

**KARAYOLU GÜZERGÂH ÇALIŞMALARINDA
DOLGU PROBLEMİNE KARŞI
DAVRANIŞ MODELİ ARAŞTIRMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Eren BALABAN

Eskişehir 2017

**KARAYOLU GÜZERGÂH ÇALIŞMALARINDA DOLGU PROBLEMİNE
KARŞI DAVRANIŞ MODELİ ARAŞTIRMASI**

Eren BALABAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yard. Doç. Dr. Mehmet İnanç ONUR**

**Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Ekim 2017**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Eren BALABAN'nın "Karayolu Güzergâh Çalışmalarında Dolgu Problemine Karşı Davranış Modeli Araştırması" başlıklı tezi 16/10/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı	Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı):	Yard. Doç. Dr.	Mehmet İnanç ONUR	
Üye :	Yard. Doç. Dr.	Emrah PEKKAN	
Üye :	Yard. Doç. Dr.	Kamil Bekir AFACAN	

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

KARAYOLU GÜZERGÂH ÇALIŞMALARINDA DOLGU PROBLEMİNE KARŞI DAVRANIŞ MODELİ ARAŞTIRMASI

Eren BALABAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ekim 2017

Danışman: Yard. Doç. Dr. Mehmet İnanç Onur

Kazık destekli donatılı dolgu inşası ve bu dolguların davranışına olan ilgi son yıllarda artmaktadır. Bu ilginin sebebi ise, bu şekilde inşa edilen dolgularla alt tabakada bulunan yumuşak zeminlere olan yük iletiminin oldukça azaltılmasıdır. Bu sebeple görülen oturma miktarları azalmaktadır. Ayrıca düşey su drenajı gibi klasik yöntemlere göre çok daha az bakım masrafı olması da dolguların kazık destekli ve donatılı olarak inşa edilmesinde tercih edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada kazık destekli donatılı dolguların yük aktarım mekanizmasını anlayabilmek amacıyla sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Yapılan analizlerde, kullanılan kazıkların rijitliği, kazıklar arası mesafe, kullanılan donatının rijitliği ve sayısı ile yeri, dolgu malzemesinin elastisite modülü ve içsel sürtünme açısı, donatıların yerleştirildiği çalışma platformunun kalınlığı, içsel sürtünme açısı ve elastisite modülü değiştirilerek bunların kazıkta ve donatı altında meydana gelen oturma miktarlarına, kazık başlığına etkiye gerilme miktarı, donatı altında kalan bölgeye etkiyen gerilme miktarına, dolgunun en üst ve simetri eksenindeki oturma miktarı ile yatay deplasmana olan etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Tüm bunlara ek olarak, inşa sonrası dolguya etkiyecek olan trafik yükünün etkileri de bu çalışma sırasında göz önünde bulundurulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Kazık destekli donatılı dolgu, Oturma, Kazık, Donatı, Geosentetik, Dolgu.

ABSTRACT

STUDY ON BEHAVIOUR OF FILLS DURING HIGHWAY CONSTRUCTION

Eren BALABAN

Department of Civil Engineering

Anadolu University, Graduate School of Sciences, September 2017

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet İnanç Onur

Reinforced piled embankments has been gaining interest over the past years. The reason of this interest is, reinforced piled embankments significantly decrease load transfer to soft soil underneath the embankment. Due to this reason, observed settlements are decreased. Reinforced piled embankments have less maintenance cost compared with traditional embankment construction with vertical drains. In order to understand load transfer mechanism of reinforced piled embankments, finite element method is used in this study. Effects of different pile elasticities, different pile distances, different reinforcement stiffnesses, different number of reinforcement and placement patterns, different elasticity of embankment, different angle of friction of embankment, different thickness of working platform where reinforcement usually placed, different elasticity modulus of working platform, different angle of friction of working platform are used during the study in order to see their effects on the settlement of soft soil under the embankment, settlement of pile, stress acting on the pile cap, stress acting on the soil, settlement of the embankment crest on the center line and horizontal deformation of the embankment. Additionally, effect of traffic loading after the construction of embankment is tried to be evaluated.

Keywords: Reinforced – Piled Embankment, Settlement, Pile, Reinforcement, Geosynthetic, Embankment.

TEŞEKKÜR

Hayatımın her anında desteklerini bana hissettiren aileme, ayrıca bu tez için yaptığım analizler sırasında ve yazım aşamasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşime çok teşekkür ederim.

Bu çalışma sırasında elinden gelen her türlü yardımı yapan değerli danışmanım Yard. Doç. Dr. Mehmet İnanç Onur'a teşekkürü bir borç bilmekteyim.

Ayrıca bu çalışmanın son aşaması olan sunum ve öncesinde çok değerli katkılarını sunan sınav komisyonu üyelerine de çok teşekkür ederim.

Eren BALABAN

....../....../20....

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Eren BALABAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
3. SAYISAL MODELLEME	14
3.1. Zemin Malzeme Modelleri	15
3.1.1. Mohr Coulomb modeli	15
3.1.2. Soft Soil model.....	16
3.1.3. Hardening Soil model	16
4. REFERANS PROJE VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	17
5. REFERANS PROJENİN PLAXİS'TE MODELLEMESİ VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	21
6. PARAMETRİK ÇALIŞMA	28
6.1. Kazık Özelliklerinin Davranışa Olan Etkileri	28
6.1.1. Kazık elastisite modulünün etkileri.....	28
6.1.2. Kazıklar arası mesafenin davranışa olan etkisi	36
6.1.3. Kazık çapının davranışa olan etkisi	42
6.1.4. Kazık boyunun dolgu davranışına etkisi	50
6.2. Kullanılan Donatının Etkileri.....	57
6.2.1. Donatı rijitliğinin davranışa olan etkisi	58
6.2.2. Donatı sayısının davranışa olan etkisi.....	61

