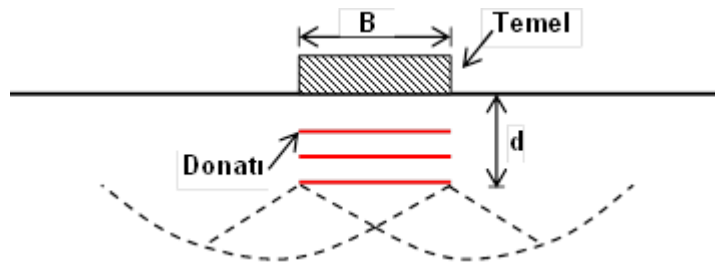
burada q_b donatılandırılmış bölge altındaki nihai taşıma kapasitesi, c_t üst tabakanın kohezyon değeri, γ_t üst tabakanın birim hacim ağırlığı, d üst tabaka kalınlığı, B temel genişliği, L temel uzunluğu, D_f temel gömülme derinliği, ϕ_t üst tabakanın içsel sürtünme açısı, T donatı çekme kuvvetidir. K_s üst tabakanın zımbalama kayma katsayısıdır. K_s sürtünme açısının bir fonksiyonudur ve tabakalı zemine oturan yüzeysel temele ait nihai taşıma kapasitesine bağlıdır.



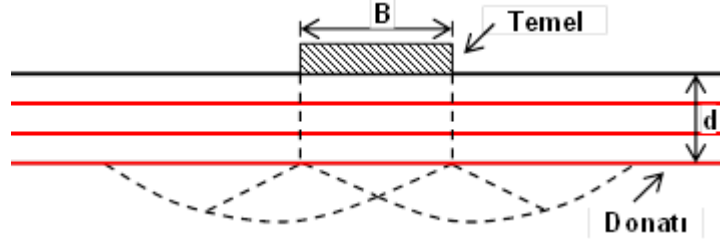
a) Donatı üzerinde göçme



b) Donatılar arasında göçme



c) Donatılandırılmış bölge boyunca göçme



d) Donatılandırılmış bölge içinde göçme

Şekil 2.16. Donatılı Zemin Sisteminde Olası Göçme Mekanizmaları

2.5.5 Michalowski (2004) Yöntemi

Michalowski (2004) donatı ile güçlendirilen zeminlerin stabilite analizleri için üst-sınır teoremi kullanılarak analizler gerçekleştirmiştir. Stabilite analizleri sonucunda kopma göçmesi ve sünme göçmesi olarak iki farklı göçme mekanizması tanımlanmıştır. Analizlerde süperpozisyon yöntemi uygulanarak geosentetik donatılarla güçlendirilen zeminlere oturan şerit temellerin taşıma kapasitelerini hesaplamak amacıyla aşağıdaki formülasyon önerilmiştir.

i) Sünme göçmesi için;

$$p = cN_c + qN_q + 0.5\gamma BN_\gamma + k_t M'_r \quad (2.24)$$

burada $k_t = (T_t / h)$, $M'_r = (1 + \sin \phi) e^{(\pi/2 + \phi) \tan \phi}$, T_t donatının çekme dayanımı, h donatılar arası mesafedir.

ii) Kopma göçmesi için

1) Tek donatı kullanılması durumunda;

$$p = \frac{1}{1 - \mu \frac{u}{B} M_p} \left[c(N_c + f_c M_c) + q(N_q + \mu M_q) + \gamma B \left(\frac{1}{2} N_\gamma + \mu \frac{d}{B} M_\gamma \right) \right] \quad (2.25)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad N_q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad N_\gamma = e^{0.66 + 5.11 \tan \phi} \tan \phi$$

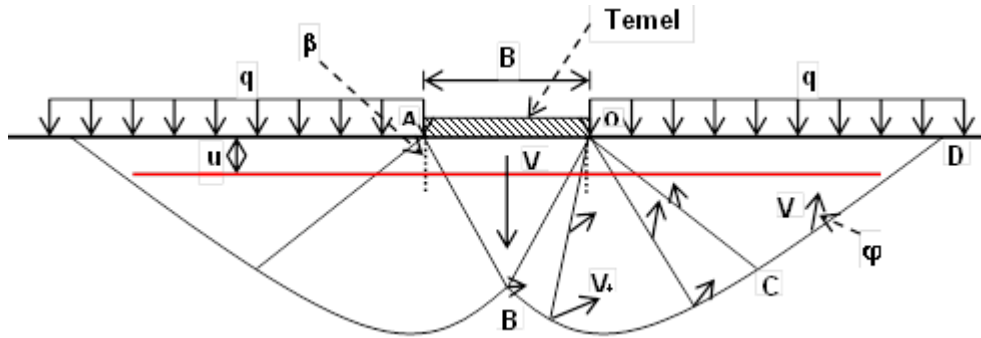
burada, M_c, M_q, M_γ, M_p donatıya bağlı taşıma gücü katsayıları, η zemin-donatı arayüzey sürtünme katsayısı, u ilk donatı derinliği, B temel genişliği, c kohezyon, φ içsel sürtünme açısı, q sürşarj yükü, γ zemin birim hacim ağırlığı, ve f_c ise, zemin-donatı arayüzey kohezyonunun zemin kohezyonuna oranıdır.

2) Birden fazla donatı kullanılması durumunda;

$$p = \frac{1}{1 - \mu M_p \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{B}} \left[c(N_c + n f_c M_c) + q(N_q + n \mu M_q) + \gamma B \left(\frac{1}{2} N_\gamma + \mu M_\gamma \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{B} \right) \right] \quad (2.26)$$

burada n , donatı sayısı, d_i i . tabakanın derinliği ($= u + (i-1)h$), h donatılar arası mesafedir.

Michalowski (2004) tarafından gerçekleştirilen sayısal analizler, donatıların Şekil 2.17'de görülen B ve C noktaları üzerine yerleştirilmesi durumunda taşıma gücüne katkısının maksimum seviyede olduğunu göstermiştir. Taşıma gücü katsayılarının yaklaşık değerleri Michalowski (2004) tarafından sunulmuş ve tablo halinde Çizelge 2.4'de verilmiştir.

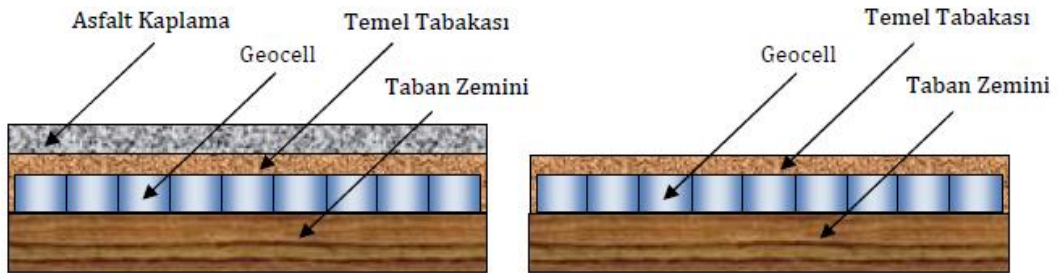


Şekil 2.17. Zemin-Temel Sisteminde Göçme Mekanizması

Çizelge 2.4. Geogrid Donatı İle Taşıma Kapasitesi Değişimleri (Michalowski, 2004)

Donatı Sayısı (N)	$M_c = M_q = M_y$	M_p
1	$1.6(1 + 8.5 \tan^{1.3} \phi)$	$1.5-1.25 \times 10^{-2} \phi$
2	$1.1(1 + 10.6 \tan^{1.3} \phi)$	$40.75-6.25 \times 10^{-3} \phi$
3	$0.9(1 + 10.6 \tan^{1.3} \phi)$	$0.5-6.25 \times 10^{-2} \phi$

Geohücreler sağlam hücre duvarları ile, içlerine doldurulan malzemenin yatay hareketini yüksek dingil yüklerine maruz kaldığında bile engelleyerek yapının hem şeklini hem de bütünlüğünü korur. Hücresel yapı, yükleri daha geniş alana dağıtarak hem geohücrenin kendi yapısındaki hem de taban zeminindeki gerilmeleri azaltır. Bu sayede serilecek alttemel kalınlığı azaltılabilir ya da sağlamlık artırılmış olarak yapının hizmet ömrü uzatılabilir (Kocaer, 2011). Şekil 2.10’da kaplamalı ve kaplamasız yol üst yapı tasarımı için şematik bir çizim verilmiştir.



Şekil 2.18. Geocell Donatı ile Kaplamalı ve Kaplamasız Yol Üst Yapı Tasarımı (Yang, 2010)

2.6 Arazi Çalışmaları

Hufenus ve ark. (2006) geosentetikle güçlendirilmiş bir yolda arazi deneyleri yapmışlardır. Yumuşak bir zeminin üzerinde farklı kalınlıklarda ince agrega yerleştirip dolgu malzemelerini sıkıştırarak taşıma kapasitesini ve performansını ölçmek için çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bu dolgu içine 7 farklı özelliğe sahip geogrid yerleştirerek dolgu içindeki geogridin yumuşak zemine üzerindeki

performansına bakılmıştır. Sonuçta dolgu tabakası kalınlığı azaltılarak sıkıştırmanın iyi yapılması ile performansın en yüksek düzeylere çıktığı görülmüştür. Ayrıca geogrid kullanımı sonucunda performansın artmasının yanında yolun servis ömrününün de artacağı öngörülmüştür.

Tutumluer ve ark. (2006) Illinois Üniversitesi laboratuvarında yapmış oldukları çalışmada, geogridle güçlendirilmiş yol temelleri üzerine 9 adet büyük ölçekli deney yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada 254 mm kalınlığında geogridle güçlendirilmiş temel tabakası üzerine, 76 mm kalınlıktaki asfalt tabakası serilerek yol dolgusunu oluşturmuşlar ve rezidüel yüklemenin temel tabakası içerisinde 21 kPa sabit tutulması ve 21 kPa ile 62 kPa ile değiştirilmesi durumlarını incelemişlerdir. Ayrıca bu deneyleri sonlu elemanlar yöntemiyle modelleyerek karşılaştırmışlardır. Sonuçta, modelleme ve büyük ölçekli deney sonuçlarının birbirileri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Al-Qadi ve ark. (2006) esnek yol kaplamalarında geogridle güçlendirmenin performansa etkisini araştırmak amacıyla çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan kaplama kendi arasında üç parçadan oluşmaktadır. 8,12 ve 18 inç kalınlıkta granüler zemin tabakasının üzerine 3 ve 5 inç kalınlığında sıcak asfalt tabakası yerleştirilip geogrid tabakası da asfalt kaplamasından 6, 8 ve 12 inç aşağı yerleştirilerek asfalt kaplama üzerine tekrarlı yüklemeler yapılmış ve performanslar değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, geogrid donatı kullanılarak güçlendirilen yollarda tekrarlı yük etkisi altında, daha az ilave düşey gerilme ve daha az deformasyonlar gözlenmiştir.

Zou ve ark. (2007) farklı çeşit ve özelliklerdeki geosentetiklerle güçlendirilmiş asfalt kaplamaların zamana bağlı (4 yıl) olarak performansını değerlendirmişlerdir. Farklı geogridlerle güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş asfalt kaplamalarının performanslarını birbirleri ile kıyaslamışlardır. Sonuçta, tekrarlı trafik yükü altında kullanılan tüm geogridlerin taşıma gücünü arttırdığını, kesme dayanımının azaldığını ve ayrıca çatlaklarında azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca daha önceki asfalt kaplamalarının da bu şekilde belirtilen özelliklerinin artırılabilmesi için revize edilebileceğini belirtmişlerdir.

Kwon ve ark., (2008) düşük hacimli esnek yol kaplamalarında geogridle güçlendirmenin etkisini araştırmak amacıyla 44 kN'luk, saatte 8 km ve 690 kPa teker şişme basıncı altında tekrarlı yüklemeler yapılarak, yol kaplamasının dayanımını incelemişlerdir. Sonuçta, geogrid kullanımının yatay yer değiştirmeleri gözle görülür bir şekilde azaltmasının yanı sıra düşey yer değiştirmeleri de azalttığı ifade edilmiştir.

Al-Qadi ve ark. (2011) geogrid kullanımının yol kaplamalarındaki performansını belirleyebilmek amacıyla arazi deneyleri yapmışlardır. Çalışmalarında geogridin optimum yeri hakkında bilgiler vermişlerdir. CBR değeri % 4 olan zemin koşullarında yaptıkları büyük ölçekli deneylerde 170 adet sensor kullanarak gerilme, deformasyon, nem ve su basıncı gibi önemli datalar için okumalar almışlardır. Çalışmalarında hız, lastik konfigürasyonları, yüklemeler ve lastik basınçları gibi parametrelerin performansa etkilerini incelemişlerdir. Sonuçta, geogridle güçlendirilmiş bir yolda granüler malzemenin özellikle aksenal doğrultuda yatay yöndeki deplasmanının azaldığını ifade etmişlerdir.

Yang ve ark. (2012) geocelllerle güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş stabilize yollarda deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneylerde 80 kN yük uygulayan 2m genişlikteki tek dingile sahip çift tekerliğin, geocellerle güçlendirilme durumunda ve güçlendirmesiz durumunda derinliğe bağlı olarak teker izindeki değişimi araştırmışlardır. Çalışmalarında, tekerlek geçiş sayıları başlangıçta 100 ile başlayıp 5000'lere kadar arttırmışlardır. Sonuçta, kum zeminde geocell ile güçlendirilmemiş yol temelinde tekerlek izleri çok yüksek değerlere ulaşırken, geocell kullanımı sayesinde yol temel zeminin dayanıklılığının artırıldığı ve kalıcı deformasyonların azaltıldığı ifade etmişlerdir.

3.2 Zemin Özellikleri

3.2.1 Yol Taban Zeminin Özellikleri

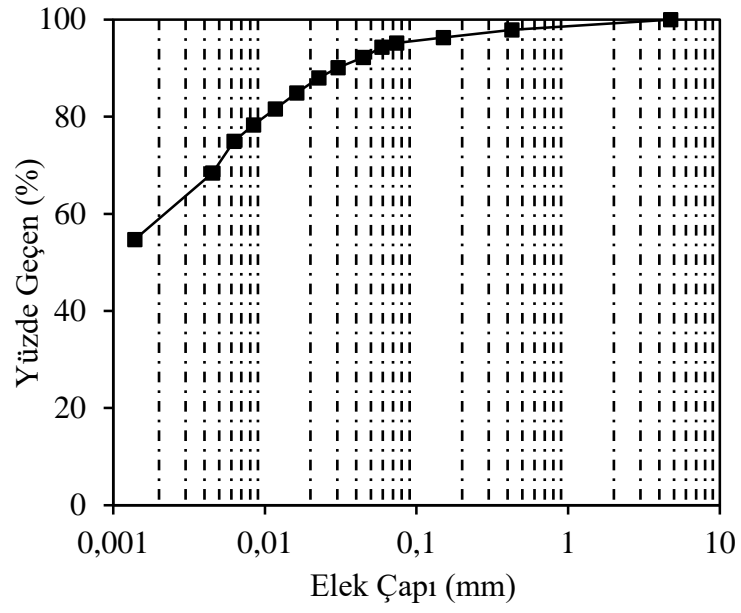
Deneysel çalışmada yol kesitinde problemlili bir taban zemini oluşturmak için silt-kil karışımı zemin, Osmaniye ili Düziçi – Kadirli ilçe sınırında yer alan, Düziçi ilçesine bağlı Olukçunur köyünde bulunan daha önce Aslantaş Barajı yapımı aşamasında kullanılan ve üzerinde herhangi bir yapının teşkil edilmediği bir araziden alınmıştır. Taban zemininin alındığı arazi Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Taban zemini için seçilen zemin, bulunduğu arazi yamacından 1.5–2.0 metre kazılarak alınmış ve deneylerin yapılacağı araziye taşınmış ve düzgün bir şekilde istif edilmiştir.



Şekil 3.2. Kil Malzemesinin Temini

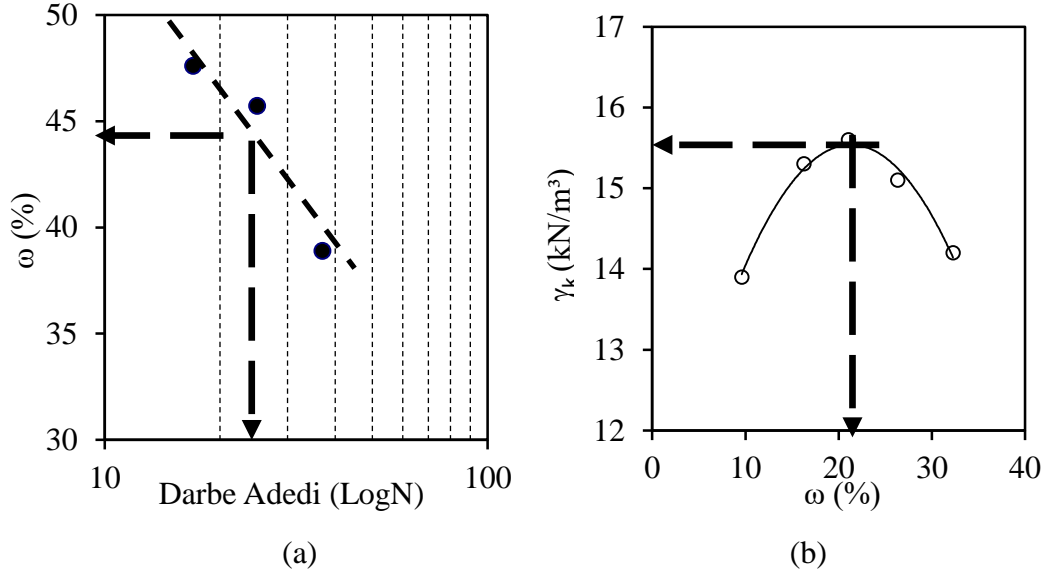
Tol taban zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek için Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda elek analizi, kompaksiyon, kıvam limitleri ve piknometre deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Ayrıca taban zeminin taşıma gücüne yönelik olarak

ise farklı su muhtevalarında CBR deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.5). Deney sonuçları toplu halde Çizelge 3.1.'da verilmiştir.