6.3. Dolgu Özelliklerinin Davranışa Olan Etkisi	82
6.3.1. Elastisite modulünün etkisi	82
6.3.2. İçsel sürtünme açısının etkisi	86
6.4. Granuler Malzemenin Etkisi	90
6.4.1. İçsel sürtünme açısının etkisi	90
6.4.2. Çalışma platformu kalınlığının etkisi	97
6.5. Yumuşak Kil Tabakası Özelliklerinin Davranışa Olan Etkisi	104
6.5.1. İçsel sürtünme açısının etkisi	104
6.5.2. Kohezyonun etkisi.....	110
6.5.3. Yumuşak zemin rijitliğinin davranışa olan etkisi.....	112
6.5.4. Yumuşak zemin tabaka kalınlığının davranışa olan etkisi	115
6.6. Dolgu Üzerine Etkiyen Trafik Yükünün Davranışa Olan Etkisi	122
6.6.1. Kazık özelliklerinin etkisi.....	124
6.6.2. Kullanılan donatının etkisi.....	143
6.6.3. Dolgu özelliklerinin trafik yükü etkisi altında davranışa olan etkisi	158
6.6.4. Granuler malzemenin trafik yükü etkisi altında davranışa olan etkisi	169
6.6.5. Yumuşak kil tabakası özelliklerinin davranışa olan etkisi	174
7. ÖZET VE TARTIŞMA	195
KAYNAKÇA.....	216
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1. Abaqus için verilen malzeme modeli ve modelleme için gerekli modeller..	20
Tablo 5.1. Plaxis modelinde kullanılan malzeme özellikleri	21
Tablo 5.2. Plaxis ile bulunan oturma miktarları ile deneysel olarak ölçülen oturma miktarlarının karşılaştırılması	23
Tablo 5.3. 55 ve 180. günlerde ölçülen ve plaxiste hesaplanan yumuşak zemin ve kazığa etkiyen gerilmeler	23
Tablo 5.4. 55. Günde ölçülen ve hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı	24
Tablo 6.1. 1 metre kazık çapı ve 3d mesafe için elastisite modülünün etkisi	29
Tablo 6.2. P1 ve P2 noktalarında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	39
Tablo 6.3. E4 noktasında farklı zamanlar için hesaplanan gerilmeler	46
Tablo 6.4. E5 noktasında farklı zamanlar için hesaplanan gerilmeler	46
Tablo 6.5. Farklı kazık çapları için oturma miktarı	49
Tablo 6.6. Kullanılan donatı sayısı ve yerleri	58
Tablo 6.7. Farklı gün ve durumlar için S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarı	65
Tablo 6.8. Farklı durumlar için S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen değişim oranı	65
Tablo 6.9. E4, E5 ve E9 noktalarında farklı durumlar için farklı günler de hesaplanan gerilmeler	68
Tablo 6.10. P1 ve P2 noktalarında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının 55 ve 1000. günlerdeki değeri ve sönümlenme zamanı	70
Tablo 6.11. Oturma miktarı.....	75
Tablo 6.12. Farklı elastisite modülü için hesaplanan oturma miktarı ve değişim oranları	82
Tablo 6.13. Farklı elastisite modülleri farklı günlerde oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	85
Tablo 6.14. Farklı içsel sürtünme açısı için P1 ve P2 noktalarında farklı günler de hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı	88
Tablo 6.15. S1 noktasında farklı durumlar için farklı günlerde hesaplanan oturma miktarı	97

Tablo 6.16. S2 noktasında farklı durumlar için farklı günlerde hesaplanan oturma miktarı	98
Tablo 6.17. S4 noktasında farklı durumlar için farklı günlerde hesaplanan oturma miktarı	99
Tablo 6.18. E4 E5 ve E9 noktalarında farklı içsel sürtünme açıları için hesaplanan gerilmeler.....	107
Tablo 6.19. S1 S2 S3 ve S4 noktalarında 55 180 ve 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarı.....	110
Tablo 6.20. E4 E5 ve E9 noktalarında 55 180 ve 1000 gün sonra hesaplanan gerilmeler	111
Tablo 6.21. S1 S2 S3 ve S4 noktalarında 55 180 ve 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarı.....	113
Tablo 6.22. S1 S2 S3 ve S4 noktalarında 55 180 ve 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarları	116
Tablo 6.23. Parametrik çalışma için kullanılan parametreler	123
Tablo 6.24. S1, S2, S3 ve S4 noktaları için hesaplanan oturma miktarının zamanla yüzdelik olarak değişimi.....	127
Tablo 6.25. Farklı günler ve elastisite modülü için trafik yükünün etkisi	128
Tablo 6.26. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	130
Tablo 6.27. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	131
Tablo 6.28. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	132
Tablo 6.29. Farklı günler ve kazık çapları için trafik yükünün etkisi	133
Tablo 6.30. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafikyükü ile değişimi	134
Tablo 6.31. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	134
Tablo 6.32. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	136
Tablo 6.33. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	137
Tablo 6.34. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	138

Tablo 6.35. Farklı günler ve kazık boyları için trafik yükünün etkisi.....	139
Tablo 6.36. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	140
Tablo 6.37. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	141
Tablo 6.38. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	142
Tablo 6.39. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	143
Tablo 6.40. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	144
Tablo 6.41. Farklı günler ve donatı rijitlikleri için trafik yükünün etkisi	145
Tablo 6.42. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	146
Tablo 6.43. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	147
Tablo 6.44. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	147
Tablo 6.45. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	148
Tablo 6.46. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	149
Tablo 6.47. Farklı günler ve donatı yerleşimi için trafik yükünün etkisi.....	149
Tablo 6.48. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	151
Tablo 6.49. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	152
Tablo 6.50. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	152
Tablo 6.51. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	153
Tablo 6.52. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	154
Tablo 6.53. Farklı günler ve donatı yerleşimi için trafik yükünün etkisi.....	155
Tablo 6.54. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	156
Tablo 6.55. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	157

Tablo 6.56. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	157
Tablo 6.57. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	158
Tablo 6.58. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	159
Tablo 6.59. Farklı günler ve donatı yerleşimi için trafik yükünün etkisi.....	160
Tablo 6.60. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	162
Tablo 6.61. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	162
Tablo 6.62. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	163
Tablo 6.63. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	164
Tablo 6.64. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	165
Tablo 6.65. Farklı günler ve donatı yerleşimi için trafik yükünün etkisi.....	166
Tablo 6.66. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	167
Tablo 6.67. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	168
Tablo 6.68. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	168
Tablo 6.69. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	169
Tablo 6.70. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	170
Tablo 6.71. Farklı günler ve farklı granüler tabaka içsel sürtünme açısı için trafik yükünün etkisi	171
Tablo 6.72. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	172
Tablo 6.73. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	173
Tablo 6.74. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	173
Tablo 6.75. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	174

Tablo 6.76. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	175
Tablo 6.77. Farklı günler ve farklı yumuşak zemin içsel sürtünme açısı için trafik yükünün etkisi	176
Tablo 6.78. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	178
Tablo 6.79. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	178
Tablo 6.80. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	179
Tablo 6.81. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	179
Tablo 6.82. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	180
Tablo 6.83. Farklı günler ve farklı yumuşak zemin kohezyon için trafik yükünün etkisi	182
Tablo 6.84. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	183
Tablo 6.85. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	184
Tablo 6.86. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	184
Tablo 6.87. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	185
Tablo 6.88. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	186
Tablo 6.89. Farklı günler ve farklı yumuşak zemin rijitliği için trafik yükünün etkisi	187
Tablo 6.90. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	188
Tablo 6.91. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	188
Tablo 6.92. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	189
Tablo 6.93. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	190
Tablo 6.94. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim	190

Sayfa

Tablo 6.95. Farklı günler ve farklı yumuşak zemin tabaka kalınlığı için trafik yükünün etkisi	191
Tablo 6.96. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi	192
Tablo 6.97. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı.....	193
Tablo 6.98. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi	194
Tablo 6.99. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim.....	194