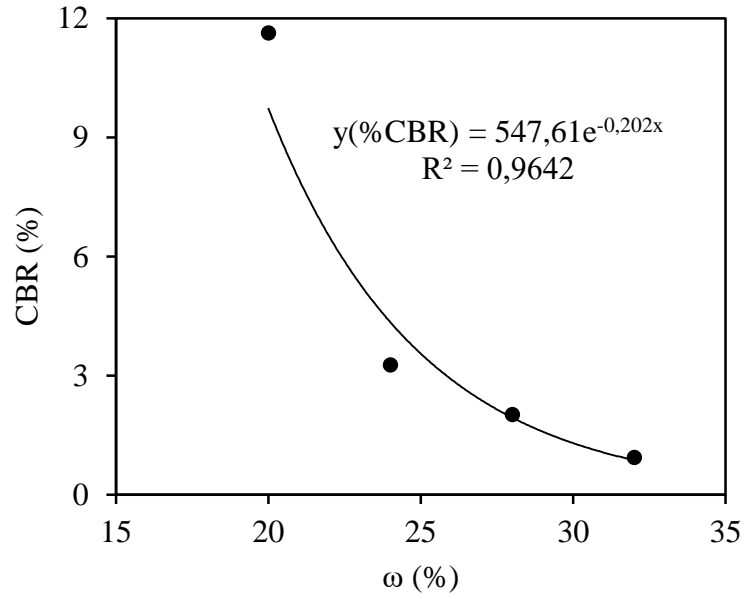


Şekil 3.3. Yol Taban Zeminin Granülometri Eğrisi

Dane dağılım eğrisi incelendiğinde yol taban zemininin, % 58 kil, %38 silt ve % 4 civarında kum içerdiği görülmektedir.



Şekil 3.4. (a) Likit Limit Grafiği (b) Kompaksiyon Grafiği



Şekil 3.5. CBR'ın Su İçeriğine Bağlı Olarak Değişimi

Çizelge 3.1. Taban Zemininin Özellikleri

Parametre	Değer
Dane Birim Hacim Ağırlığı γ_s (kN/m ³)	25
Likit Limit LL (%)	44.1
Plastik Limit PL (%)	34
Plastisite İndeksi PI (%)	10.1
Sınıflandırma (USCS)	CI-MI
Max. Kuru Birim Hacim Ağırlığı γ_{kmax} (kN/m ³)	15.6
Optimum Su Muhtevası ω_{opt} (%)	21

3.2.2 Temel Dolgusu Olarak Kullanılan Filler Malzemesinin Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda, yol gövdesinde temel dolgusunda kullanılacak olan filler malzemesi Osmaniye'nin Kadırlı ilçesinin Koçlu köyünde yer alan Taş Ocağından temin edilmiştir (Şekil 3.6).



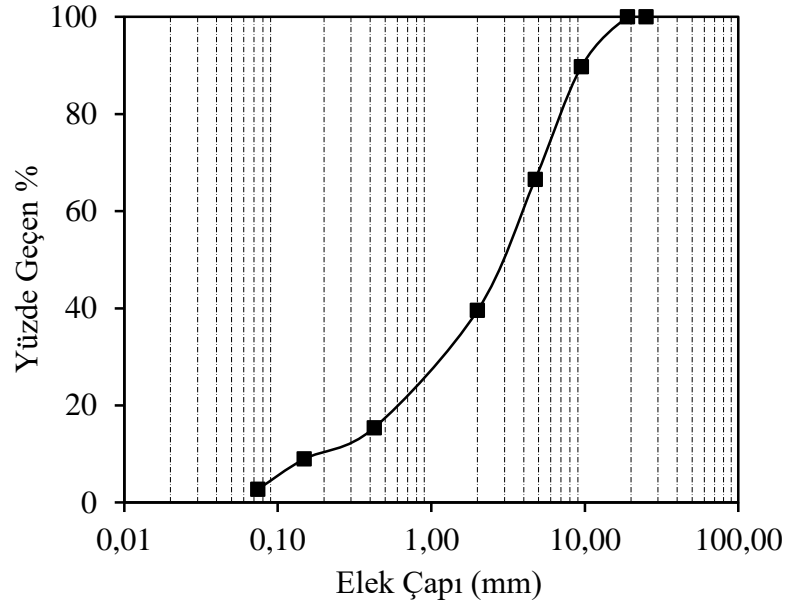
a) Taş Ocağı Üretim Tesisi



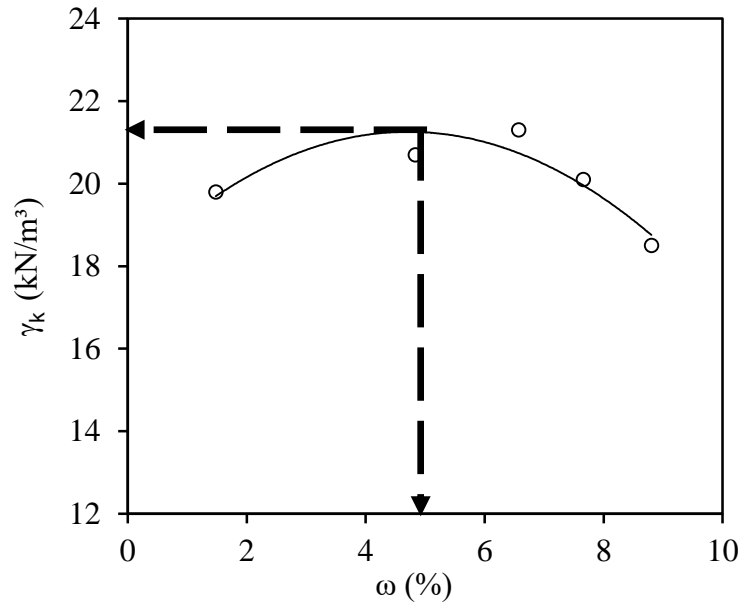
b) Malzemenin Farklı Elek Aralıklarında Sınıflandırılması

Şekil 3.6. Filler Malzemesinin Temini

Filler malzemeden alınan numuneler üzerinde, zemini sınıflamaya yönelik ve mukavemet özelliklerini tespit etmek için ASTM standartlarına uygun (ASTM D854, ASTM D3080-90) bir grup deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kullanılan filler malzemenin sınıfı, düzgün dane dağılımlı çakıl ve az kumdur (GW). Filler malzemenin granülometre eğrisi ve kompaksiyon eğrileri sırasıyla, Şekil 3.7. ve 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Temel Dolgusunun Ganülometri Eğrisi



Şekil 3.8. Temel Dolgusunun Kompaksiyon Eğrisi

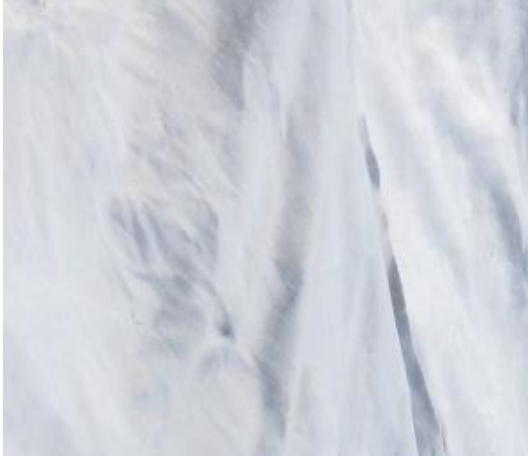
Filler zeminin taşıma gücüne yönelik olarak optimum su muhtevasında CBR deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları toplu halde Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Filler Zeminin Özellikleri

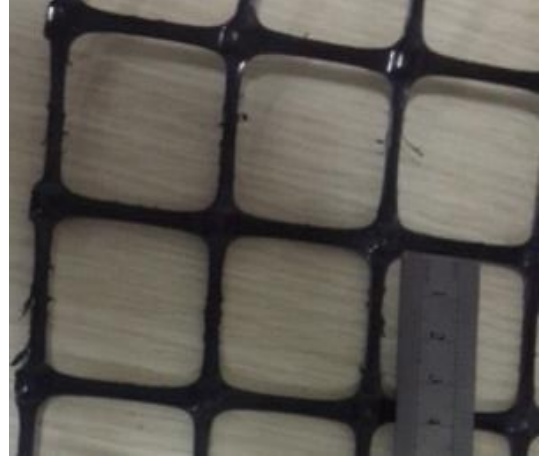
Parametre	Değer
Max. Kuru Birim Hacim Ağırlığı γ_{kmax} (kN/m ³)	21.30
Optimum Su Muhtevası ω_{opt} (%)	4.80
Uniformluk Katsayısı C_u	22.22
Eğrilik Katsayısı C_c	2.00
Sınıflandırma (USCS)	GW
Su Emme (%)	0.60
CBR (2.5mm batmada) (%)	32.74
CBR (5.0mm batmada) (%)	56.71

3.3 Geosentetiklerin Özellikleri

Deneylerde GEOPLAS firmasından tedarik edilen, geogrid, geocell ve geotekstil olmak üzere 3 çeşit geosentetik malzeme kullanılmıştır (Şekil 3.9). Kullanılan geotekstil malzemenin teknik özellikleri Çizelge 3.3.'de, geogrid malzemenin teknik özellikleri, Çizelge 3.4.'te, geocell malzemenin teknik özellikleri ise Çizelge 3.5.'de verilmiştir.



(a) Geotekstil



(b) Geogrid



(c) Geocell

Şekil 3.9. Deneylerde Kullanılan Geosentetik malzemeler

Çizelge 3.3. Geotekstil'in Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	Değer / Açıklama
Hammadde	Polipropilen, UV katkı
Birim Ağırlık (Minimum) (kN/m ³)	0.002
Kalınlık (2 kPa Basınç Altında) (mm)	1.5
Çekme Dayanımı (MD/CD) (kN/m)	11-13
Kopma Uzaması (MD/CD) (%)	50-80
Delinmeye Karşı Dayanım (CBR Testi) (N)	2500
Eşdeğer Göz Açıklığı (mm)	0.13
Permabilite (Düzlemde) (m/s)	0.070
Dinamik Delme (mm)	24

Çizelge 3.4. Geogrid'in Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	Değer / Açıklama
Malzeme	Polipropilen
% 5 Uzamada Çekme Dayanımı (MD/CMD)(kN/m)	325
Kopma Uzaması (MD/CMD) (%)	90
Kalınlık (mm)	3.1
Açıklık (MDxCMD),(mm x mm)	35 x 35
Rulo Uzunluğu (m x m)	1 x 120

Çizelge 3.5. Geocell'in Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	Değer / Açıklama
Malzeme	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)
Yoğunluk (g/cm ³)	0.94
Hücre Uzunluğu (mm)	300
Hücre Genişliği (mm)	250
Hücre Derinliği (mm)	150
Kalınlık (mm)	1.5

3.4 Deney Düzenegi

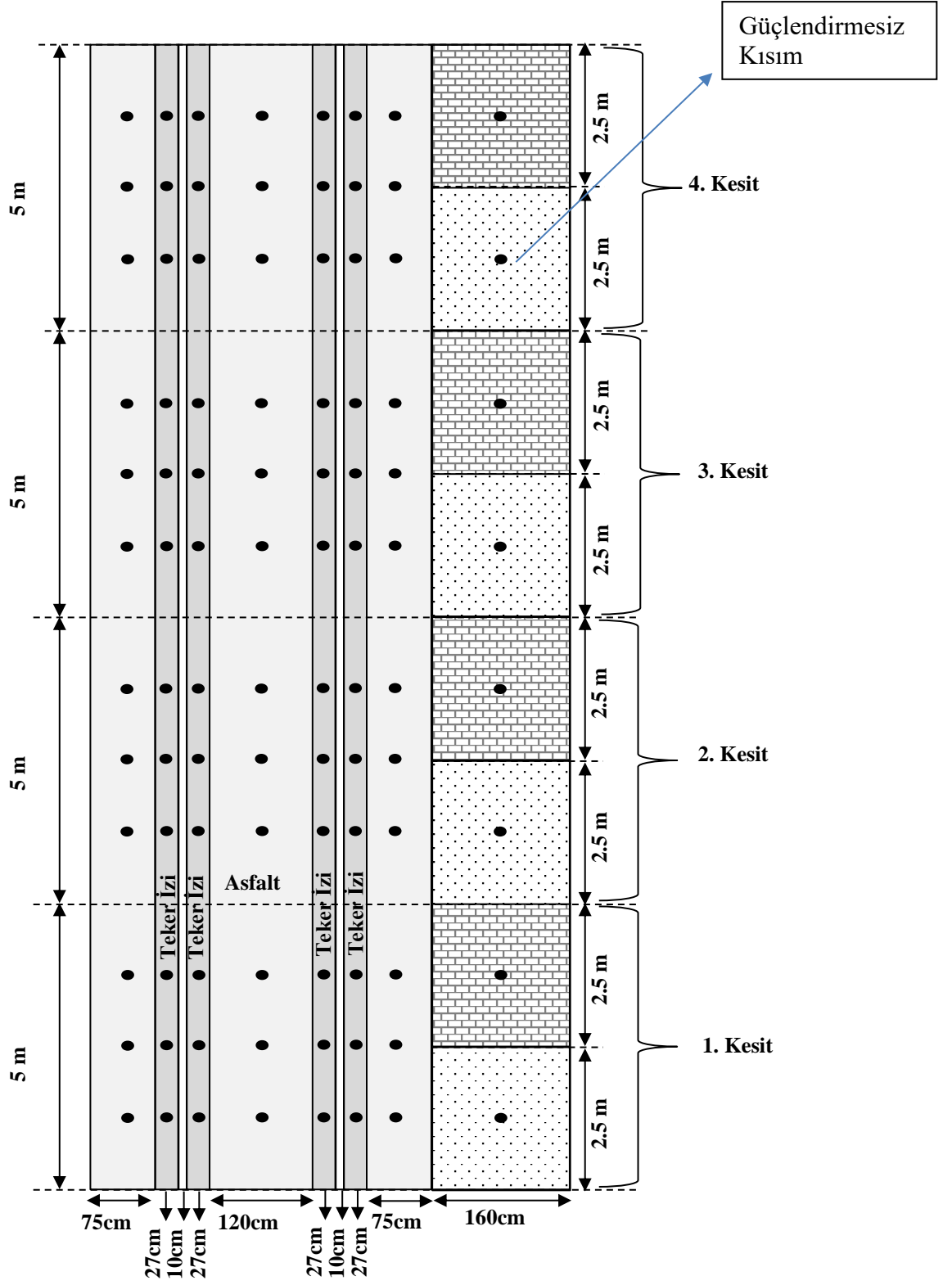
3.4.1 Giriş

Tez kapsamında, gerçek arazi koşullarında yumuşak kil zemin üzerine inşa edilmiş geosentetiklerle güçlendirilmiş temel/alt temel dolgularında trafik yükleri sonrasında, güçlendirmenin teker izine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, daha önce belirlenen arazide yaklaşık 1 metre derinliğinde, 5.6 metre genişliğinde ve 25 metre uzunluğunda kazı yapılmış ve yaklaşık 0.5 metre kadar kil zemin kontrollü olarak yerleştirilmiş üzerine ise yaklaşık 0.45 metre geosentetiklerle güçlendirilen ve güçlendirmesiz filler malzemedan dolgu yapılmış en son üzerine bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplama yapılarak yol oluşturulmuştur. Sonuç olarak, geosentetiklerle güçlendirilen ve güçlendirmesiz temele sahip olan genişliği 4 metre, uzunluğu 5 metre, BSK asfalt kaplamalı 4 farklı kesit oluşturulmuştur. Deneylerde geocell donatı ile güçlendirme, tek sıra geogrid donatı ile güçlendirme ve çift sıra geogrid ile güçlendirme durumlarında teker izi performansı ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca trafik yükü öncesi ve trafik yüklerinden sonra filler dolgu malzemesi üzerinde yapılan plaka yükleme deneyleri ile güçlendirmenin gerilmeleri dağıtma durumu incelenmiştir. Hazır hale getirilmiş deney sahasının görünüşü Şekil 3.10'da verilmiştir.

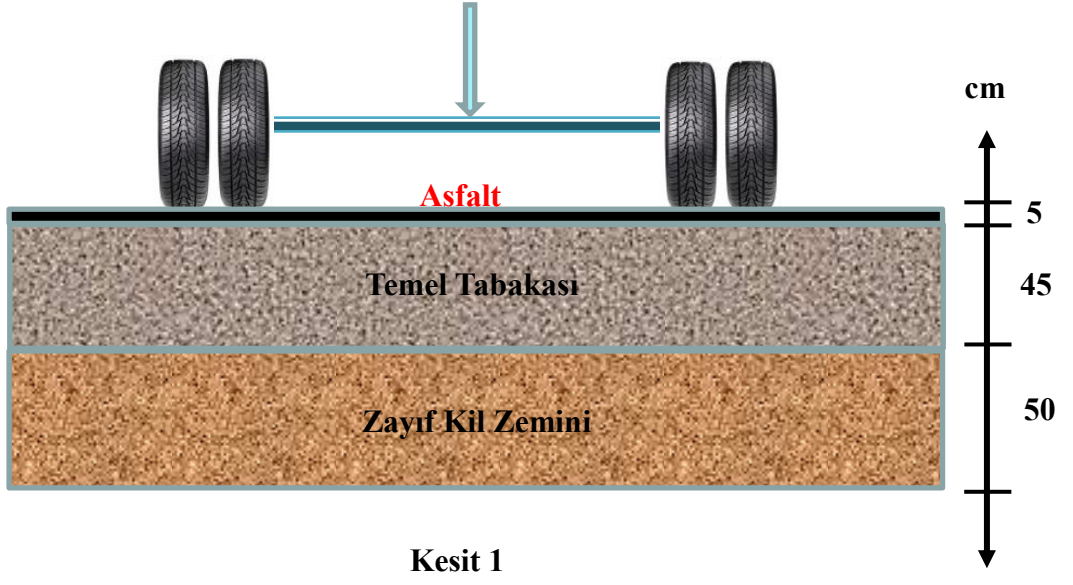


Şekil 3.10. Hazırlanan Deney Sahası

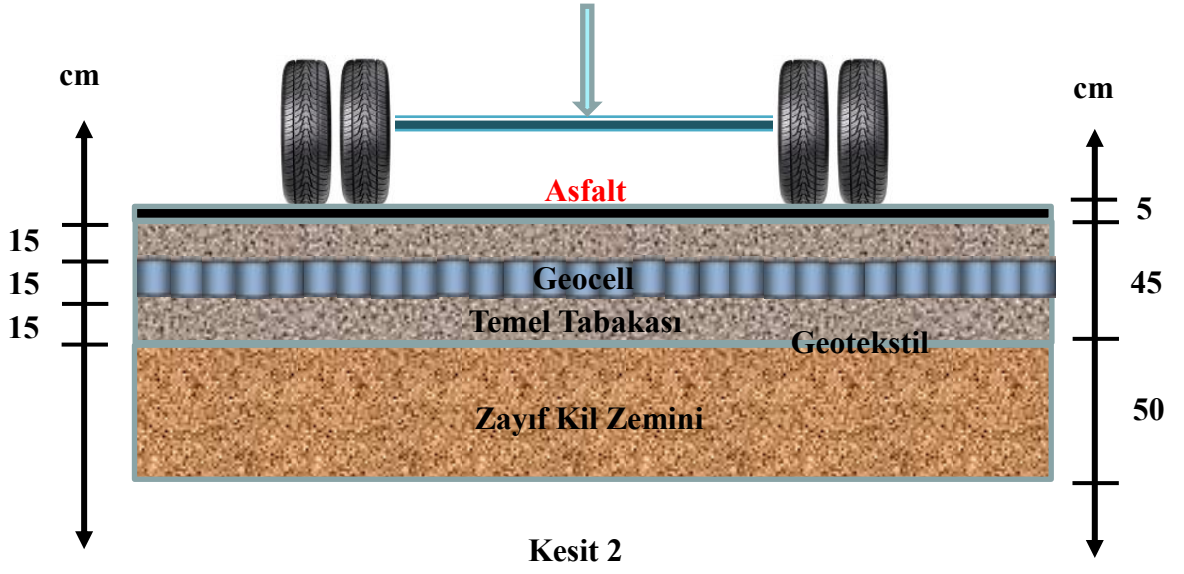
Geocell ile güçlendirmeli durumda 15 cm kalınlığındaki geocell donatı 45 cm'lik temel tabakasının tam ortasına yerleştirilmiştir. Geogrid ile güçlendirmeli durumda ise tek sıra geogrid ile güçlendirmede temel tabakasının içine 15 cm derinliğe tek sıra geogrid, çift sıra geogrid ile güçlendirmeli durumda ise temel tabakası içerisine 15 ve 30 cm derinliğe olmak üzere iki sıra geogrid yerleştirilmiştir. Şekil 3.11.'de deney sahasının şematik çizimi verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te güçlendirmeli ve güçlendirmesiz durumlar için deney sahasının kesit görüntüleri ayrı ayrı verilmiştir.



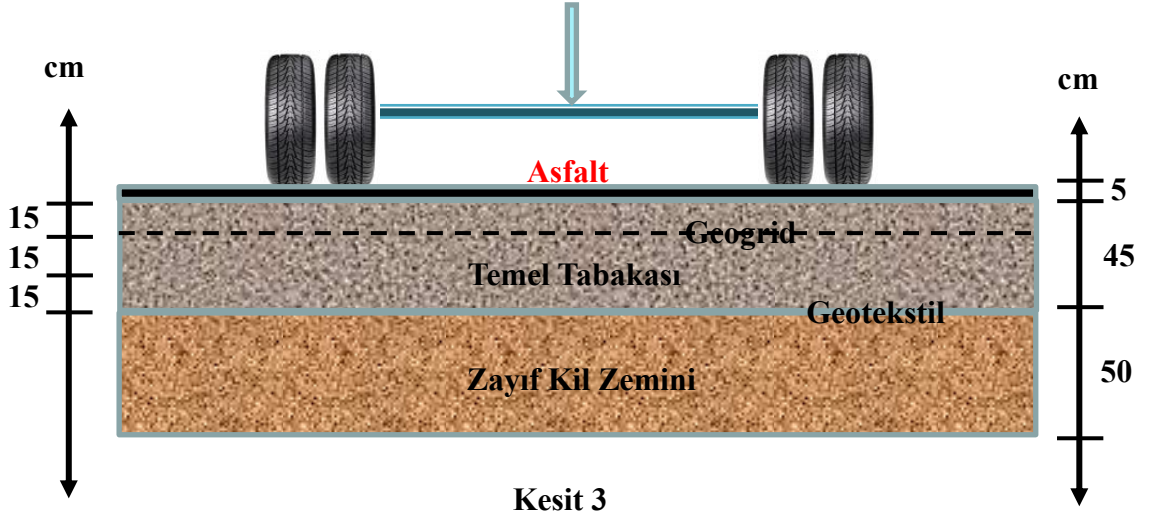
Şekil 3.11. Deney Sahasının Şematik Çizimi



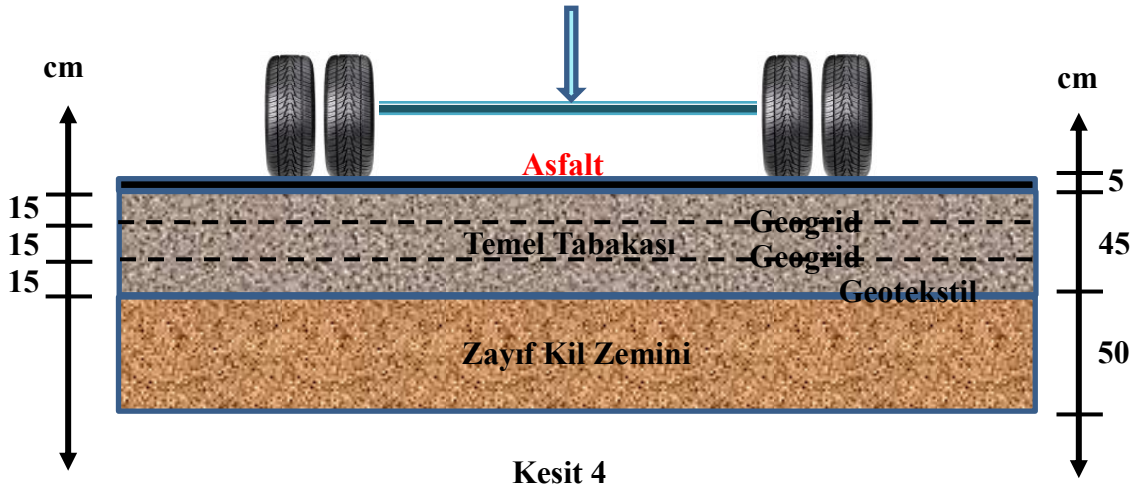
Şekil 3.12. Güçlendirmesiz Kontrol Kesiti



Şekil 3.13. Geocell Güçlendirmeli Kesit



Şekil 3.14. Tek Sıra Geogrid Güçlendirmeli Kesit



Şekil 3.15. Çift Sıra Geogrid Güçlendirmeli Kesit

3.4.2 Deney Sisteminin Hazırlanması

Tez deneylerinin gerçekleştirildiği Osmaniye İl Özel İdaresi Kadirli Ek Hizmet Binasının bulunduğu yerleşkedeki arazi, deney yapımına uygun düz ve yeterli genişlikte bir platformdur. Deney arazisinin genel görüntüsü, Şekil 3.16’da verilmektedir.



Şekil 3.16. Deney Sahasının Ön Görünüşü

Öncelikle arazi deneyinin uygulanacağı zemin için çizilen aplikasyon krokisi topoğraf ekibi tarafından zemine aplike edilmiştir. Bu kapsamda, öncelikle nirengi noktası tesis edilmiş ve bu nirengi noktasına GPS kurularak CORS sistemi ile nirengi noktasının bulunduğu konum (koordinatlı) tam olarak belirlenmiştir. Daha sonra deney düzeneği krokisine uygun şekilde deney sahasının köşe noktaları demir çubuklar dikilerek işaretlenmiştir (Şekil 3.17). Köşe noktaları belirlendikten sonra, tüm bu noktalar nirengi noktasına bağlanmış ve aralarında bağlantı sağlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.17. (a) Uydudan Nirengi Noktasının Belirlenmesi (b) Kazı Kenarlarının İşaretlenmesi

Arazide deney düzeneği krokisine uygun şekilde köşe noktaları demir çubuklar dikilerek işaretlendikten sonra bu köşe noktaları arasında boyama yoluyla kireç dökülerek belirlenmiştir. Sonrasında kazı öncesi zemin üst kotu elektronik takeometre cihazı ile ölçüm ekibi tarafından belirlenmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Kazı Öncesi Zemin Üst Kotlarının Belirlenmesi

Deney yapılacak olan kazı alanında zemin üst kotları belirlendikten sonra, ekskavatör (iş makinesi) yardımı ile kazı çalışmalarına başlanmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Kazı Öncesi Zemin Üst Kotlarının Belirlenmesi

Kazı çalışmasının başlamasıyla birlikte, ölçüm ekibi tarafından kazı yapılan kısımlarda devamlı surette taban kotu alma çalışması yapılarak (Şekil 3.20), deney alanı kesitinde belirlenen kotlara erişimin sağlanıp, sağlanamadığının kontrolü yapılmıştır.



Şekil 3.20. Kazı Derinliğini Belirlemek İçin Kazı Tabanı Kotlarının Alınması

Kazı sonrasında kazı kenarlarına 5 metre aralıklarla kesitlere ayrılmıştır. Kesitleri ayırmak için kazı kenarına demir çubuklar çakılmıştır. Sonrasında kazı tabanı sulanmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Kazı Tabanının Sulanması

Ölçüm ekibi tarafından kazı taban kotları belirlenmiş, kazı kenarlarına tahta kazıklar çakılarak kil dolgu yapılacak kot bu kazıklarda işaretlenmiş ve bu işaretli yerlerden ip çekilerek kil zemin kotu belirlenmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Kil Dolgu Kotunun Belirlenmesi

Deney düzeneğine uygun şekilde kazı alanı boyunca bütün kesitlerin tabanını kaplayacak şekilde 25 cm'lik iki tabaka halinde toplam 50 cm kil zemin serilmiş ve sıkıştırılmıştır (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24).

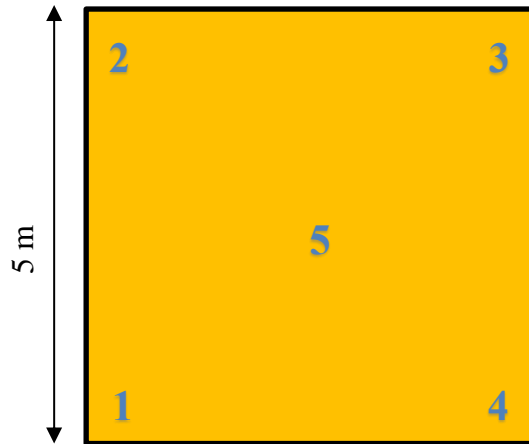


Şekil 3.23. Yol Taban Zeminin Serilmesi



Şekil 3.24. Yol Taban Zeminin Sıkıştırılması

Zayıf zemin koşullarını yansıması bakımından kazı tabanına yerleştirilen kil zeminin su içeriği 26 ± 1 ve CBR'ı 3-5 arasında olması istenmektedir. Kil zeminin su içeriği ve CBR kontrolü alınan su içeriği numuneleri ve yapılan DCP deneylerinden CBR değerinin belirlenmesi ile sağlanmıştır. Bu sebeple her kesitte 5 noktada DCP deneyi yapılarak bu noktaların yakınından su içeriği numuneleri alınmıştır. Her kesit için yapılan DCP deneylerinin karelağı Şekil 3.25'te gösterilmiştir. DCP deneylerinden CBR değerine ise Webster (1992) çalışmasında kullandığı Denklem 3.1'de gösterilen eşitlik kullanılmıştır.



Şekil 3.25. Her Kesitte Yapılan DCP Deneylerinin Kalerajı

$$CBR = \left(\frac{1}{0.002871 \times PI} \right) \quad (3.1)$$

PI: DCP'den elde edilen penetrasyon indeksi

Her kesitte 5 noktada (karelajda görüldüğü gibi) olmak üzere kazı tabanında toplamda 25 adet DCP deneyi yapılmış ve su içeriği örnekleri alınmıştır. DCP ve su içeriği sonuçlarına göre kesitlerin tekrar sulanıp sulanmayacağına karar verilmiş, sulama işleminden sonra kesitler üzerinde tekrar DCP deneyleri yapılmış ve su içeriği örnekleri alınarak su içeriğinin uygunluğu kontrol edilmiştir. DCP deneylerinin yapılışı Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. DCP Deneylerinin Yapılışı

Yol taban zemininin (zayıf kil zemini) oluşturulması sırasında izlenen su içeriği kontrolü aşamaları aşağıda özetlenmiştir;

- Kilin serilmesi (25 cm kalınlığında)
- Kilin sıkıştırılması
- DCP deneylerinin yapılması ve su içeriklerinin alınması
- DCP ve su içeriği değerlerinin istenilen düzeyde olmaması durumunda kilin yüzeyinin tırmıklanması aşamasına geçilmesi istenilen şartlar sağlandıysa bir sonraki kil tabakasının serilmesi

- Kilin yüzeyinin tırmıklanması (Şekil 3.27)
- Kilin sulanması (Şekil 3.28)
- DCP deneylerinin yapılması ve su içeriklerinin alınması
- DCP ve su içeriği değerlerinin istenilen düzeyde olmaması durumunda kilin yüzeyinin tırmıklanması geri dönülmesi istenilen şartlar sağlandıysa bir sonraki kil tabakasının serilmesi



Şekil 3.27. Kil Yüzeyinin Tırmıklanıp Homojenliğinin Sağlanması



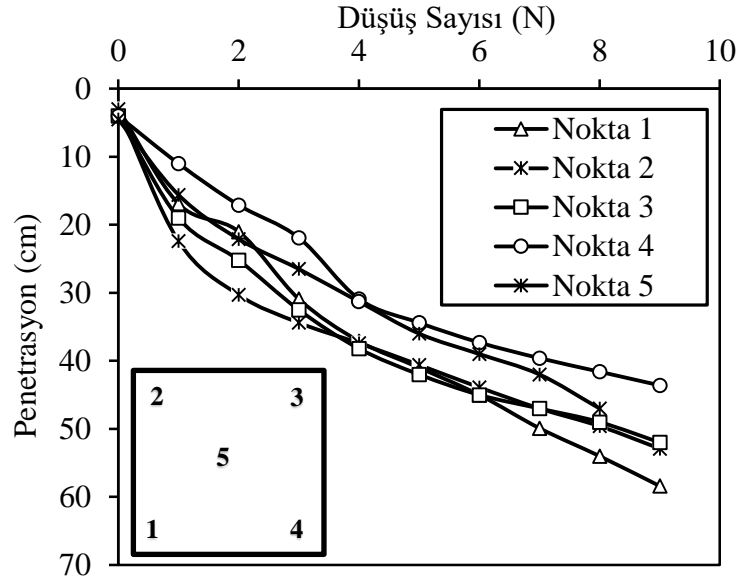
Şekil 3.28. Yol Taban Zemininin Sulanması

Ayrıca kil serme işlemi sırasında kazı çukuru içindeki taş bitki kökü vb. malzemeler deney sahasından uzaklaştırılmıştır. Temel tabakası serilmeden önce, tabakalar üzerinde yapılan DCP deneylerinden zayıf kil zeminin CBR değeri ortalama %3-5 aralığında hesaplanmış ve bu tabakalardan alınan su içerikleri de ortalama % 26.55 çıkmıştır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. DCP Deneylerinin Tekrarlanması

DCP deneyleri ile zayıf kil zemini ile oluşturulan tabakanın arzu edilen CBR değerinde olup olmadığı ve zayıf kil zemini homojen bir şekilde serilip serilmediği kontrol edilmiştir. Örnek olarak, Şekil 3.30'da güçlendirmesiz kontrol kesitine ait DCP deneyleri sırasında elde edilen düşüş sayısı-penetrasyon ilişkisi görülmektedir. Ayrıca Çizelge 3.6'da DCP deneylerinden elde edilen veriler ışığında tüm kesitler için hesaplanan ortalama CBR değerleri verilmiştir.