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Kazıkla desteklenmiş donatılı dolgularda yük dağılımı	3
Şekil 3.1. (A) Plaxiste plane – strain model. (B) Plaxiste axi – symmetric model	14
Şekil3.2. (A) 6 node eleman ve gerilme noktaları (b) 15 node eleman ve gerilme noktaları	15
Şekil 4.1. Zemin tabakaları ve özellikleri.....	17
Şekil 4.2. İnşa edilen dolgudan bir kesit.....	18
Şekil 4.3. Basınç sensörleri yerleşim planı.....	19
Şekil 5.1. Referans modelden alınan bir ekran görüntüsü	22
Şekil 5.2. S1 ve S4 noktalarında gözlenen oturma miktarları	24
Şekil 5.3. S2 ve S3 noktalarında gözlenen oturma miktarları	25
Şekil 5.4. E9’da gözlemlenen gerilme – zaman grafiği.....	25
Şekil 5.5. E9’da gözlemlenen gerilme – zaman grafiği.....	26
Şekil 5.6. Hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı.....	26
Şekil 6.1. S1’de meydana gelen elastisite modülüne bağlı değişim.....	29
Şekil 6.2. S2’de meydana gelen elastisite modülüne bağlı değişim	30
Şekil 6.3. S2’de meydana gelen elastisite modülüne bağlı değişim	30
Şekil 6.4. S4’te meydana gelen elastisite modülüne bağlı değişim.....	31
Şekil 6.5. E4 için farklı kazık elastisite modülü için hesaplanan gerilme	32
Şekil 6.6. E5 için farklı kazık elastisite modülü için hesaplanan gerilme	32
Şekil 6.7. E9 için farklı kazık elastisite modülü için hesaplanan gerilme	33
Şekil 6.8. P1 noktasında gözlemlenen aşırı boşluk suyu basıncı.....	34
Şekil 6.9. P2 noktasında gözlemlenen aşırı boşluk suyu basıncı.....	34
Şekil 6.10. Dolgu üst noktasında görülen oturma miktarının zamanla değişimi.....	35
Şekil 6.11. Elastisite modülüne bağlı olarak yatay deplasman derinlik ilişkisi	35
Şekil 6.12. S2 noktasındaki oturumların farklı kazıklar arasındaki mesafeye göre değişimi	36
Şekil 6.13. S3 noktasındaki oturumların farklı kazıklar arasındaki mesafeye göre değişimi	37
Şekil 6.14. Dolgunun orta noktasında meydana gelen oturma miktarı	37

Şekil 6.15. Dolgunun orta noktasında 55. günden sonra meydana gelen oturma miktarı	38
Şekil 6.16. Zemin yüzeyinde dolgu yükünden dolayı oluşan gerilmeler (a) E4 (b) E5 .	40
Şekil 6.17. P1 noktası için farklı kazıklar arası mesafeler için oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	40
Şekil 6.18. P2 noktası için farklı kazıklar arası mesafeler için oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	41
Şekil 6.19. Kazıklar arası mesafeye bağlı olarak değişen yatay deplasman.....	41
Şekil 6.20. Oluşan yatay deplasmanların zamana bağlı değişimi.....	42
Şekil 6.21. 0,5m ve 1m çaplı kazıkların oturma davranışları	43
Şekil 6.22. Kazık çaplarındaki değişime göre kazıklarda hesaplanan eksenel yük.....	43
Şekil 6.23. Farklı kazık çapının aynı noktadaki kazığın oturma miktarına etkisi	44
Şekil 6.24. Farklı kazık çapına sahip modellerde s3 noktasında meydana gelen oturma miktarı	45
Şekil 6.25. Kazık çaplarındaki değişime göre kazıklarda hesaplanan eksenel yük.....	45
Şekil 6.26. E4 noktasında farklı kazık çapları için hesaplanmış gerilme	46
Şekil 6.27. E5 noktasında farklı kazık çapları için hesaplanmış gerilme	47
Şekil 6.28. P1 noktası için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının değişimi	47
Şekil 6.29. P2 noktası için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının değişimi	48
Şekil 6.30. Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı.....	49
Şekil 6.31. Kazık çapının yatay deplasmana olan etkisi.....	50
Şekil 6.32. Yatay deplasmanın zamanla olan değişimi	50
Şekil 6.33. S1 noktasında meydana gelen oturmalar.....	51
Şekil 6.34. S2 noktasında meydana gelen oturmalar.....	52
Şekil 6.35. S3 noktasında meydana gelen oturmalar.....	52
Şekil 6.36. S4 noktasında meydana gelen oturmalar.....	53
Şekil 6.37. E4 noktası için hesaplanan gerilmeler.....	54
Şekil 6.38. (a) E5 noktası için hesaplanan gerilme (b) E9 noktası için hesaplanan gerilme	54
Şekil 6.39. Farklı kazık boyları için p1 noktasında meydana gelen boşluk suyu basıncı	55

Şekil 6.40. Farklı kazık boyları için p2 noktasında meydana gelen boşluk suyu basıncı	55
Şekil 6.41. Yatay deplasmanların kazık boyuna bağlı olarak derinlik ile değişimi	56
Şekil 6.42. Farklı kazık boyları için yatay deplasmanın zamana bağlı değişimi.....	57
Şekil 6.43. S3 noktasında değişen donatı rijitliğinin oturma davranışına etkisi.....	58
Şekil 6.44. S4 noktasında değişen donatı rijitliğinin oturma davranışına etkisi.....	59
Şekil 6.45. E9 noktasında farklı donatı rijitliği için hesaplanan gerilme miktarı.....	59
Şekil 6.46. P1 noktası için farklı donatı rijitliği için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı	60
Şekil 6.47. Dolgu yüzeyinde donatı rijitliğine bağlı olarak hesaplanan oturma miktarı ..	60
Şekil 6.48. Yatay deplasmanın donatı rijitliğine bağlı değişimi.....	61
Şekil 6.49. Yatay deplasmanın donatı rijitliği ve zamana bağlı değişim	61
Şekil 6.50. İki katmanlı donatı kullanılmasının S1 noktası için hesaplanan oturma miktarına etkisi.....	62
Şekil 6.51. İki katmanlı donatı kullanılmasının S2 noktası için hesaplanan oturma miktarına etkisi.....	63
Şekil 6.52. İki katmanlı donatı kullanılmasının S3 noktası için hesaplanan oturma miktarına etkisi.....	63
Şekil 6.53. İki katmanlı donatı kullanılmasının S4 noktası için hesaplanan oturma miktarına etkisi.....	64
Şekil 6.54. İki katmanlı donatı kullanılmasının E4 noktası için hesaplanan gerilmeye etkisi.....	66
Şekil 6.55. İki katmanlı donatı kullanılmasının E5 noktası için hesaplanan gerilmeye etkisi.....	67
Şekil 6.56. İki katmanlı donatı kullanılmasının E9 noktası için hesaplanan gerilmeye etkisi.....	67
Şekil 6.57. P1 noktasında farklı durumlar için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı....	68
Şekil 6.58. P2 noktasında farklı durumlar için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı....	69
Şekil 6.59. İki donatının dolgu yüzeyinde meydana gelen oturmaya etkisi	71
Şekil 6.60. Donatı sayısı ve yerinin yatay deplasmana olan etkisi.....	71
Şekil 6.61. Donatı sayısı ve yerinin yatay deplasmana olan etkisi ve zamanla değişimi	72

Şekil 6.62. Üç katman donatı kullanılması sonucu S1 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma	73
Şekil 6.63. Üç katman donatı kullanılması sonucu S2 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma	73
Şekil 6.64. Üç katman donatı kullanılması sonucu S3 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma	74
Şekil 6.65. Üç katman donatı kullanılması sonucu S4 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma	75
Şekil 6.66. E4 noktası için üç katmanlı donatı ve farklı durumlar için hesaplanan gerilme	76
Şekil 6.67. E5 noktası için üç katmanlı donatı ve farklı durumlar için hesaplanan gerilme	77
Şekil 6.68. E9 noktası için üç katmanlı donatı ve farklı durumlar için hesaplanan gerilme	78
Şekil 6.69. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	79
Şekil 6.70. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	79
Şekil 6.71. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı durum ve zamana bağlı değişimi.....	80
Şekil 6.72. Üç adet donatının ve farklı yerlerin yatay deplasmana olan etkileri.....	81
Şekil 6.73. Yatay deplasmanın farklı durumlar için zamanla değişimi.....	81
Şekil 6.74. E4 noktasında farklı elastisite modülü değerleri için hesaplanan gerilme miktarı	83
Şekil 6.75. E5 noktasında farklı elastisite modülü değerleri için hesaplanan gerilme miktarı	84
Şekil 6.76. E9 noktasında farklı elastisite modülü değerleri için hesaplanan gerilme miktarı	84
Şekil 6.77. Farklı elastisite modülleri için dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı	85
Şekil 6.78. Farklı elastisite modülü için 55. gün için hesaplanan yatay deplasman miktarı	86

Şekil 6.79. Farklı içsel sürtünme açısı için S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı..	86
Şekil 6.80. Farklı içsel sürtünme açısı için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı..	87
Şekil 6.81. Farklı içsel sürtünme açısı için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı..	87
Şekil 6.82. Farklı içsel sürtünme açısı için S4 noktasında hesaplanan oturma miktarı..	88
Şekil 6.83. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı durum ve zamana bağlı değişimi.....	89
Şekil 6.84. Farklı dolgu içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi.....	89
Şekil 6.85. Farklı dolgu içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasmanın zaman bağlı değişimi.....	90
Şekil 6.86. Farklı içsel sürtünme açısı için S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı..	91
Şekil 6.87. Farklı içsel sürtünme açısı için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı..	92
Şekil 6.88. Farklı içsel sürtünme açısı için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı..	92
Şekil 6.89. farklı içsel sürtünme açısı için S4 noktasında hesaplanan oturma miktarı...	92
Şekil 6.90. E4 noktasında farklı içsel sürtünme açısı için hesaplanan gerilme miktarı .	93
Şekil 6.91. E5 noktasında farklı içsel sürtünme açısı için hesaplanan gerilme miktarı .	93
Şekil 6.92. E9 noktasında farklı içsel sürtünme açısı için hesaplanan gerilme miktarı .	94
Şekil 6.93. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	94
Şekil 6.94. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	95
Şekil 6.95. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı durum ve zamana bağlı değişimi.....	96
Şekil 6.96. Farklı içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi.....	96
Şekil 6.97. Farklı dolgu içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasmanın zaman bağlı değişimi.....	97
Şekil 6.98. Farklı tabaka kalınlığı için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı	98
Şekil 6.99. Farklı tabaka kalınlığı için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı	99
Şekil 6.100. E4 noktasında farklı çalışma platformu kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı.....	100

Şekil 6.101. E5 noktasında farklı çalışma platformu kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı.....	101
Şekil 6.102. E9 noktasında farklı çalışma platformu kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı.....	101
Şekil 6.103. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	102
Şekil 6.104. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	102
Şekil 6.105. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı çalışma platformu kalınlığı ve zamana bağlı değişimi	103
Şekil 6.106. Farklı granuler tabaka kalınlığı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi	103
Şekil 6.107. Farklı granuler tabaka kalınlığı için hesaplanmış yatay deplasmanın zaman bağlı değişimi	104
Şekil 6.108. Farklı içsel sürtünme açıları için S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı	105
Şekil 6.109. Farklı içsel sürtünme açıları için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı	106
Şekil 6.110. Farklı içsel sürtünme açıları için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı	106
Şekil 6.111. Farklı içsel sürtünme açıları için s4 noktasında hesaplanan oturma miktarı	107
Şekil 6.112. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	108
Şekil 6.113. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	109
Şekil 6.114. Farklı yumuşak zemin içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi	109
Şekil 6.115. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı kohezyon değerine ve zamana bağlı değişimi	112
Şekil 6.116. Farklı yumuşak zemin kohezyon değeri için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi	112

Şekil 6.117. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı rijitlik değerine ve zamana bağlı değişimi	114
Şekil 6.118. Farklı yumuşak zemin rijitlik katsayısı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi	115
Şekil 6.119. Farklı tabaka kalınlıkları için s3 noktasında hesaplanan oturma miktarı.	116
Şekil 6.120. E4 noktasında farklı yumuşak zemin kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı.....	117
Şekil 6.121. E5 noktasında farklı yumuşak zemin kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı.....	118
Şekil 6.122. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	118
Şekil 6.123. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi	119
Şekil 6.124. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı yumuşak zemin kalınlığı ve zamana bağlı değişimi	120
Şekil 6.125. Farklı yumuşak zemin tabaka kalınlığı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi	121
Şekil 6.126. Farklı yumuşak zemin tabaka kalınlığı için hesaplanmış yatay deplasmanın zaman bağlı değişimi	121
Şekil 6.127. Trafik yükü altında farklı elastisite modülleri için S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı ve zamanla değişimi	125
Şekil 6.128. Trafik yükü altında farklı elastisite modülleri için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı ve zamanla değişimi	125
Şekil 6.129. Trafik yükü altında farklı elastisite modülleri için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı ve zamanla değişimi	125
Şekil 6.130. Trafik yükü altında farklı elastisite modülleri için s4 noktasında hesaplanan oturma miktarı ve zamanla değişimi	127
Şekil 6.131. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla ve kazık elastisite modülü ile değişimi	129
Şekil 6.132. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı kazık elastisite modülü, trafik yüküne ve zamana bağlı değişimi.....	130