Şekil 3.30. DCP Deney Sonuçlarının Gösterilmesi (Güçlendirilmemiş Durum)

Çizelge 3.6. DCP Deneylerinden Elde Edilen Ortalama CBR Değerleri

Kesit No	1. Kesit	2. Kesit	3. Kesit	4. Kesit
CBR (%)	4.69	4.48	4.39	5.73

Şekil 3.30 ve Çizelge 3.6 incelendiğinde, zayıf kil zeminin tabaka içinde homojen dağıldığı ve zayıf kil zemini ile hazırlanan tabii zemin tabakasının düşük CBR değerlerinde olduğu görülmektedir.

Şantiye şartlarında kil zeminin üzerine temel tabakası serilmeden önceki süreçte su içeriğini kaybetmemesi için zemin üzerine ıslak telis bezi serilmiş (Şekil 3.31 ve Şekil 3.32) ve temel tabakası serilirken de kil zeminden su içeriği örnekleri alınmıştır.



Şekil 3.31. Yol Taban Zeminin Kaplanması ve Islatılması



Şekil 3.32. Yol Taban Zemininin Zayıf Kil Zemin Olarak Oluşturulması

Temel tabakasında kullanılmak üzere, taş ocağından deney sahasına getirilerek istif edilen granüler dolgu (filler) malzemesi, kanal kazıcı ve yükleyici vasıtasıyla araziye yayılarak, arazözle sulanmış ve arazi şartlarında filler malzemesinin optimum su içeriği sağlanmaya çalışılmıştır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. Granüler Dolgu Malzemesinin Serilmesi ve Su İçeriğinin Ayarlanması

Temel malzemesinin serilmesi işleminden önce geocell ile güçlendirme planlanan ikinci kesitte, tek sıra geogrid ile güçlendirme planlanan üçüncü kesitte ve çift sıra geogrid ile güçlendirme planlanan dördüncü kesitte kil yüzeyine geotekstil serilmiştir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Geotekstil Serilmesi

Arazi deneyinde inşa edilecek yol kesiti için 45 cm temel/alt temel tabakası planlanmıştır. Temel tabakası, 15'er cm'den oluşan üç tabaka halinde oluşturulmuştur. Öncelikli olarak, bütün deney sahasına 15 cm'lik dolgu yerleştirilmiştir (Şekil 3.35). Sonra ikinci kesitte 15 cm'lik kalınlıklı geocell dolgu yerleştirilmiş, dördüncü kesitte ise geogrid donatı serilmiştir. Son aşamada ise, 15 cm'lik ikinci temel tabakası dolgusu yapılmıştır (Şekil 3.36).



a) Granüler Dolgu Malzemesinin Deney Sahasına Taşınması



b) Granüler Dolgu Malzemesinin Kazı Sahası İçerisine Serilmesi

Şekil 3.35. Temel Dolgusunun Oluşturulması (İlk 15cm Tabaka)



a) Geocell İle Güçlendirilmiş Yol Kesitinin Oluşturulması



b) Geogrid İle Güçlendirilmiş Yol Kesitinin Oluşturulması

Şekil 3.36. Geocell ve Geogrid Kullanılarak Oluşturulan Yol Kesitleri

En son temel tabakası dolgusu öncesi üçüncü kesite ve dördüncü kesite geogrid yerleştirilmiş sonrasında temel dolgusu yapılmıştır. Her dolgu sonrasında iş makinesi yardımı ile yüzey düzeltilmiş ve sıkıştırma yapılmıştır (Şekil 3.37). Ayrıca her tabakanın sıkışma kontrolü kum konisi deneyi ile kontrol edilmiştir (Şekil 3.38). Her tabakada üzerinde yapılan kum konisi deneylerinden sıkışmanın % 97-98 arasında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.37. Yüzeyin Düzeltilmesi (Üst Fotoğraf) ve Tabakaları Sıkıştırma İşlemi (Alt Fotoğraf)



Şekil 3.38. Kum Konisi Deneyi ile Sıkışma Kontrolü

Her temel tabakasının kalınlığı (15 cm) dolgu yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra alınan kot ölçümleri ile kontrol edilerek toplamda 45 cm'lik yol temeli oluşturulmuştur. Temel tabakasının ölçülendirilerek tanzim edilmesinden sonra, İl Özel İdaresi Merkez Ek Tesisine BSK (Bitümlü Sıcak Karışım) yapımı için gerekli olan filler malzemesi ve bitüm malzemesi taşınarak asfalt plant tesisine depolanmıştır.

Deney alanına ortalama 5 cm kalınlığında yapılan BSK kaplama için gerekli olan sıcak karışım, asfalt plant tesisinde üretilerek sıcak karışım robotlarıyla deney sahasına taşınmıştır. Sıcak karışım deney düzeneğindeki ölçülere uygun şekilde asfalt döküm ekibi tarafından serilerek, silindirle sıkıştırılmış ve böylece BSK kaplama yapımı tamamlanmıştır (Şekil 3.39).



Şekil 3.39. BSK Kaplama İnşası

BSK kaplama inşaatı tamamlandıktan sonra geçirilecek trafik yükü için tekerleğin temas edeceği güzergah beyaz boya ile boyanmıştır. Ayrıca trafik yükleri sonrası oluşacak deplasmanların okunacağı noktalar kırmızı boya ile işaretlenmiştir. Her kesitte kendi içinde düzenli bir şekilde yerleştirilen 23 nokta belirlenmiştir (Şekil 3.40). Bu noktaların genel deney sahasına dağılımı deney sahasının çizelgesinde verilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.40. Teker Geçiş Güzergahı ve Deplasman Okuma Noktaları Görüntüsü

3.4.3 Deneysel Çalışmanın Yapılması

Yapılan deneysel çalışma araç geçişinden önce ve sonra yol temeli üzerinde (filler temel tabakası üzerinde) yapılan plaka yükleme deneylerinden ve kaplama inşaatı sonrasında yüklü bir kamyonun belirlenen güzargahtan geçirilmesinden oluşmaktadır.

Tez deneyleri kapsamında farklı düzeylerde ve kesitlerde toplamda dokuz adet plaka yükleme deneyi yapılmıştır. Yapılan plaka yükleme deneylerinin dağılımı aşağıda sıralanmıştır:

- Zayıf kil zemin yerleştirildikten sonra zayıf kil zemin üzerinde bir adet,
- BSK kaplama tabakası yapılmadan önce filler yol temeli üzerinde her kesitte bir adet olmak üzere dört adet,

- Belirlenen trafik yükü geçirildikten sonra BSK kaplama alttaki temel tabakasına zarar vermeden düzgün bir şekilde kaldırılmış sonrasında her kesitte bir adet olmak üzere dört adet daha plaka yükleme deneyi yapılmıştır (Şekil 3.41).



Şekil 3.41. Plaka Yükleme Deneyi

Tez kapsamında gerçekleştirilen plaka yükleme deneylerin özeti Çizelge 3.7’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.7. Plaka Yükleme Deneylelerinin Özeti

Deney Serisi	Yükleme Durumu (N=Araç Geçiş Sayısı)	Tekrar Durumu	Açıklama
Seri I	Araç Geçişinden Önce (N=0)	Statik	Zayıf Zemin
	Araç Geçişinden Önce (N=0)	Statik	Güçlendirmesiz Kontrol Kesiti
	Araç Geçişinden Önce (N=0)	Statik	Geocell Güçlendirmeli Kesit
	Araç Geçişinden Önce (N=0)	Statik	Tek Geogrid Güçlendirmeli Kesit
	Araç Geçişinden Önce (N=0)	Statik	Çift Geogrid Güçlendirmeli Kesit
Seri II	Araç Geçişinden Sonra (N=5000)	Statik	Güçlendirmesiz Kontrol Kesiti
	Araç Geçişinden Sonra (N=5000)	Statik	Geocell Güçlendirmeli Kesit
	Araç Geçişinden Sonra (N=5000)	Statik	Tek Geogrid Güçlendirmeli Kesit
	Araç Geçişinden Sonra (N=5000)	Statik	Çift Geogrid Güçlendirmeli Kesit
Seri III	Araç Geçişinden Önce (N=0)	Tekrarlı	Güçlendirmesiz Kontrol Kesiti
	Araç Geçişinden Önce (N=0)	Tekrarlı	Geocell Güçlendirmeli Kesit
	Araç Geçişinden Önce (N=0)	Tekrarlı	Tek Geogrid Güçlendirmeli Kesit
	Araç Geçişinden Önce (N=0)	Tekrarlı	Çift Geogrid Güçlendirmeli Kesit
Seri IV	Araç Geçişinden Sonra (N=5000)	Tekrarlı	Güçlendirmesiz Kontrol Kesiti
	Araç Geçişinden Sonra (N=5000)	Tekrarlı	Geocell Güçlendirmeli Kesit
	Araç Geçişinden Sonra (N=5000)	Tekrarlı	Tek Geogrid Güçlendirmeli Kesit
	Araç Geçişinden Sonra (N=5000)	Tekrarlı	Çift Geogrid Güçlendirmeli Kesit

Hazırlanan deney sisteminden Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'nın Araçların Yüklenmesine İlişkin Ölçü ve Usuller ile Tartı ve Boyut Ölçüm Toleransları Hakkında Yönetmeliğine ve Karayolları Trafik Yönetmeliğinin 128. Maddesine uygun olarak yüklü ağırlığı yaklaşık 26 ton (boş ağırlığı 13.3 ton) olan kamyon geçirilmiştir. Araç 10-20 km/saat arasında değişen hız ile ve her geçişinde yol yüzeyine çizilmiş çizgileri takip ederek deney parkurunu tamamlamıştır (Şekil 3.42). Aracın 1000., 3000. ve 5000. geçişlerinde yol üzerinde işaretlenmiş 92 noktada nivo aleti ile milimetrik kot okumaları yapılmış ve kot farklılıklarına göre oluşan deplasmanlar belirlenmiştir (Şekil 3.43).



Şekil 3.42. Trafik Yüklemesi



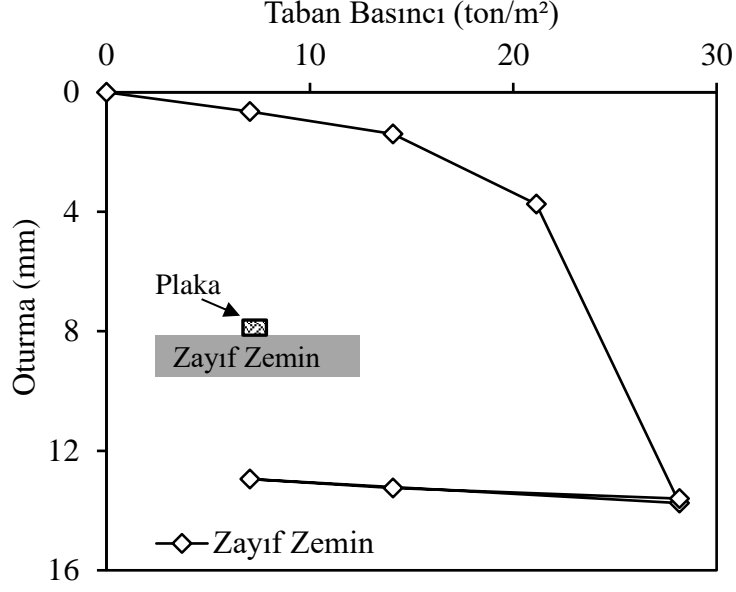
Şekil 3.43. Nivo Aleti Kullanılarak Kot Okumalarının Yapılması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yol dolgusu gibi yapay dolgularda plaka yükleme deneyi kullanılarak taşıma gücü-oturma davranışı kolay bir şekilde belirlenebilmektedir. Tez kapsamında inşa edilen yol kesitlerinin taşıma gücü-oturma davranışını belirlemek için Statik ve Tekrarlı Plaka Yükleme Deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler ışığında yük-oturma ilişkisinden zeminin güvenle taşıyabileceği yük bulunmuştur. Ayrıca, plaka yükleme deneyinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, oluşturulmuş kesitlerin göçme yükü ile yatak katsayıları hesaplanmıştır. Seri I deneylerinde araç geçişinden önce yapılmış statik plaka yükleme, Seri II deneylerinde araç geçişinden sonra yapılan statik plaka yükleme deneyleri, Seri III deneylerinde araç geçişinden önce yapılan tekrarlı plaka yükleme deneyleri ve Seri IV deneylerinde araç geçişinden sonra yapılan tekrarlı plaka yükleme deneyleri tüm yol kesitlerinde (güçlendirmesiz, geocell donatılı, tek geogrid donatılı ve çift geogrid donatılı) yapılmıştır.

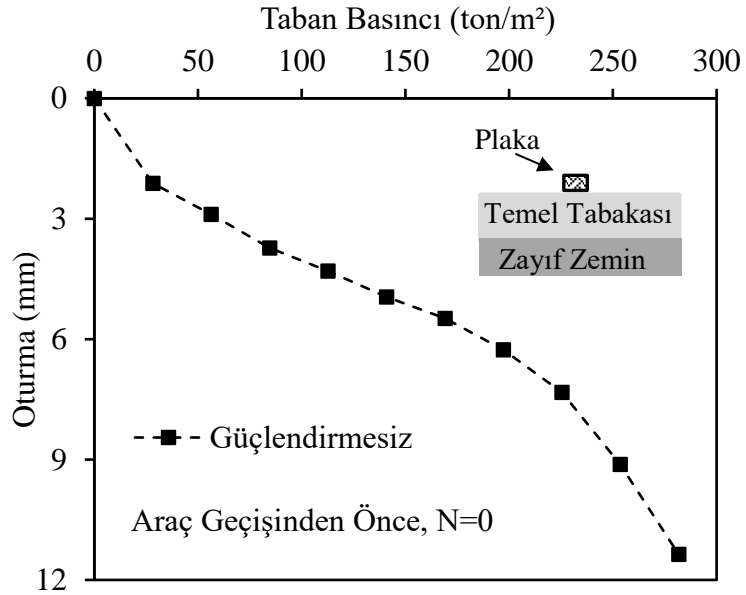
4.1 Seri I Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkisi

Araç geçişinden önce yapılan statik plaka yükleme deneyleri Seri I deneyleri olarak adlandırılmıştır. Zayıf kil zeminin taşıma gücünü ölçmek ve yük-oturma davranışını gözlemlemek için plaka yükleme deneyi yapılmıştır. Şekil 4.1’de zayıf kil zemini üzerinde yapılan plaka yükleme deney sonucu verilmektedir.



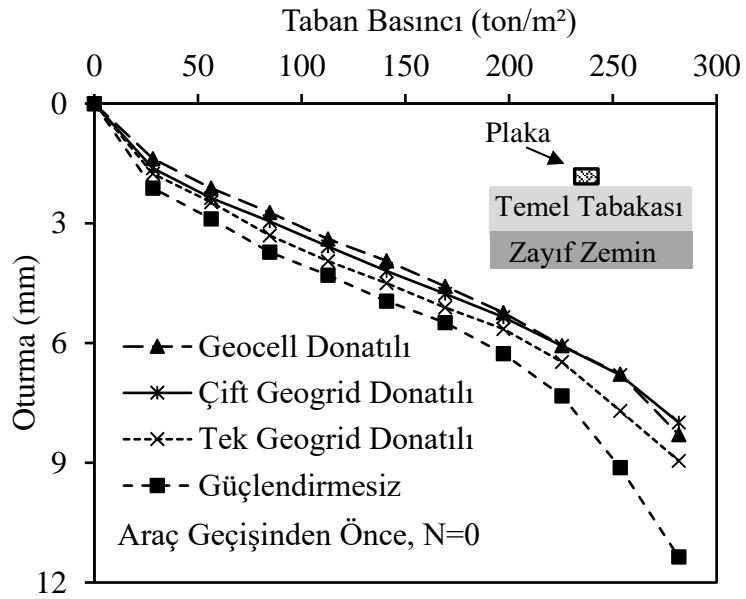
Şekil 4.1. Zayıf Kil Zemin Üzerindeki Statik Plaka Yükleme Deney Sonucu

Seri I deneylerinde, BSK kaplama tabakası yapılmadan önce filler yol temeli üzerinde her kesitte bir adet olmak üzere dört adet plaka yükleme deneyi yapılmıştır. Şekil 4.2'de araç geçişinden önce Seri I deneylerinden olan güçlendirilmemiş kontrol kesiti (1. kesit) için yapılmış statik plaka yükleme testlerinden elde edilen oturma değeri - taban basıncı ilişkisi görülmektedir.



Şekil 4.2. Seri I Deneylerinde Güçlendirmesiz Kesit için Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi

Şekil 4.3’de ise Seri I deneylerinden elde edilen oturma – taban basıncı ilişkisi görülmektedir. Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, eğriler incelendiğinde, aynı oturma değerleri için güçlendirmesiz kesitin taban basıncı değerleri en düşük çıkmıştır. Tek geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite ait eğri gözlemlendiğinde güçlendirmesiz kesite göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Geocell donatı ve çift geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesitlere ait eğriler hemen hemen birbirine yakın çıkmıştır ve diğer kesitlerin eğrilerine göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerleri en yüksek çıkmıştır.