Şekil 6.133. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla ve kazık çapı ile değişimi.....	135
Şekil 6.134. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı kazık çapı ve zamana bağlı değişimi	136
Şekil 6.135. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla ve kazık boyu ile değişimi	141
Şekil 6.136. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı kazık boyu ve zamana bağlı değişimi	142

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c	: Kohezyon
c_u	: Drenajsız kohezyon
E	: Elastisite modülü
E_{50}	: Maksimum gerilmenin yarısı için hesaplanan elastisite modülü
e	: Boşluk oranı
e_0	: Birim basınç altındaki boşluk oranı
κ	: Cam – Clay malzeme modeli şişme indeksi
κ^*	: Değiştirilmiş Cam – Clay malzeme modeli şişme indeksi
k_x	: Yatay yönde zemin geçirgenlik katsayısı
k_y	: Düşey yönde zemin geçirgenlik katsayısı
M	: Kritik durum çizgisi eğimi
I_p	: Plastisite indeksi
ν	: Poisson oranı
λ	: Cam – Clay malzeme modeli sıkışma indeksi
λ^*	: Değiştirilmiş Cam – Clay malzeme modeli sıkışma indeksi
ϕ	: İçsel sürtünme Açısı

1. GİRİŞ

Dünya ve Türkiye’de nüfus hızla artmaktadır. Bu yüzden karayolu, demiryolu, havaalanı gibi altyapı projelerine olan ihtiyaçlarda artmaktadır. Bu talebi karşılamak için ülkeler ya var olan karayolu veya demir yolu hatlarını genişletmekte, veya yeni ulaşım hatları açmaktadır. Ancak artan nüfusla birlikte artan şehirleşme oranı eskiden ulaştırma projeleri için uygun görülmeyen arazilerin yeni yatırımlarda kullanılması için baskı yaratmaktadır. Bu tip arazilerde karşılaşılan en büyük problem ise genellikle düşük taşıma kapasitesi, düşük kayma mukavemeti ve konsolidasyon oturmalarıdır.

Karayolu ve demiryolu inşaatlarında ise hattı sıfır kotundan yükseltmek için, veya hat bir köprüye yaklaşıyorsa yaklaşım dolguları yapılmaktadır. İnşa edilen bu dolgular ise doğal zemine çok büyük yükler uygularlar. Uygulanan bu yükler dolayısıyla temeldeki zemin ya taşıma kapasitesi yeterli olmadığı için göçer veya zamanla ortaya çıkan toplam veya iki nokta arasındaki farklı oturmalar kabul edilemez duruma ulaşabilirler. Bu durumların oluşması proje işletmeye alındığı zaman can ve mal kayıplarına yol açabilirken, ekonomik olarakta büyük kayıplara neden olabilir. Bu nedenle istenilmeyen bu sonuçlardan kaçınmak için geleneksel olarak aşağıdaki önlemler alınmaktadır.

- Dolgu yapılmadan önce doğal zemine ön yükleme yapılması veya dolgunun kademeli bir şekilde inşa edilmesi,
- Oluşan aşırı boşluk suyu basıncının daha hızlı bir şekilde azaltılması ve konsolidasyon oturmasını hızlandırmak için düşey drenajlar yapılması,
- Dolgu malzemesinin daha hafif olacak şekilde seçilmesi veya doğal zemin tabakasındaki yumuşak zeminin kazılarak çıkarılması ve yerine uygun bir malzeme konulması,
- Yapılacak olan dolgunun yükselme eğiminin azaltılması.

Yukarıdaki önlemlere ek olarak Amerika Birleşik Devletlerinde karayolu ve demir yolu inşaatlarından sorumlu bazı kurumlar ise böyle durumlarda yumuşak zeminin iyileştirilebilmesi için çimento esaslı malzemeler kullanılmasını önermektedir. Ancak yukarıdaki yöntemlerin büyük bir kısmı konsolidasyon oturmasının tamamlanmasına, hızlandırılmasına veya malzeme değiştirilerek ortadan kaldırılmasına bağlıdır. Bu nedenle bu tekniklerin uygulanması durumunda yapılacak olan yatırımın uygulamaya geçme süresi oldukça uzamakta veya maliyeti artmaktadır. Sorunlu tabakanın çimento

bazlı karışımlarla iyileştirilmesi ise hem maliyeti arttırmakta hem de çevrenin korunması açısından sıkıntılar yaratmaktadır.

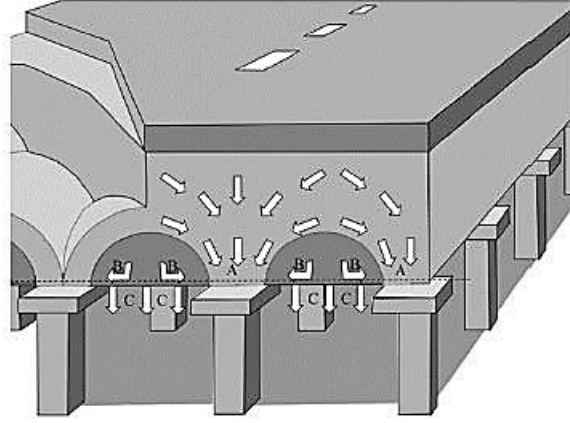
Yukarıda sayılan dezavantajlardan dolayı bazı dolgu uygulamalarında geosentetikler kullanılmışlardır. Geosentetiklerin kullanılmasıyla birlikte dolguda görülen yatay deplasmanlar ve düşey deformasyonlarda azalma görülmüştür. Bazı uygulamalarda ise dolgu altına kazıklar inşa edilerek dolgu yükünün taşıma gücünün daha fazla olduğu alt tabakalara iletilmesi amaçlanmıştır.

Son yıllarda ise konsolidasyon oturmasının olduğu yerlerde geosentetik ve kazık uygulamaları birleştirilerek kazıkla desteklenmiş donatılı dolgular inşa edilmeye başlanmıştır. Kazıkla desteklenmiş donatılı dolguların en büyük avantajı çok kısa sürede inşa edilebilmeleridir. İnşa süreleri oldukça kısarken görülen oturmalar ise klasik yöntemlere göre oldukça azdır. Bu yüzden de daha sonradan ortaya çıkacak olan bakım masrafları bir hayli düşüktür. Bu sebeple ekonomik nedenlerle de tercih edilmektedir.

Kazıkla desteklenmiş donatılı dolgularda oturma miktarının büyük miktarda azalmasının sebebi ise yük aktarım sisteminden kaynaklanmaktadır. Kazık ve yumuşak zeminde görülen oturma farklarından dolayı inşa edilen dolguda kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Oluşan bu kayma gerilmeleri ile dolgu yükü yumuşak zemin yerine kazıklara aktarılmaktadır. Bu mekanizma daha detaylı incelendiği zaman yük aktarımının üç ayağının olduğu görülmektedir. Bunlar aşağıdaki maddeler şeklinde sıralanabilir.

- Zemin içerisinde oluşan kemer yapısı,
- Kullanılan geosentetik donatıda görülen membran etkisi,
- Aralarında bulunan rijitlik farkından dolayı yumuşak zeminden kazığa aktarılan gerilme.

Kazıkla desteklenmiş donatılı dolgularda yük aktarımı yukarıda açıklanmıştır. Her ne kadar dolgu yükünün büyük bir kısmı kazıklar tarafından taşınsa da, tüm dolgu yükü üçe ayrılmaktadır. Bu yük dağılımı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Kazıkla desteklenmiş donatılı dolgularda yük dağılımı [1]

Şekil 1.1’de görüldüğü üzere dolgu yükü A, B ve C kısmı olarak üçe ayrılmaktadır. A, oluşan kemer yapısıyla doğrudan kazıklara aktarılan kısmı simgelemektedir. B kısmı ise donatı üzerinden kazıklara aktarılan yük olup C ise yumuşak zemin tabakası tarafından taşınan yüküdür. Bu yüklerin hesaplanması için literatürde bazı görüş ayrılıkları bulunmaktadır. En önemli görüş ayrılığı ise İngiliz standardı BS8002 ile Alman standardı EBGeo ve nispeten aynı olan Hollanda standardı CUR 226 arasında C yükünün hesaplanmasındadır. BS8002’ye göre C yükü sıfır olarak kabul edilir. Bu şekilde yük aktarımının oluşabilmesi için Şekil 1.1’de gösterilen kemer yapısının dolgu içerisinde oluşması oldukça önemlidir. Kemer yapısının oluşumu ise dolgu yüksekliği ile doğrudan ilgilidir. Dolgu yüksekliğinin oluşacak olan kemer yüksekliğinden daha fazla olması gerekmektedir.

Kazık destekli donatılı dolgular için tasarlanan kazıklar sürtünme kazığı veya uç kazığı olarak tasarlanabilir.

Yapılan bu çalışmada kazıklar arası mesafe, kazık çapları, kazık rijitliği, kazık uzunluğu, kullanılan donatının rijitliği, sayısı ve yeri, dolgu malzemesinin rijitliği ve içsel sürtünme açısı, çalışma platformunun rijitliği, tabaka kalınlığı ve içsel sürtünme açısı ve dolgu inşası bittikten sonra etkiyen trafik yükünün, dolgunun oturma davranışına, kazıkların oturma davranışına, yumuşak zeminin oturma davranışına ve dolgunun yanal deplasmanına olan etkileri incelenmiştir. Bu yüzden A, B ve C yüklerinin analitik olarak hesaplanması bu tezin kapsamı dışındadır. Yapılan bu çalışma için H. L. Liu ve diğerleri tarafından 2007 yılında yapılmış olan “Performance of a Geogrid Reinforced and Pile – Supported Highway Embankment over Soft Clay: Case Study” adlı çalışma baz alınmıştır. Bu çalışma Plaxis 2D sonlu elemanlar programında sayısal olarak

modellenmiştir. Modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar çalışmada verilen ölçüm sonuçlarına yakınsadığı zaman yukarıda sayılan parametreler her analizde sadece biri değiştirilerek her bir parametrenin etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Liu ve diğerleri yaptıkları çalışmanın detayları sonraki bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca kullanılan parametrelerde yine daha sonraki bölümlerde verilmiştir.

2. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tolooiyan ve diğerleri [2] yer altı su seviyesinin hızlı bir şekilde azalması sırasında, dokusuz geotekstilin dolgu davranışına olan etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmada dolgu davranışı iki farklı sayısal yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerden biri donatının drenaj özelliğini yok sayarken, diğeri donatının drenaj özelliğini de göz önüne almaktadır. Bu iki metodla elde edilen güvenlik katsayıları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaya donatısız dolgunun sonuçları da eklenmiştir. Çalışma sonucunda drenaj özelliğine sahip donatı kullanılmasının dolgu davranışına olumlu anlamda en büyük katkıyı sağladığı görülmüştür.

Abrahams Mwasha ve Andrew Petersen [3] yumuşak zemin üzerine inşaa edilmiş ve biyolojik olarak parçalanabilir geotekstil ile donatılmış dolgunun davranışını araştırmışlardır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, dolgu yumuşak zemin üzerine donatısız olarak inşaa edilmiştir. İkinci durumda ise dolgu aynı yumuşak zemin üzerine biyolojik olarak parçalanabilir geotekstil kullanılarak inşaa edilmiştir. Donatısız olarak inşaa edilen dolgu göçmüştür. Donatılı olarak inşaa edilmiş zemin ise göçmemiştir. Bunun sebebi ise dolgunun inşaa edilmesi sırasında, yumuşak zeminin dolgu yükünü taşıyamamasıdır. Donatı kullanılarak inşaa edilmiş dolgu'da, alt tabakanın taşıyamadığı dolgu yükünü donatı taşımıştır. Ancak zamanla azalan aşırı boşluk suyu basıncı ve yumuşak zeminin oturarak taşıma gücünün artması dolayısıyla donatı üzerindeki gerilmeler azalmıştır. Bu yüzden de donatı kullanılarak inşaa edilmiş dolgu göçmemiştir. Bu çalışmada kullanılan biyolojik olarak parçalanabilir tip geotekstiller kullanılırken oldukça dikkat edilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Donatının parçalanma süresi yumuşak zeminin oturma süresinden daha az olmamalıdır.

Anjana Bhasi ve K. Rajagopal [4] tek katmanlı ve kazık ile desteklenmiş dolgu davranışını çalışmıştır. Sayısal modellerden elde edilen sonuçlar bu konuyla ilgili olarak yazılmış Britanya Standardı (BS 8006 – 2010) ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sırasında uç kazıkları ile sürtünme kazıkları kullanıldığı zaman ortaya çıkabilecek olan farklı davranışı görebilmek için, farklı kazık boyları kullanılarak dolgu modellenmiştir. Bu nedenle, kazıklardaki çevre sürtünmesi ve eksenel yükler izlenilmiş, dolgu oturması, dolgunun yanal hareketi ve dolgu altında oluşan gerilmeler farklı kazık boyları için bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Dolgu inşaaı tamamlandığında, tüm kazık boyları için tarafsız eksenin yeri aynıdır. Ancak, zaman ilerleyip, dolgu altındaki yumuşak zemindeki oturma miktarı arttıkça, tarafsız eksenin yeri farklı kazık boyları için farklı yerlerde oluşmuştur. Tarafsız

eksende görülen davranış kazık üzerindeki eksenel yükler için de geçerlidir. Dolgu altındaki basıncın, İngiliz standardında belirtilenin aksine, arttığı görülmüştür. Geotekstil üzerindeki deformasyon miktarı arttıkça, kazık üzerine etkiyen yükte artmıştır. Bu davranış geotekstilin kemer davranışına olan katkısını da göstermektedir. Kullanılan donatının rijitliğine bağlı olmaksızın, kazık boyları arttıkça, dolguda görülen oturma miktarı azalmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulguların Britanya dizayn kodu BS 8006 - 2010 ile olan çelişkilerinden dolayı, bu kod üzerinde yapılması gereken değişiklikler önerilmiştir.