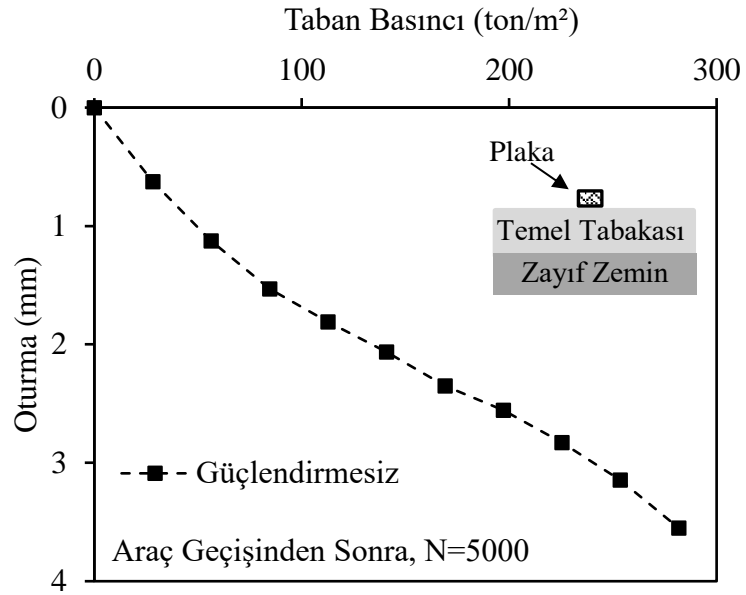


Şekil 4.3. Seri I Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi

4.2 Seri II Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkisi

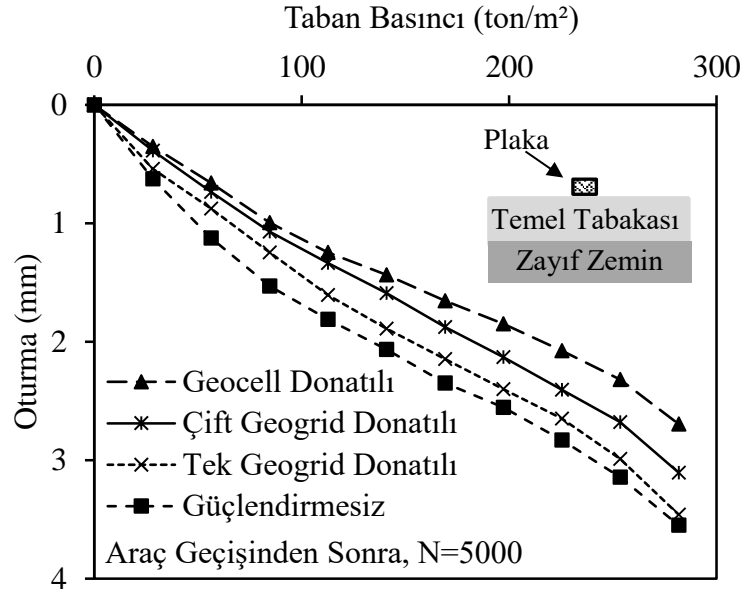
Seri I deneyleri tamamlandıktan sonra filler yol temeli üzerine BKS kaplama inşa edilmiştir. Daha sonra yüklü ağırlığı yaklaşık 26 ton (boş ağırlığı 13.3 ton) olan, hızı 10-20 km/saat arasında değişen kamyon geçirilmiştir. Belirlenen trafik yükü (5000 kez kamyon geçişi) geçirildikten sonra BSK kaplama alttaki temel tabakasına zarar vermeden düzgün bir şekilde kaldırılmış sonrasında her kesitte bir adet olmak üzere dört adet daha plaka yükleme deneyi yapılmış ve deneyler Seri II olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.4’te araç geçişinden sonra güçlendirilmemiş kesit olan 1. kesit

için yapılmış statik plaka yükleme testlerinden elde edilen oturma değeri - taban basıncı ilişkisi görülmektedir.



Şekil 4.4. Seri II Deneplerinde Güçlendirilmemiş Yol Kesiti için Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi

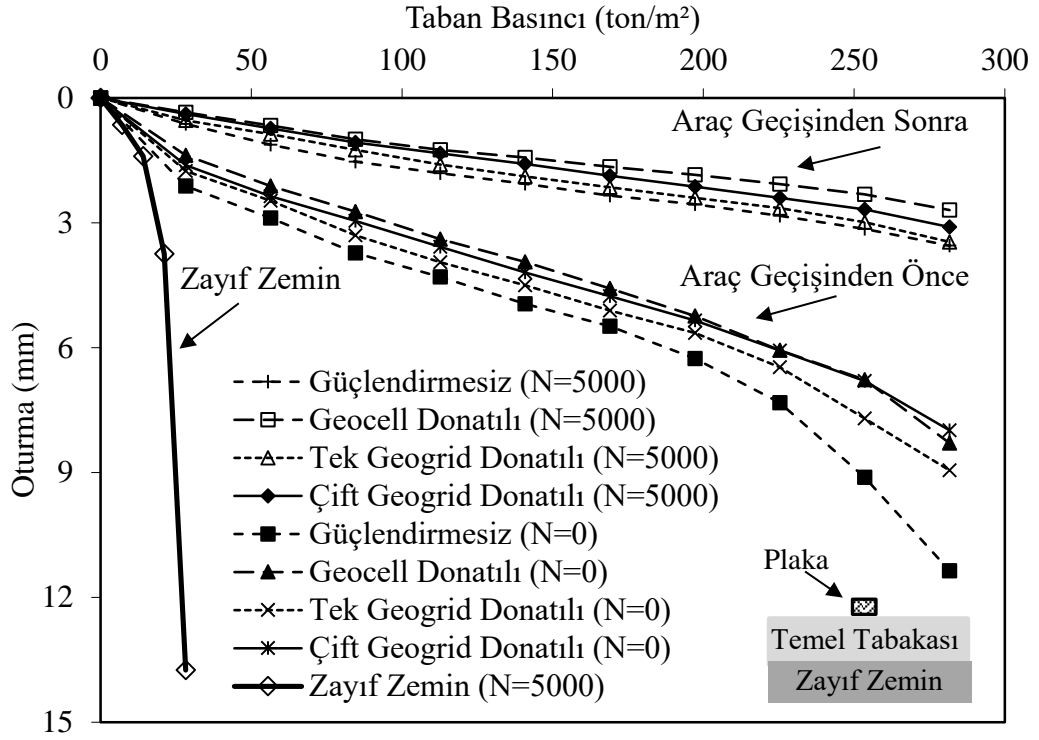
Şekil 4.5'te ise Seri II deneylerinden elde edilen oturma - taban basıncı ilişkisi görülmektedir. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, eğriler incelendiğinde, aynı oturma değerleri için güçlendirmesiz kesitin taban basıncı değerleri en düşük çıkmıştır. Tek geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite ait eğri gözleendiğinde güçlendirmesiz kesite göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Çift geogrid donatılı ile güçlendirilmiş kesite ait eğri gözleendiğinde tek geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Geocell donatı güçlendirilmiş kesite ait eğri incelendiğinde ise aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin en yüksek çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.5. Seri II Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi

4.3 Seri I ve Seri II Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkilerinin Karşılaştırılması

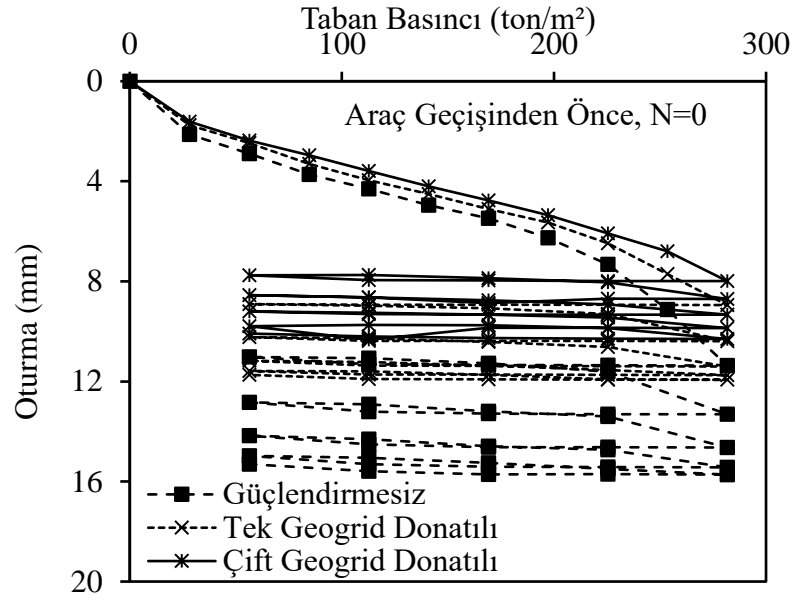
Araç geçişinden önce (Seri I) ve sonra (Seri II) yapılan statik plaka yükleme deneyleri kıyaslanarak, farklı yol kesitlerinin üzerinden belli bir yük geçtikten sonra taşıma gücünün nasıl değiştiği incelenmiştir. Şekil 4.6'da hem Seri I hem de Seri II deneylerine ait oturma – taban basıncı eğrileri görülmektedir. Şekil 4.6'da açıkça görüldüğü gibi araç geçişinden sonra tüm yol kesitlerinde aynı taban basınçları için oturma değerleri önemli ölçüde düşmüştür. Üzerine teker yükü geldikten sonra filler yol temelini dayanımı tüm yol kesitleri için oldukça artmıştır. Ayrıca araç geçişinden önce geocell donatı ile güçlendirilmiş kesit ile çift sıra geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite ait oturma - taban basıncı eğrileri hemen hemen birbirine yakın çıkarken, araç geçişinden sonra geocell donatı ile güçlendirilmiş kesite ait eğri çift sıra geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite ait eğriden daha yüksek çıkmıştır. Geocell donatının güçlendirmede daha efektif çalışmasına, teker yüklemesinin neden olduğu tahmin edilmektedir.



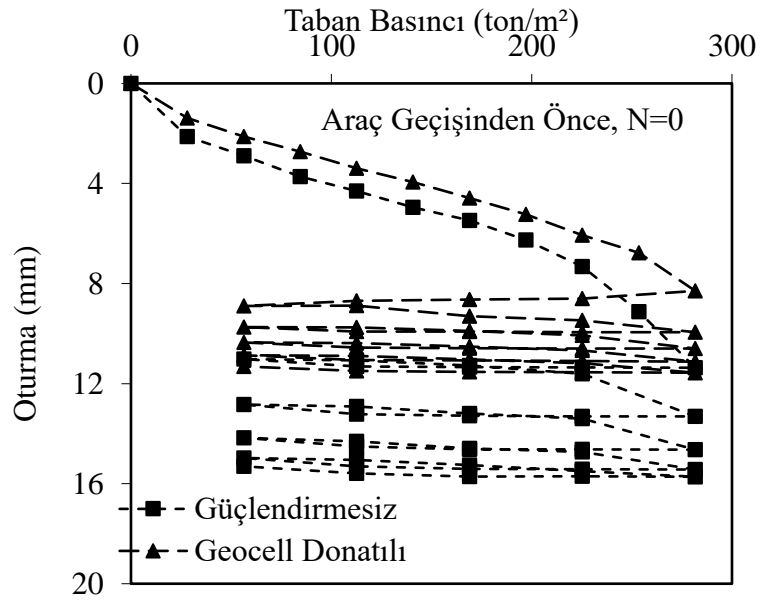
Şekil 4.6. Seri I ve Seri II Deneplerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı Eğrilerinin Karşılaştırılması

4.4 Seri III Deneplerinden Elde Edilen Oturma - Yük İlişkisi

BSK kaplama tabakası yapılmadan önce filler yol temeli üzerinde her kesitte bir adet olmak üzere dört adet plaka yükleme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde, yükleme-boşaltma adımı 5 kez tekrar edilerek tekrarlı plaka yükleme deneyleri gerçekleştirilmiş ve bu deneyler Seri III olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.7’de (1., 3., ve 4. Kesit için) ve Şekil 4.8’de (1. ve 2. Kesit için) Seri III deneylerine ait oturma - taban basıncı ilişkisine ait grafik görülmektedir.



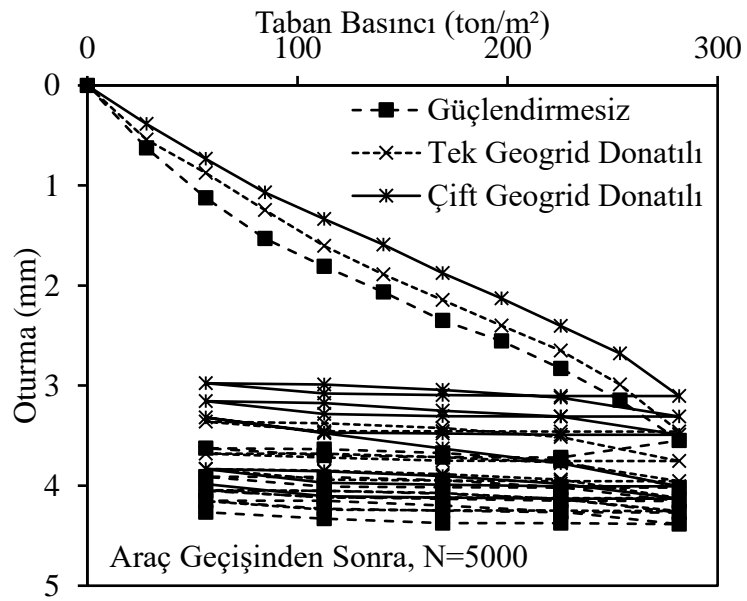
Şekil 4.7. 1., 3., ve 4. Kesitler Üzerinde Yapılmış Seri III Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi



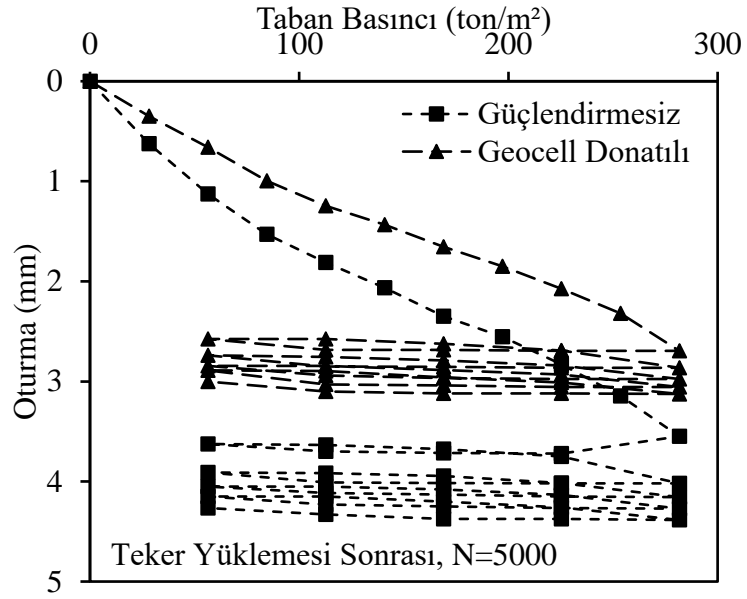
Şekil 4.8. 1. ve 2. Kesitler Üzerinde Yapılmış Seri III Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi

4.5 Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkisi

Belirlenen trafik yükü (5000 kez kamyon geçişi) geçirildikten sonra BSK kaplama altındaki temel tabakasına zarar vermeden düzgün bir şekilde kaldırılmış, sonrasında her kesitte bir adet olmak üzere dört adet daha plaka yükleme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde, yükleme-boşaltma adımı 5 kez tekrar edilerek tekrarlı plaka yükleme deneyleri gerçekleştirilmiş ve bu deneyler Seri IV olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.9'da (1., 3., ve 4. Kesit için) ve Şekil 4.10'da (1. ve 2. Kesit için) Seri IV deneylerine ait oturma – taban basıncı ilişkisine ait grafik görülmektedir.



Şekil 4.9. 1., 3., ve 4. Kesitler Üzerinde Yapılmış Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi

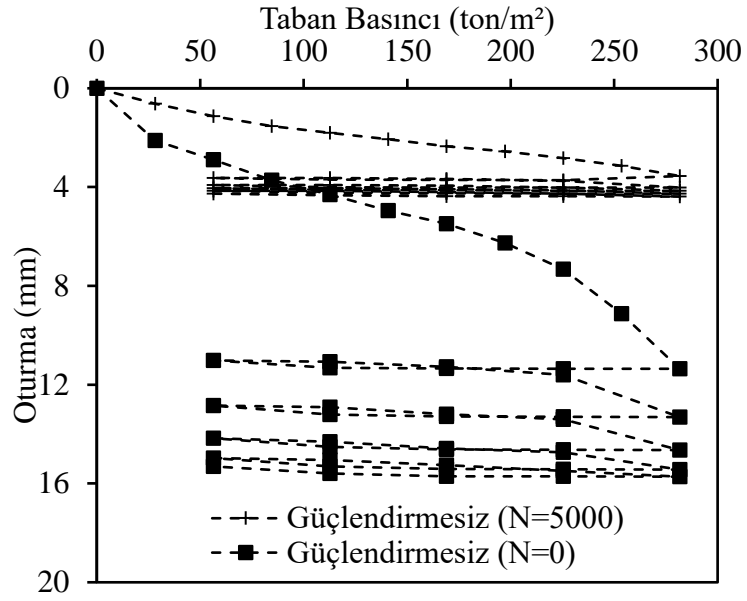


Şekil 4.10. 1. ve 2. Kesitler Üzerinde Yapılmış Seri IV Denejlerinden Elde Edilen Oturma-Taban Basıncı İlişkisi

4.6 Seri III ve Seri IV Denejlerinden Elde Edilen Oturma – Yük İlişkilerinin Karşılaştırılması

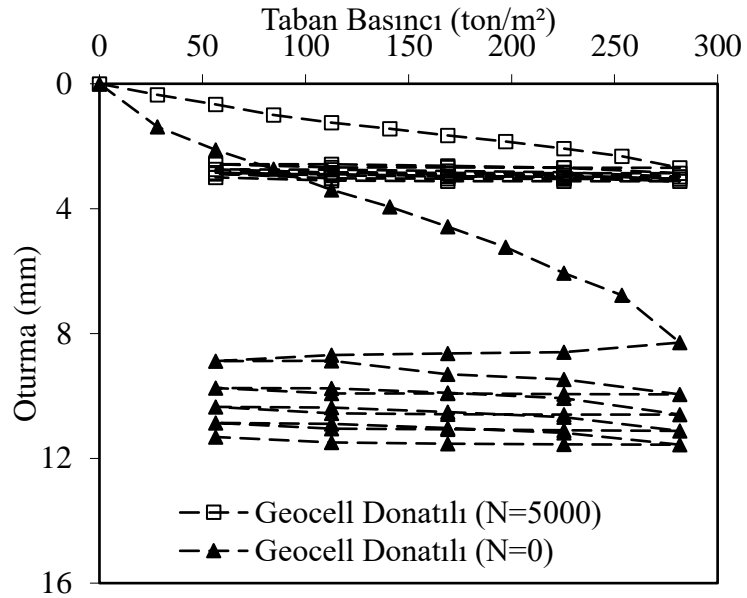
Araç geçişinden önce ve sonra yapılan tekrarlı plaka yükleme denejleri kıyaslanarak, farklı yol kesitlerinin üzerinden belli bir yük geçtikten sonra taşıma gücünün nasıl değiştiği incelenmiştir.