Chungsik Yoo [5], geosentetik ile sarılmış taş kolonlar kullanılarak kil zemin üzerine inşaa edilen dolgunun oturma davranışı ile ilgili olarak bir çalışma yapmıştır. Yapılan bu çalışma da kazığı saran geosentetik boyu, rijitliği, kil tabakasının kıvamı ve inşaa edilen dolgunun yüksekliği değiştirilmiştir. Bu değişkenlerin etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, taş kolon üzerine sarılan geosentetik boyunun görülen oturma miktarına etkisi, inşa edilen dolgu yüksekliğinden daha fazla olduğu görülmüştür. Kullanılan geosentetiğin rijitliğinin de kilin oturması üzerine az da etkisi olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, dolgu ağırlığı ile kil kıvamının oranının tasarım parametresi olarak kullanılabileceği söylenmiştir.

Han – Jiang ve diğerleri [6] ayırık eleman metodu kullanarak donatılı ve kazıklı dolguyu modellemiştir. Kullanılan ayırık eleman metodu nispeten yeni bir metottur ve sonlu elemanlar metoduna göre çok daha fazla bilgisayar gücü gerektirmektedir. Bu nispeten yeni metotta, zemin taneleri, bir birleriyle olan temasları ile birlikte modellenebilmektedir. Bu nedenle zeminlerin yük taşıma mekanizmaları ve kemer davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir. Bu çalışmada, kazıkların yeri ve merkezleri arasındaki mesafeye bağlı olarak zemin kemerinin üç farklı aşaması izlenmiştir. Dolguyu oluşturan parçacıkları arasındaki güçlü temas kemer oluşumunu sağlarken, daha zayıf olan temel tabakası taneleri arasındaki temas, oluşan bu kemerin kararlı bir yapıda kalmasını sağlamaktadır. Çalışma sonucunda yumuşak zeminin elastisitesinin ve dolgu da kullanılan zemin türünün tane boyutunun zemin kemerinin davranışında etkileri olduğu görülmüştür.

Haofen Xing ve diğerleri [7] arazi üzerinde kurdukları bir model de araştırma yapmışlardır. Bu araştırma donatılı ve donatısız dolgu üzerinde olmak üzere iki aşamaya ayrılmıştır. Çalışmanın kazık temelli ve donatılı olan kısmından elde edilen veriler, Alman standardından elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Düşük yüklerde, her

iki durum içinde kazıklarda ölçülen eksenel yüklerin birbirlerine yakın oldukları görülmüştür. Ancak, uygulanan yük miktarı arttıkça, geosentetik donatılı durumda bulunan kazıklardaki eksenel yük miktarı daha çok ölçülmüştür. Buna ek olarak, bu kazıklarda daha düşük negatif çevre sürtünmesi görülmüştür. Kazıklarla birlikte donatı kullanıldığı zaman, donatı üzerinde oluşan gerilmelerin kazık başlığının kenarlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Yukarıda sayılan tüm bu gözlemler, donatı kullanıldığı zaman zeminde oluşan kemer yapısından dolayıdır. Donatı ve kazık kullanılan deneyin sonuçları Alman tasarım koduyla yapılan tasarımlarla karşılaştırıldığı zaman sonuçların birbirleriyle uyduğu görülmüştür. Ancak, Alman tasarım kodunun sadece tek bir tabaka donatı için olduğu unutulmamalıdır.

Jie Huang ve Jie Han [8] donatılı ve kazıklı olarak dolguları sayısal olarak modellemiş ve davranışını incelemiştir. Bu şekilde inşa edilmiş dolguların davranışını etkileyen faktörleri görebilmek amacıyla farklı elastisite modülüne sahip yumuşak zemin, farklı permeabilite, farklı elastisite modülüne sahip kazık, ve farklı kazık arası mesafeler, farklı donatı rijitliği ve farklı inşa hızları değişkenler olarak seçilmiştir. Analizler sırasında her analizde sadece bir parametre değiştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, yukarıda verilen özelliklerin etkileri, inşaa sonrası oturma miktarına, kazık ile donatı oturma miktarlarının farkına, ve konsolidasyon yüzdesine olan etkileri ortaya konmuştur. Yukarıda sayılmış tüm değişkenlerin yine yukarıda sayılmış tüm sonuç değişkenlerini etkiledikleri ortaya çıkarılmıştır. Kazıklar arasındaki mesafe değişiminin en çok etkilediği özelliğin kazık ile donatı arasındaki oturma farkının olduğu belirlenmiştir. Yumuşak zeminin elastisite modülünün ise en çok etkilediği sonuç inşaa sonrası oturma ve donatı üzerinde oluşan gerilme olduğu ortaya konmuştur. Permeabilitenin ise inşaa sonrası oturmaya etki ederken, kullanılan donatının rijitliğinin en çok donatı üzerinde görülen gerilmeyi etkilediği ortaya konulmuştur.

Jie Huang ve Jie Han [9] var olan bir projeyi üç boyutlu sonlu farklar programında modellemiştir. Yapılan çalışmada, drenajlı ve drenajsız malzeme özellikleri kullanılarak dolgunun kısa dönem ve uzun dönem davranışları gözlemlenmiştir. Kısa dönem analizler, zeminin zamana bağlı davranışını yansıtmadığı hatırlanmalıdır. Dolgu ve kazık arasındaki donatıdan kaynaklanan yük aktarım sisteminden dolayı yumuşak zeminde daha düşük aşırı boşluk suyu basıncı gözlenirken kazık üzerindeki eksenel yük artmıştır. Ayrıca dolgunun tepe noktasındaki oturma miktarı, yumuşak zemine göre daha az

olmasına rağmen çok daha önemli olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca yumuşak zemindeki oturma miktarı arttıkça donatı üzerindeki gerilme miktarı azalmıştır.

Jun Zhang ve diğerleri [10] yaptıkları bu çalışmayla kazık temelli ve donatılı dolgularda kullanılan donatının kazığa bağlanması için yeni bir metot önermişlerdir. Yeni metotta donatı kazık başlığına rijit bir şekilde takılmaktadır. Çalışma deneysel olmayıp sayısal modelleme ile yapılmıştır. Donatı rijitliği, kazık aralığı ve elastisite modülü, yumuşak zemin tabakasının elastisite modülü dikkate alınarak parametrik çalışma da yapılmıştır. Tüm bu parametrelerin yatay deplasman ve geosentetik üzerinde oluşan gerilmeleri etkiledikleri ortaya konmuştur. Ayrıca, önerilen yeni bağlantı şekli kazık ile donatı arasındaki oturma farkını, toplam oturmayı, yatay deplasmanları ve oluşan aşırı boşluk suyu basıncını oldukça azaltmıştır. Yeni bağlantı şeklinde, donatı üzerindeki çekme gerilmeleri hem inşa sürecinde, hem de inşa sonrasında daha fazladır.