Şekil 4.11’de güçlendirilmemiş yol kesiti için yapılmış Seri III ve Seri IV denejlerine ait oturma – taban basıncı eğrileri görölmektedir. Şekil 4.11’de göröldüğü gibi araç geçişinden sonra güçlendirilmemiş yol kesitinde aynı taban basınçları için oturma değeri önemli ölçüde düşmüştür. Üzerine teker yükü geldikten sonra güçlendirilmemiş yol kesitinin dayanımı ise oldukça artmıştır.



Şekil 4.11. Güçlendirmesiz Yol Kesiti Üzerinde Yapılmış Seri III ve Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi

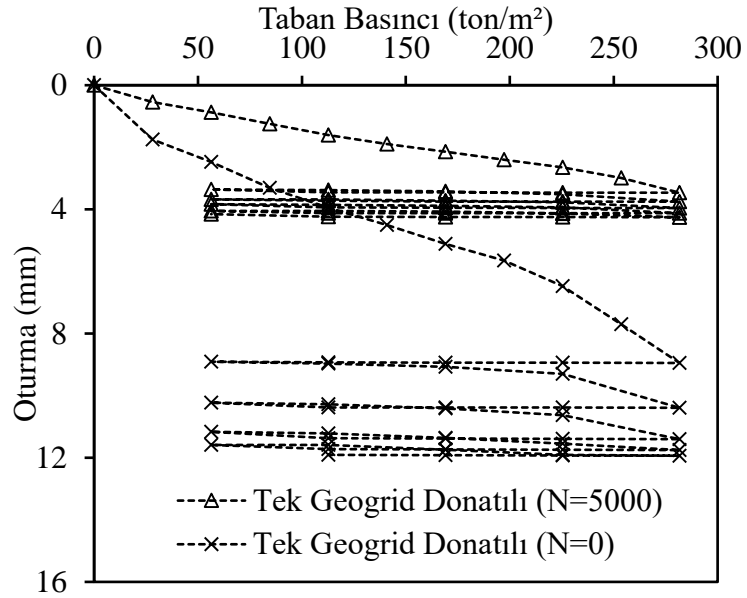
Şekil 4.12’de geocell ile güçlendirilmiş yol kesiti için yapılmış Seri III ve Seri IV deneylerine ait oturma – taban basıncı eğrileri görülmektedir.



Şekil 4.12. Geocell Donatı ile Güçlendirilmiş Yol Kesiti Üzerinde Yapılmış Seri III ve Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi

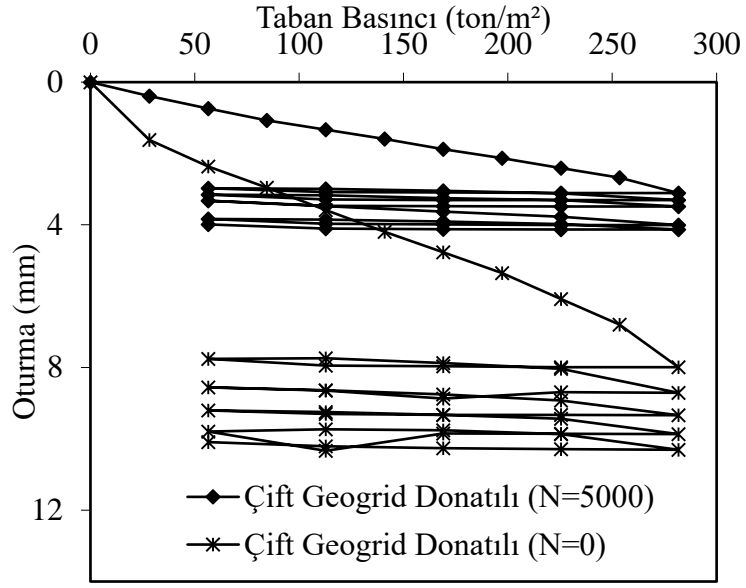
Şekil 4.12’de görüldüğü gibi araç geçişinden sonra geocell ile güçlendirilmiş yol kesitinde aynı taban basınçları için oturma değerleri önemli ölçüde düşmüştür. Üzerine teker yükü geldikten sonra geocell ile güçlendirilmiş yol kesitinin dayanımı oldukça artmıştır.

Şekil 4.13’de tek geogrid donatı ile güçlendirilmiş yol kesiti için yapılmış Seri III ve Seri IV deneylerine ait oturma – taban basıncı eğrileri görülmektedir. Şekil 4.13’de görüldüğü gibi araç geçişinden sonra tek geogrid donatı ile güçlendirilmiş yol kesitinde aynı taban basınçları için oturma değerleri önemli ölçüde düşmüştür. Üzerine teker yükü geldikten sonra tek geogrid donatı ile güçlendirilmiş yol kesitinin dayanımı oldukça artmıştır.



Şekil 4.13. Tek Geogrid Donatılı ile Güçlendirilmiş Yol Kesiti Üzerinde Yapılmış Seri III ve Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma - Taban Basıncı İlişkisi

Şekil 4.14’de çift geogrid donatı ile güçlendirilmiş yol kesiti için yapılmış Seri III ve Seri IV deneylerine ait oturma – taban basıncı eğrileri görülmektedir. Şekil 4.14’de görüldüğü gibi araç geçişinden sonra çift geogrid donatı ile güçlendirilmiş yol kesitinde aynı taban basınçları için oturma değerleri önemli ölçüde düşmüştür. Üzerine teker yükü geldikten sonra çift geogrid donatı ile güçlendirilmiş yol kesitinin dayanımı oldukça artmıştır.



Şekil 4.14. Çift Geogrid Donatı ile Güçlendirilmiş Yol Kesiti Üzerinde Yapılmış Seri III ve Seri IV Deneylerinden Elde Edilen Oturma-Taban Basıncı İlişkisi

4.7 Göçme Yüklerinin Hesaplanması

Bölgesel (yerel) kayma kırılmasının olduğu zeminlerde göçme noktası belirgin olmaz. Bu durumda göçme yükünü belirlemek için log yöntemi kullanılır. Oturma – taban basıncı eğrisinin her iki eksenini de logaritmik olarak çizilir. Daha sonra oturma (log) – taban basıncı (log) eğrisinin doğrusal olan başlangıç ve son kısmının kesişme noktası göçme yükünü verir (Uzuner, 1988). Bu yöntem kullanılarak zayıf kil zeminin göçme yükü (q_u) 18 t/m^3 (176.52 kPa) olarak bulunmuştur.

Plaka yükleme deney sonuçlarından elde edilen verilere göre oturma – taban basıncı eğrisi eğer 10 mm oturmaya ulaşıncaya kadar bir kırıklık göstermeden düzgün devam ediyorsa, 10 mm oturmaya karşı gelen taban basıncı göçme yüküdür (Dipova ve Cangir, 2013; Uzuner, 1988). Filler yol malzemesi üzerinde yapılan tüm plaka yükleme deneylerinde göçme yükü oturma – taban basıncı eğrisinden belirgin bir şekilde görülememektedir. Araç geçişinden önce güçlendirilmemiş yol kesiti için 10 mm oturmaya karşılık gelen yük göçme yükü olarak kabul edilirse, göçme yükü (q_u) 264 ton/m^3 ($2588,96 \text{ kPa}$) olarak bulunur. Fakat diğer tüm deneylerde 10 mm oturma

gözlenmemektedir. Tüm deneyleri kıyaslayabilmek için plaka yükleme deneyinden elde edilen oturma – taban basıncı eğrisinden 2.7 mm oturmaya karşılık gelen taban basıncı değeri göçme yükü olarak adlandırılmıştır. Çizelge 4.1’de plaka yükleme deneylerinden elde edilmiş göçme yükü değerleri verilmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde, hem araç geçişinden önce hem de araç geçişinden sonra hesaplanan göçme yükü değerinin yüksek çıktığı kesitten, düşük çıktığı kesite doğru sıralarsak; geocell donatılı kesit, çift geogrid donatılı kesit, tek geogrid donatılı kesit ve güçlendirmesiz kesit olarak sıralandığı görülmektedir.

Çizelge 4.1. Plaka Yükleme Deneylerinden Elde Edilen Göçme Yükü (q_u) Değerleri

Araç Geçiş Durumu \ Kesit	Güçlendirmesiz (ton/m ²)	Geocell Donatılı (ton/m ²)	Tek Geogrid Donatılı (ton/m ²)	Çift Geogrid Donatılı (ton/m ²)
Araç Geçişinden Önce	49	83	64	72
Araç Geçişinden Sonra	213	282	228	255

4.8 Yatak Katsayılarının Hesaplanması

Yatak katsayısı, zemini izotrop-elastik ortam kabul ederek, bir temelin her noktasında uygulanan gerilme ile bundan kaynaklanan çökme arasında ölçülen değişmez orandır (TS 5744) (1998). Yatak katsayısı (k), zemine oturmuş bir temelin herhangi bir noktasındaki deplasmanın (s) aynı noktadaki taban basıncına (q) oranına denilir ve Denklem 4.1’de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır. Yatak katsayısını belirlemede plaka yükleme deneyleri kullanılabilir.

$$k = \frac{q}{s} \quad (4.1)$$

Ping ve Sheng (2011) yatak katsayısını hesaplarken oturma – taban basıncı grafiğinde 68.9 kPa (10 psi) taban basıncı ile bu değere karşılık gelen oturma değerini kullanarak

hesaplarken, Bowles (1996) başlangıç doğrusal kısmın eğimini kullanarak hesaplamıştır. Ayrıca TS 5744'de (1998) 1.25 mm'lik oturmayı ve bu oturmaya karşılık gelen taban basıncı değeri kullanılarak yatak katsayısı hesaplanmıştır. Tez kapsamında üç yöntemde kullanılarak yatak katsayıları hesaplanmıştır.

Ping ve Sheng (2011) tarafından önerilen yöntem, zayıf kil zemini için yapılan plaka yükleme deneyinde 68.9 kPa taban basıncı değeri görülmediği için kullanılamamıştır. Bowles (1996) tarafından önerilen yöntem kullanıldığında zayıf zemin için hesaplanan yatak kat sayısı 10000 ton/m³ (98.1 mN/m³); TS 5744'e göre 9600 ton/m³ (94.14 mN/m³) olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.2'de araç geçişinden önce ve sonra yapılmış plaka yükleme deneylerinden elde edilen veriler ışığında hesaplanmış yatak katsayıları verilmiştir. Çizelge 4.2 incelendiğinde, yatak katsayısının hesaplandığı tüm yöntemlerde, elde edilen yatak katsayısı değerinin yüksek çıktığı kesitten, düşük çıktığı kesite doğru; geocell donatılı kesit, çift geogrid donatılı kesit, tek geogrid donatılı kesit ve güçlendirmesiz kesit olarak sıralandığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Plaka Yükleme Deneylerinden Elde Edilen Yatak Katsayıları (k)

Araç Geçiş Durumu \ Kesit	Güçlendirmesiz (ton/m ³)	Geocell Donatılı (ton/m ³)	Tek Geogrid Donatılı (ton/m ³)	Çift Geogrid Donatılı (ton/m ³)
Araç Geçişinden Önce	^a 20909 ^b 13846 ^c 13600	^a 28750 ^b 20833 ^c 20800	^a 24642 ^b 16364 ^c 16000	^a 26538 ^b 17692 ^c 17600
Araç Geçişinden Sonra	^a 53077 ^b 46154 ^c 52000	^a 86250 ^b 87342 ^c 90400	^a 65714 ^b 51200 ^c 67200	^a 76667 ^b 75200 ^c 81600

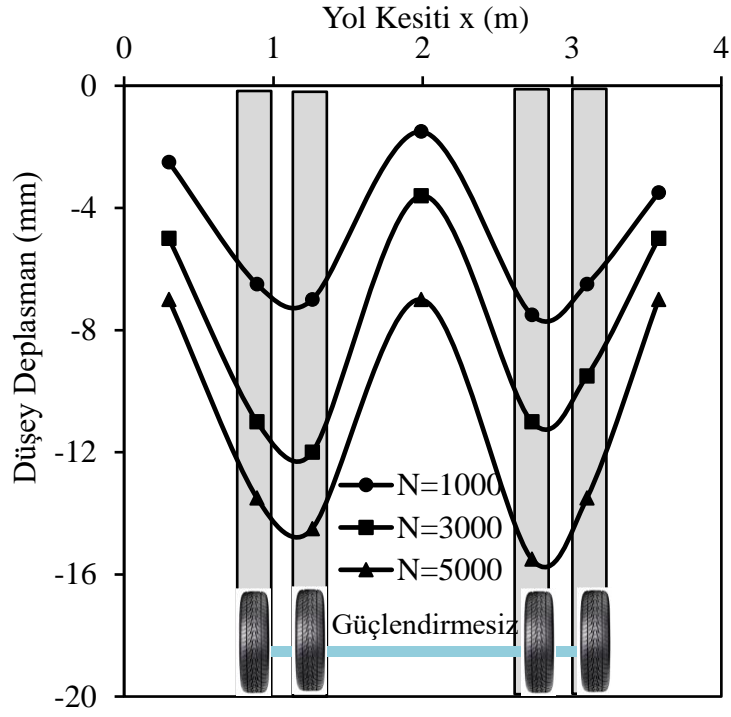
^a: Ping ve Sheng (2011) ; ^b: Bowles (1996) ; ^c: TS 5744 (1998)

4.9 Teker İzi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Tekerlek izi, taşıt tekerleklerinin yola değdiği noktalarda oluşan düşey kalıcı oturmalar olarak tanımlanabilir. Tekerlek izi, yolun bozulmasına neden olur. Bozulan bir yol ise konfor ve güvenlik başta olmak üzere çeşitli sorunlara neden olabilir. Çeşitli yöntemlerle tekerlek izi oluşumu belli düzeylerde azaltılabilmektedir. Bunlardan en önemlilerden olan ve son yıllarda kullanımı giderek artan geosentetik ile güçlendirilmiştir.

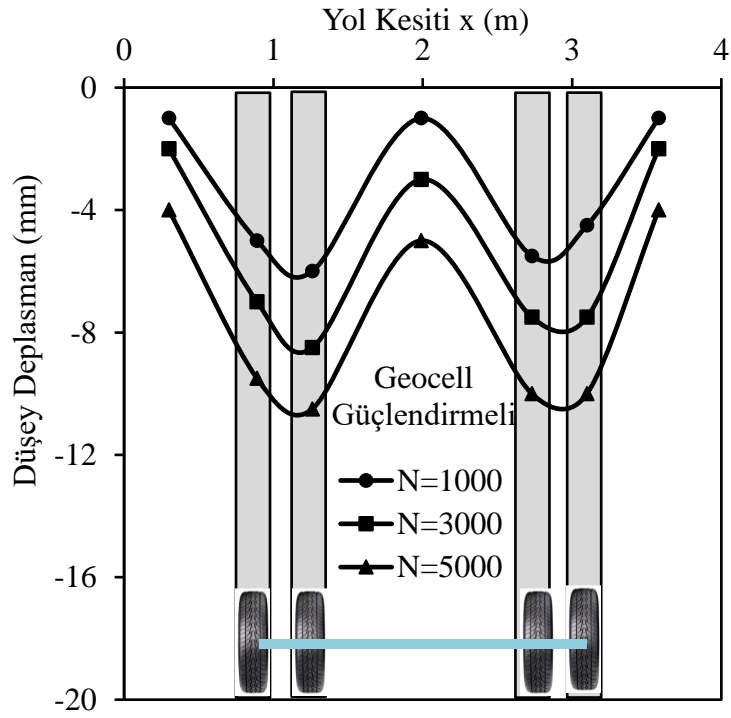
Tez kapsamında geosentetik ürünlerden olan geocell ve geogrid ile güçlendirilmiş yol kesitlerinin tekerlek izini azaltma noktasındaki performansı da incelenmiştir. Hazırlanan deney kesitleri üzerinden, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığının Araçların Yüklenmesine İlişkin Ölçü Ve Usuller İle Tartı Ve Boyut Ölçüm Toleransları Hakkında Yönetmeliğine ve Karayolları Trafik Yönetmeliğinin 128. Maddesine uygun olarak yüklü ağırlığı yaklaşık 26 ton (boş ağırlığı 13.3 ton) olan kamyon geçirilmiştir. Araç 10-20 km/saat arasında değişen hız ile ve her geçişinde yol yüzeyine çizilmiş çizgileri takip ederek deney parkurunu tamamlamıştır. Aracın 1000., 3000. ve 5000. geçişlerinde yol üzerinde işaretlenmiş 92 noktada nivo aleti ile milimetrik kot okumaları yapılmış ve kot farklılıklarına göre oluşan kalıcı oturma değerleri belirlenmiştir.

Şekil 4.15'te belli araç geçişlerinden sonra (1000, 3000 ve 5000 kez araç geçişi) güçlendirmesiz kontrol kesitinde ölçülen tekerlek izi değerleri görülmektedir. Şekilde aracın tekerlerinin izlediği (üzerinden geçtiği) deneyden önce çizilmiş çizgilerde görülmektedir.



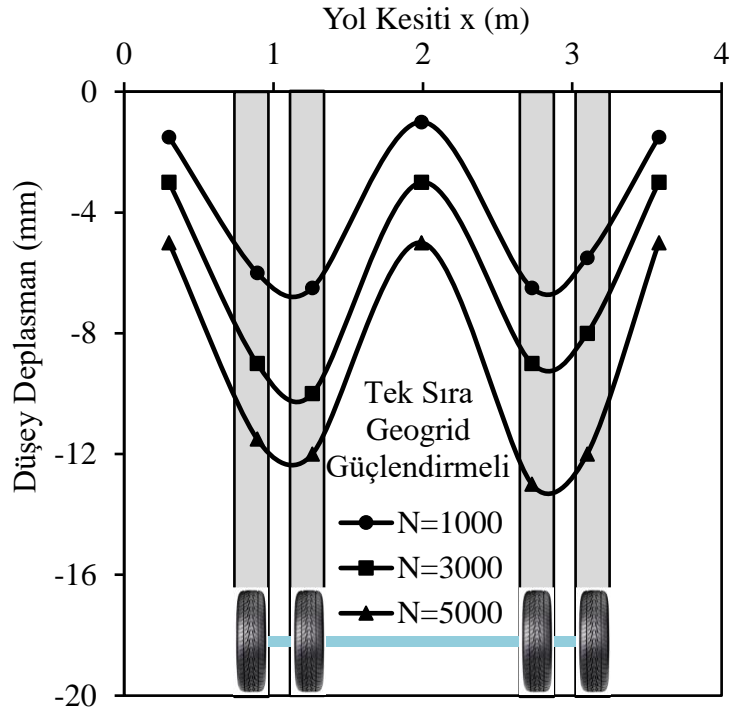
Şekil 4.15. Güçlendirmesiz Kontrol Kesitinde Araç Geçişi-Tekerlek İzi Değişimi

Şekil 4.16'da belli araç geçişlerinden sonra geocell güçlendirmeli kesitte ölçülen tekerlek izi değerleri görülmektedir.



Şekil 4.16. Geocelle Güçlendirilmiş Kesitte Araç Geçişi-Tekerlek İzi Değişimi

Şekil 4.17’de belli araç geçişlerinden sonra tek sıra geogrid güçlendirmeli kesitte ölçülen tekerlek izi değerleri görülmektedir.

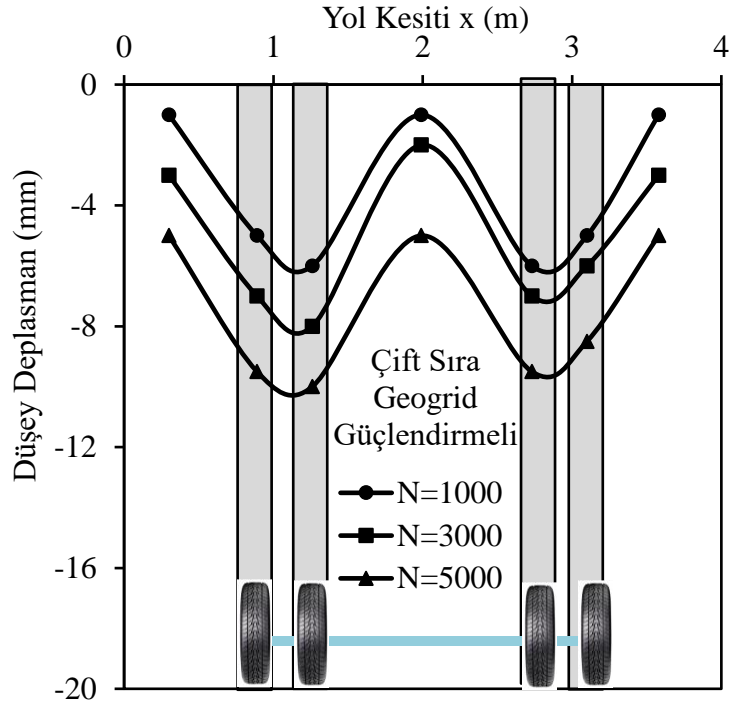


Şekil 4.17. Tek Sıra Geogridle Güçlendirilmiş Kesitte Araç Geçiş-Tekerlek İzi Değişimi

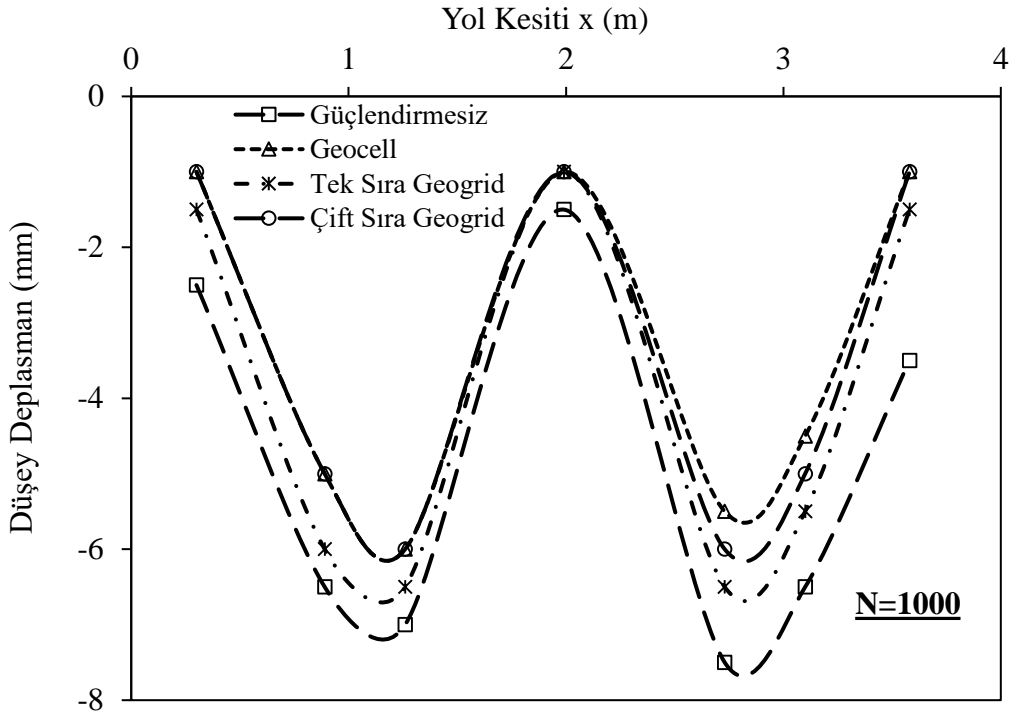
Şekil 4.18’de ise belli araç geçişlerinden sonra çift sıra geogrid güçlendirmeli kesitte ölçülen tekerlek izi değerleri görülmektedir.

Şekil 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18’de görüldüğü gibi tüm deney kesitlerinde araç geçiş sayısı arttıkça tekerlek izi değeri giderek artmaktadır. Ayrıca tekerleklerin temas ettiği noktalarda tekerlek izi daha yüksek değerlere ulaşırken tekerleklerin temas ettiği noktalardan uzaklaştıkça tekerlek izi değeri giderek azalmaktadır.

Şekil 4.19’da 1000 kez araç geçirildikten sonra farklı kesitlerde ölçülen tekerlek izi değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

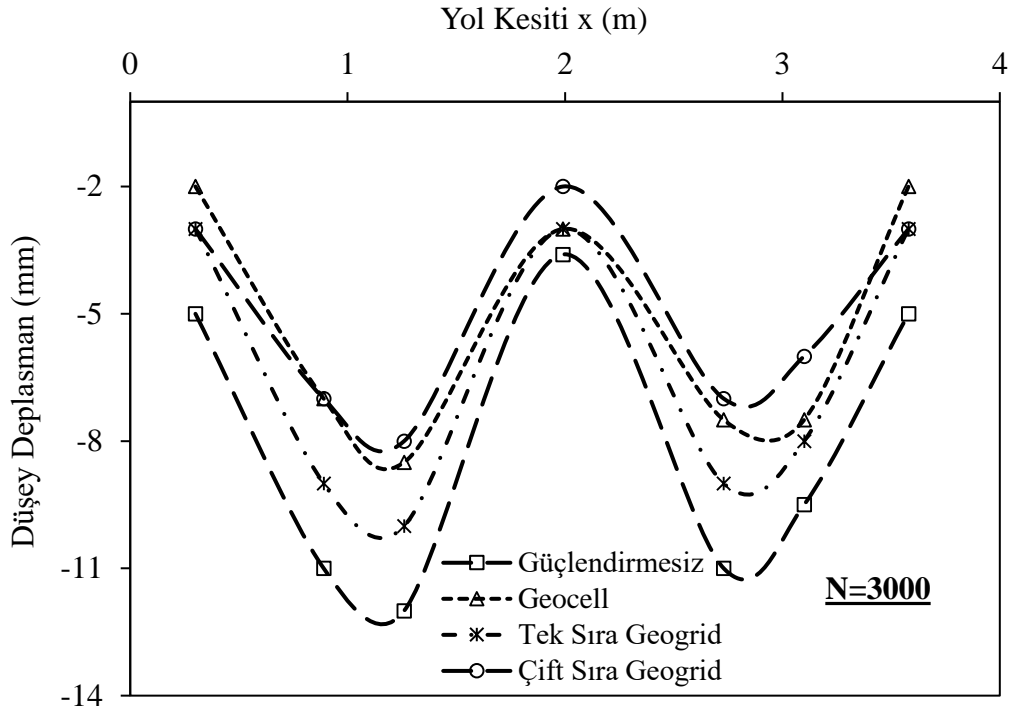


Şekil 4.18. Çift Sıra Geogridle Güçlendirilmiş Kesitte Araç Geçişi-Tekerlek İzi Değişimi



Şekil 4.19. Farklı Kesitlerde Görülen Tekerlek İzi Değişimlerinin Karşılaştırılması

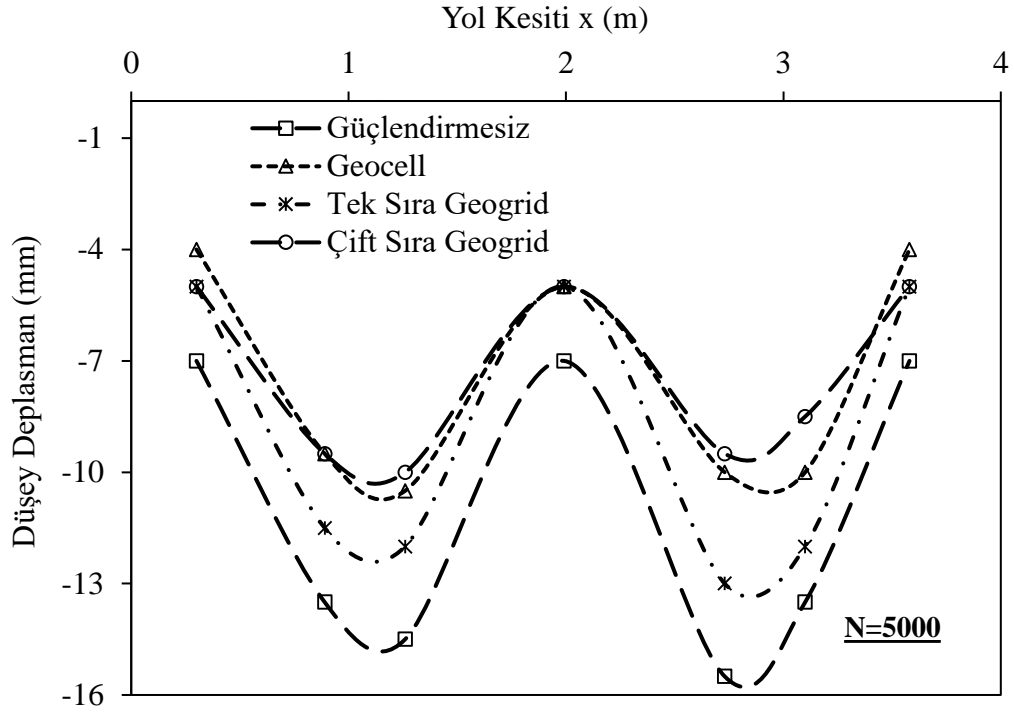
Şekil 4.20’de ise, 3000 kez araç geçirildikten sonra farklı kesitlerde ölçülen tekerlek izi değerleri görülmektedir.



Şekil 4.20. 3000 Kez Araç Geçirildikten Sonra Farklı Kesitlerde Görülen Tekerlek İzi Değerleri

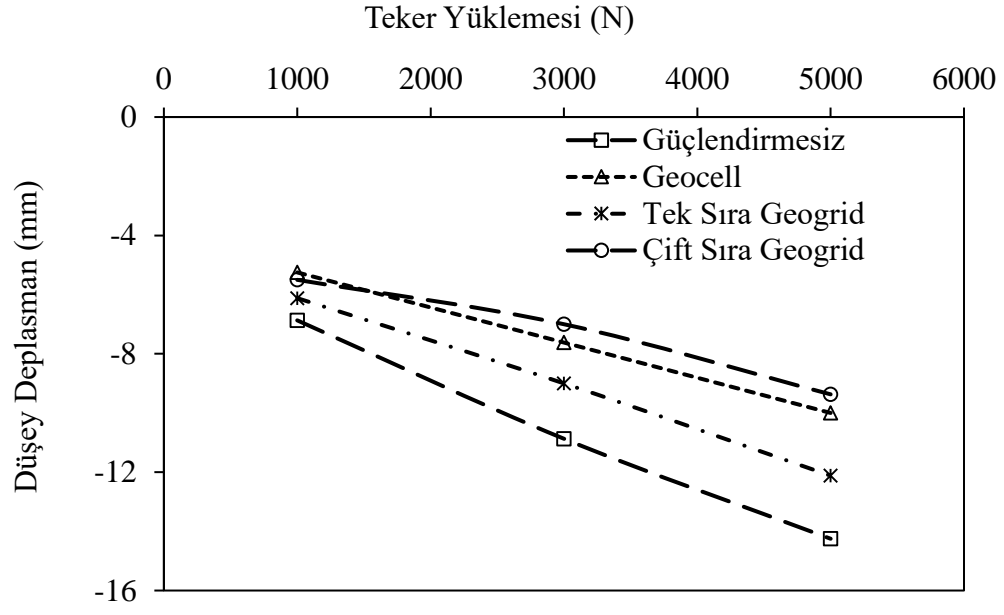
Şekil 4.21’de ise 5000 kez araç geçirildikten sonra farklı kesitlerde ölçülen tekerlek izi değerleri görülmektedir.

Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21’de görüldüğü gibi tüm araç geçiş sayılarında geosentetik güçlendirme tekerlek izi oluşumunu azaltmaktadır. 1000, 3000 ve 5000 kez araç geçirildikten sonra, tekerlek izini azaltmada en iyi performansı gösteren deney kesitinden en kötü performansı gösteren deney kesitine doğru, geocell ile güçlendirilmiş kesit, çift geogrid ile güçlendirilmiş kesit, tek geogrid ile güçlendirilmiş kesit ve güçlendirmesiz kesit olarak sıralanmaktadır.



Şekil 4.21. 5000 Kez Araç Geçirildikten Sonra Farklı Kesitlerde Görülen Tekerlek İzi Değerleri

Şekil 4.22’de teker yüklemesi araç geçiş sayısı - maksimum düşey deplasman ilişkisi görülmektedir. Şekil 4.22’de görüldüğü gibi teker yüklemesi boyunca, maksimum tekerlek izini azaltmada en iyi performansı gösteren deney kesitinden en kötü performansı gösteren deney kesitine doğru sıralandığında; geocell ile güçlendirilmiş kesit, çift geogrid ile güçlendirilmiş kesit, tek geogrid ile güçlendirilmiş kesit ve güçlendirmesiz kesit olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22. Teker Yüklemesi Boyunca Oluşan Düşey Deplasman Davranışı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Çukurova bölgesinde yumuşak temel zemini ($CBR \cong \%10$) üzerine inşa edilen yollarda görülen problemlerden en yaygın olanı teker izi olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelişmelere bağlı olarak bu problem, hem risk oluşturmakta hem de bakım onarımı oldukça zor hale getirmektedir. Tez çalışmasında yumuşak zemin üzerine oturan temel/alttemel tabakası geosentetiklerle güçlendirilmiş yolların performansı gerçek trafik yüklemeleri altında tam ölçekli arazi deneyleri ile incelenmiştir. Deneylerde trafik yüklemeleri altında oluşan kesitlerin teker izi performansı belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada statik ve tekrarlı plaka yüklemeleri gerçekleştirilerek geosentetik güçlendirmelerin yolun yük deformasyon davranışına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca inşa edilen yol kesitlerinin taşıma gücü-oturma davranışını belirlemek için Statik ve Tekrarlı Plaka Yükleme Deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler ışığında yük-oturma ilişkisinden zeminin güvenle taşıyabileceği yük bulunmuştur. Ek olarak plaka yükleme deneyinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, oluşturulmuş kesitlerin göçme yükü ile yatak katsayıları hesaplanmıştır.

Tez kapsamında arazide CBR'ı düşük yumuşak zemin üzerine temel tabakası güçlendirmesiz, geocell ile güçlendirmeli, tek sıra geogrid ile güçlendirmeli ve çift sıra geogrid ile güçlendirmeli olmak üzere BSK kaplamalı dört farklı kesit oluşturulmuştur. BSK kaplama yapılmadan önce plaka yükleme deneyleri yapılmış sonra kaplama tabakası inşa edilmiş ve 5000 kere teker yüklemesine maruz bırakılmış en son ise kaplama tabakası kaldırılarak tekrar plaka yükleme deneyleri yapılmıştır.

Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Seri I deneylerinden elde edilen oturma – taban basıncı ilişkisi eğrileri incelendiğinde, aynı oturma değerleri için güçlendirmesiz kesitin taban basıncı değerleri en düşük çıkmıştır. Tek geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite ait eğri gözlemlendiğinde güçlendirmesiz kesite göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Geocell donatı ve çift geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesitlere ait eğriler hemen hemen birbirine yakın çıkmıştır ve diğer

kesitlerin eğrilerine göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerleri en yüksek çıkmıştır.

2) Seri II deneylerinden elde edilen oturma – taban basıncı ilişkisi eğrileri incelendiğinde, aynı oturma değerleri için güçlendirmesiz kesitin taban basıncı değerleri en düşük çıkmıştır. Tek geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite ait eğri gözlemlendiğinde güçlendirmesiz kesite göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Çift geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite ait eğri ele alındığında, tek geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite göre aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Geocell donatı güçlendirilmiş kesite ait eğri incelendiğinde ise aynı oturma değerleri için taban basıncı değerlerinin en yüksek çıktığı görülmektedir.

3) Seri I ve Seri II deneyleri karşılaştırıldığında üzerine teker yük geldikten sonra filler yol temelini dayanımının tüm yol kesitleri için oldukça arttığı görülmüştür. Ayrıca araç geçişinden önce geocell donatı ile güçlendirilmiş kesit ile çift sıra geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite ait oturma - taban basıncı eğrileri hemen hemen birbirine yakın çıkarken, araç geçişinden sonra geocell donatı ile güçlendirilmiş kesite ait eğri çift sıra geogrid donatı ile güçlendirilmiş kesite ait eğriden daha yüksekte çıkmıştır. Geocell donatının güçlendirmede daha efektif çalışmasına, teker yüklemesinin neden olduğu tahmin edilmektedir.

4) Seri III ve Seri IV deneylerinde yapılan dinamik plaka yükleme deneyleri sonucunda araç geçişinden sonra güçlendirilmemiş yol kesitinde aynı taban basınçları için oturma değerleri, hem kalıcı hem de esnek deformasyon açısından önemli ölçüde düşmüştür. Üzerine teker yükü geldikten sonra güçlendirilmemiş yol kesitinin dayanımı ise oldukça artmıştır.

5) Hem araç geçişinden önce hem de araç geçişinden sonra hesaplanan göçme yükü ve yatak katsayısı değerinin yüksek çıktığı kesitten, düşük çıktığı kesite doğru sıralanışı; geocell donatılı kesit, çift geogrid donatılı kesit, tek geogrid donatılı kesit ve güçlendirmesiz kesit olarak elde edilmiştir.

6) Tüm deney kesitlerinde araç geçiş sayısı arttıkça tekerlek izi değeri giderek artmıştır. Ayrıca tekerleklerin temas ettiği noktalarda tekerlek izi daha yüksek değerlere ulaşırken tekerleklerin temas ettiği noktalardan uzaklaştıkça tekerlek izi değeri giderek azalmıştır.

7) 1000, 3000 ve 5000 kez araç geçirildikten sonra, tekerlek izini azaltmada en iyi performansı gösteren deney kesitinden en kötü performansı gösteren deney kesitine doğru sıralanışı; geocell ile güçlendirilmiş kesit, çift geogrid ile güçlendirilmiş kesit, tek geogrid ile güçlendirilmiş kesit ve güçlendirmesiz kesit olarak elde edilmiştir.

5.2 neriler

İnşa edilen yol kesitlerindeki güçlendirmenin performansını donma çözünme döngüsü sonrasında ve uzun dönem daha yüksek trafik yükleri altında da incelenmesi önerilmektedir. Ayrıca teker izi vs. gibi parametrelerin ölçümünü data logger sistemleri gibi sistemler ve gelişmiş sensörler yardımı ile ölçüp sonuçların gözden geçirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AASHTO, 1986. Guide For Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- Adams M., Collin J., Large Model Spread Footing Load Tests on Geosynthetic Reinforced Soil Foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 123 (1), 66-72, 1997.
- Alawaji, H. A., Settlement and Bearing Capacity of Geogrid-Reinforced Sand over Collapsible Soil. *Geotextile and Geomembranes*, (19), 75–88, 2000.
- Al-Qadi, I. L., Brandon T. L., Valentine R. J., Smith T. E., Laboratory Evaluation of Geosynthetic Reinforced Pavement Sections, In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board No. 1439*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 25-31, 1994.
- Al-Qadi, I. L., Loulizi, A., Janajreh, I., Freeman, T. E., Pavement Response to Dual and New Wide-Base Tires at the Same Tire Pressure, *Transportation Research Record* 1806, TRB, National Research Council, Washington DC. 38-47, 2006.
- Al-Qadi, I. L., Dessouky, S., Tutumluer, E., Kwong, J., Geogrid Mechanism in Low-Volume Flexible Pavements: Accelerated Testing of Full-Scale Heavily Instrumented Pavement Sections, *International Journal of Pavement Engineering*, 12 (2), 121-13, 2011.
- Akinmusuru, J.O., Akinbolade, J.A., Stability of Loading Footings on Reinforced Soil. *Journal of Geotechnical Engineering*, (107), 819-827, 1981.
- ASTM D 854, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Soils by Water Pycnometer.
- ASTM D 3080-90, Standard Test Methods for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
- Bağdatlı, M. E. C., *Esnek Üstyapı Kaplamalarındaki Hasar Özelliklerinin Bakım Maliyetleri Üzerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2010.
- Berg, R.R., Christopher, B.R., Perkins, S., Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base/subbase Courses of Pavement Structures, *Geosynthetics Materials Association*, Roseville, MN, 1-176, 2000.

- Binquet, J., Lee K.L., Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101 (12), 1257-1276, 1975b.
- Binquet, J., Lee, K.L., Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs. Journal of Geotechnical Engineering Division. ASCE, 101 (12), 1241-1255, 1975a.
- Bowles, J. E., Foundation Analysis and Design, 5th edition, McGraw-Hill, New York, 224-226, 1996.
- Cancelli, A., Montanelli, F., In-Ground Test For Geosynthetic Reinforced Flexible Paved Roads, Proceedings of the Conference Geosynthetics '99, Boston, MA, USA, 2, 863-878, 1999.
- Chen, Q., An Experimental Study on Characteristics and Behavior of Reinforced Soil Foundation. Ph Dissertation, Louisiana State University, Baton Rouge, USA, 2007.
- Çiçek, C., Kil Zemin Üzerine İnşa Edilen Granüler Yol Dolgusu Şevlerinin Geogrid Donatıyla İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014.
- Das, B. M., Shin, E. C., Omar, M. T., The Bearing Capacity of Surface Strip Foundations on Geogrid Reinforced Sand and Clay—A Comparative Study, Geotechnical and Geological Engineering, 12 (1), 1-14, 1994.
- Demir, A., Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 443, 2011.
- Dipova, N., Cangir, B., Doğal Zeminlerin ve Yapay Dolguların Plaka Yükleme Deneyi ile İncelenmesi, Geological Engineering Journal/Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 37 (1), 2013.
- Erbil, S., Geosentetik Ürünlerin Türkiye'deki Uygulamaları, Gelişme Potansiyeli, Sağlanan Faydalar ve Mevcut Sorunlar ile Ekonomikliği Üzerine Genel Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- Ghosh, A., Ghosh, A., Bera, A. K., Bearing Capacity of Square Footing on Pond Ash Reinforced with Jute-Geotextile. Geotextiles and Geomembranes, 23 (2), 144-173, 2005.
- Guido, V. A., Chang, D. K., Sweeny, M. A., Comparison of Geogrid and Geotextile Reinforced Slabs, Canadian Geotechnical Journal, (23), 435-440, 1986.
- Güzel, G., Seminer Çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2001.

- Fragaszy, R. J., Lawton, E. C., Bearing Capacity of Reinforced Sand Subgrades, *Journal Of Geotechnical Engineering*, 110, 1500-1507, 1984.
- Hanlı, E., Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- Hass, R., Walls, J., Carroll, R. G., Geogrid Reinforcement of Granular Bases in Flexible Pavements, *Transportation Research Record 1188*, Transportation Research Board, Washington, DC, 19-27, 1988.
- Huang, C. C., Menq, F. Y., Deep-Footing and Wide-Slab Effects in Reinforced Sandy Ground. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 123 (1), 30-36, 1997.
- Huang, C. C., Tatsuoka, K., Bearing Capacity of Reinforced Horizontal Sandy Ground, *Geotextile and Geomembranes*, (9), 51-82, 1990.
- Hufenus, R., Rueegger, R., Banjac, R., Mayor, P., Springman, S., Brönnimann, R., Full-Scale Field Tests on Geosynthetics Reinforced Unpaved Roads on Soft Subgrade. 24 (1), 21-37, 2006.
- Ingold, T. S., Miller, K. S., *Geotextiles Handbook*, Thomas Telford Limited, London, 1988.
- İsfalt, 2002. *Asfalt El Kitabı*, İstanbul
- Karagül, B. Ç., Yol Dolgularının Geogrid Kullanılarak İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- Khing, K. H., Das, B. M., Puri, V. K., Cook, E. E., Yen, S. C., The Bearing Capacity of a Strip Foundation on Geogrid Reinforced Sand, *Geotextiles and Geomembranes*, (12), 351-361, 1993.
- Kocaer, M., Geosentetiklerin Karayolu Yapılarında Kullanımı: Türkiye Örnekleri, Yüksekli Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- Koerner, R. M., *Designing with Geosynthetics*, Prentice Hall, New Jersey, 4th ed, 761 p. 1998.
- Kumar, A., Saran, S., Closely Spaced Footings on Geogrid- Reinforced Sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 129 (7):660-664, 2003.

- Kutluhan, S., Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunun Modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- Kwon, J., Tutumluer, E., Al-Qadi, I. L., Dessouky, S., Effectiveness of Geogrid Base Reinforcement in Low-Volume Flexible Pavements, Presented at the ASCE GeoCongress 2008 Conference, In ASCE Geotechnical Special Publication No. 178, ISBN: 13 978-0-7844-0971-8, 2008.
- Laman, M., Yıldız, A., Model Studies of Ring Foundations on Geogrid Reinforced Sand. *Geosynthetics International*, 10 (5), 142-152, 2003.
- Mandal, J. N., Sah, H. S., Bearing Capacity Tests on Geogrid-Reinforced Clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 11(3), 327-333, 1992.
- Meyerhof, G. G., Hanna, A. M., Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Layered Soils under Inclined Load. *Canadian Geotechnical Journal*, (15), 565-572, 1978.
- Michalowski, R. L., Limit Loads on Reinforced Foundation Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 130 (4), 381-390, 2004.
- Omar, M. T., Das, B. M., Puri, V. K., Yen, S. C., Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundations on Sand with Geogrid Reinforcement, *Canadian Geotechnical Journal*, 30 (3), 545-549, 1993a.
- Omar, M. T., Das, B. M., Yen, S. C., Puri, V. K., Cook, E. E., Ultimate Bearing Capacity of Rectangular Foundations on Geogrid Reinforced Sand. *Geotechnical Testing Journal*. 16 (2), 246-252, 1993b.
- Örnek, M., Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatıyla Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.
- Perkins, S. W., Geosynthetic Reinforcement of Flexible Pavements: Laboratory Based Pavement Test Sections. Publication FHWA/MT-99/8106-1, Montana Department of Transportation, 1999.
- Perkins, S. W., Mechanistic-Empirical Modeling and Design Model Development of Geosynthetic Reinforced Flexible Pavements, Publication FHWA/MT-01-002/99160-1. FHWA , U.S. Department of Transportation, 2001.

- Perkins, S. W., Evaluation of Geosynthetic Reinforced Flexible Pavement Systems Using Two Pavement Test Facilities, Report No. FHWA/MT-02-008/20040, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2002.
- Ping, W., Sheng, B., Developing Correlation Relationship Between Modulus of Subgrade Reaction and Resilient Modulus for Florida Subgrade Soils, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2232, 95-107, 2011.
- Sağlam, R., Karayolu Yapımında Geosentetik Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- Saeed, A., Performance-Related Tests of Recycled Aggregates for Use in Unbound Pavement Layers, Transportation Research Board of the National Academies. NCHRP Report No. 598. National Cooperative Highway Research Program, 2008.
- Schlosser, F., Jacobsen H. M., Juran I., Soil Reinforcement, General Report, VIII European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Balkema, Helsinki, 83–103, 1983.
- Shukla, S. K., and Yin, J-H. (2006). Fundamental of Geosynthetic Engineering Taylor & Francis Group, London, UK.
- Şengül, C. E., Asfalt Kaplamalarda Tekerlek İzinde Oturma ve Su Hasarı Problemlerinin Azaltılması için Sönmüş Kireç Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006.
- Taşçı, A., Piroliz Edilmiş Atık Araç Lastiklerinden Elde Edilen Atık Yağ ve Karbon Siyahı ile Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcının Reolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2010.
- Tutumluer, E., Al-Qadi, I. L., Kwon, J., Dessouky, S., Geogrid Base Reinforced Asphalt Pavements: Analysis Approach and Benefits, Invited Keynote Paper, In Proceedings of the 2nd National Geosynthetics Conference of the Turkish Chapter of International Geosynthetics Society, Boğaziçi University, İstanbul, Turkey, November 16-17, 2006.
- TS 5744, İnşaat Mühendisliğinde Temel Zemini Özelliklerinin Yerinde Ölçümü, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 35 s, 1998.
- Uzuner, B. A., Plaka Yükleme Deneyi Üzerine, Türkiye Mühendislik Haberleri, 1988.

- Vesic, A. S., Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 99 (SM1), 45-73, 1973.
- Wayne, M. H., Han, J., and Akins, K., The Design of Geosynthetic Reinforced Foundations, *Proceedings of ASCE's 1998 Annual Convention and Exposition, ASCE Geotechnical Special Publication*, 76, 1-18, 1998.
- Wasage, T. L. J., Ong, G. P., Fwa, T. F., Tan, S.A., Laboratory Evaluation of Rutting Resistance of Geosynthetics Reinforced Asphalt Pavement, *Journal of the Institution of Engineers*, 44 (2), 29–44, 2004.
- Webster, S. L., Geogrid Reinforced Base Courses for Flexible Pavements for Light Aircraft: Test Section Construction, Behavior Under Traffic, Laboratory Tests, and Design Criteria, Technical Report GL-93-6, ASAE Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA, Pp:86, 1992.
- Yang, X., Numerical Analyses of Geocell Reinforced Granular Soils Under Static Repeated Loads, Ph.D. Dissertation, University of Kansas, Lawrence K.S. 2010.
- Yang, X., Han, J., Pkharel, S. K., Manandhar, C., Parsons, R. L., Leshchinsky, D., Halahmi, I., Accelerated Pavement Testing of Unpaved Roads with Geocell-Reinforced Sand Bases, *Geotextiles and Geomembranes*, 95–103, 2012.
- Zornberg, J. G., Advances in the Use of Geosynthetics in Pavement Design, *Geosynthetics India'11*, 23-24 September, IIT Madras, Chennai, 2011.
- Zou, W., Wang, Z., Zhang, H., Field Trial for Asphalt Pavements Reinforced with Geosynthetics and Behavior of Glass-Fiber Grids, *J. Perform. Constr. Facil.*, 21 (5), 361–367, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı :Mesut OVALI
2. Doğum Tarihi :19/01/1976
3. Ünvanı :İnşaat Mühendisi
4. Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lise	Lise		1993
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Fırat Üniversitesi	1999
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ve Mustafa Kemal Üniversitesi Ortak Tezli Yüksek Lisans Programı	-

5. Akademik Ünvanlar:

Görevi	Bölümü	Kurumu	Yıl
			XXXX

6. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Mühendis	Osmaniye Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü	2002
Yol Şube Müdürü	Osmaniye Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü	2003
İl Müdürü	Osmaniye Köy Hizmetleri Müdürlüğü	2005
İmar ve Kentsel İyileştirme Müdürü	Osmaniye İl Özel İdaresi	2006
Yol ve Ulaşım Hizmetleri Müdürü	Osmaniye İl Özel İdaresi	2010
Genel Sekreter Yrd.	Osmaniye İl Özel İdaresi	2014

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:**