K. -W. Liu ve R. Kerry Rowe [11] donatının viskozitesinin ve zemin permeabilitesinin zamana bağlı değişiminin dolgu davranışına etkisini incelemiştir. Bunlara ek olarak, kazıklar arası mesafenin, kullanılan kazıkların elastisite modülünün , inşa hızının, kazık uzunluğunun ve donatının etkisinin oturma, kazık ile donatı arasındaki oturma farkına ve yatay deplasmanlara olan etkisi incelenmiştir. Donatının viskos davranışının alt zeminde oluşan aşırı boşluk suyu basıncına bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ancak, zamanla bağlı olarak değişmeyen permeabilite katsayısı kullanıldığı zaman, aşırı boşluk suyu basıncının daha hızlı sönümlendiği görülmüştür. Bu nedenle, permeabilite katsayısının zamana ve zemin viskozitesine göre değiştiği duruma göre, daha az oturma miktarı daha kısa zamanda ölçülmüştür. Bunun sebebi ise zemin içerisinde gerilme dengesinin daha çabuk oluşması ve buna bağlı olarak mukavemetinin daha çabuk artmasıdır. Dolguda görülen yatay deplasmanlara bakıldığı zaman da yukarıda ki çıkarımlar yapılabilir. Daha yüksek dayanımlı ve rijitliği daha fazla olan donatılar kullanıldığı zaman oluşan yük aktarım mekanizması da daha güçlüdür. Bu nedenle, rijitliği daha fazla olan donatı kullanıldığı zaman, dolguda oluşan yatay deplasman ve düşey deformasyonlar daha az olacaktır. Kullanılan kazığın rijitliğinin etkisi çok az olmakla birlikte eğer uç kazığı kullanılırsa, dolguda oluşacak olan yatay ve düşey deformasyonların miktarı büyük miktarda azalmaktadır. Dolguda ölçülen deformasyonları etkileyen en önemli faktörlerden bir diğerinin ise dolgunun inşa süresi olduğu gözlemlenmiştir. Eğer dolgu daha yavaş bir şekilde inşa edilirse, oturma miktarı ile yatay deplasman miktarı daha az olacaktır. Bunun sebebi ise, inşa süreci uzadıkça,

oluşan aşırı boşluk suyu basıncının azalması ve efektif gerilmelerin oluşmasıdır. Unutulmamalıdır ki, kazıklar arasındaki mesafenin artması dolguda aşırı deformasyonlara ve hatta dolgunun yıkılmasına yol açabilir.

Ling Zhang ve diğerleri [12] Winkler temelinden yola çıkarak, kazık ile desteklenmiş donatılı dolguların oturmasını hesaplamak için yeni bir metod önermişlerdir. Önerilen bu metodla, dolgu merkezinde oluşacak olan oturma miktarı tahmin edilebilmektedir. Bu metod ile yapılan hesaplamalar, daha önceden inşa edilmiş ve oturma miktarı bilinen bir dolgu ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, önerilen metod ile hesaplanan sonuçlarla, daha önceden sahada ölçülmüş oturma miktarları birbirlerine yakınsadıkları görülmüştür. Ancak, hesaplanan oturma miktarı, ölçülen oturma miktarından daha azdır. Bunun nedeni ise hesaplama metodunda göz önünde bulundurulmayan inşa yüklerinin etkisi olarak belirtilmiştir. Yeni metod bu şekilde geçerliliği ortaya konduktan sonra parametrik çalışma yapılmıştır. Kazık rijitliği, kazıklar arasındaki mesafe ve kazık ile zemin arasındaki mukavemet gibi parametreler parametrik çalışmada kullanılmıştır. Parametrik çalışma sonucunda kazık rijitliğinin artması, kazık ile yumuşak zemin arasındaki mukavemetin artması ile kazıklar arasındaki mesafenin azalmasının oturma miktarını azalttığı görülmüştür. Bunun sebebi ise, birbirine daha yakın kazıklar kullanmanın, daha rijit kazıklar kullanmanın ve kazık ile yumuşak zemin arasındaki mukavemeti arttırmanın, dolgu yükünün kazığa ve kazıktan yumuşak zemine aktarımını arttırdığından dolayı olduğu açıklanmıştır.

P. Ariyarathe ve D.S. Liyanapathirana [13] yaptıkları çalışmada çeşitli analitik metotları 2 ve 3 boyutlu sayısal metod sonuçları ile karşılaştırmıştır. Gerilme azalma oranı, donatıdaki çekme gerilmesi ve kazıklar tarafından taşınan yükün dolgu yüküne oranı karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Parametrik çalışma için kazık çapı, kazıklar arasındaki mesafe ve dolgu yüksekliği değişken olarak seçilmiştir. Sayısal analizlerden elde edilen bilgilere göre, oluşan kemer yarım daire şeklinde değildir. Dolgu yüksekliği arttıkça, oturma miktarı artmaktadır. Bununla birlikte oluşan kemer daha görünebilir olmaktadır. Sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar ile analitik sonuçlar karşılaştırıldığı zaman Guido, Low ve Abusharar tarafından önerilen hesaplama metotlarının gerilme azalma miktarını daha az olarak buldukları görülmüştür. Ancak bu metotlar kullanılarak hesaplanan donatı üzerindeki gerilme ve deformasyonların oldukça gerçekçi bir şekilde hesaplandıkları görülmüştür. Kazıklar tarafından taşınan yükün dolgu yüküne göre olan oranına göre değerlendirme yapıldığı zaman, Terzaghi, Hewlett ve Rondolf, BS8006 ve

Kempert metotları tutarsız sonuçlar verirken Guido, Low ve Abusharar tarafından önerilen metotların bu oranı çok daha fazla hesapladıkları görülmüştür. Çalışma sonucunda, inşa edilen dolgunun geotmetrisinin, yumuşak zeminin özelliklerinin ve kemer oluşma mekanizmasının analitik metotlara entegre eden yeni çalışmalar yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca, günümüzde kullanılan dizayn metotlarının donatıyla birlikte kullanılan çakıl tabakanın etkisinin de eklenerek geliştirilmesi gerektiği önerilmiştir.

S. Chaiyaput ve diğerleri [14] sınırlı ömrü olan yani zamanla kaybolan geotekstil donatılar kullanarak laboratuvar ortamında dolgu inşa etmişlerdir. Kullanılan geotekstillerden bazıları poliüretan ile kaplanmıştır. Oturma miktarı, oluşan aşırı boşluk suyu basıncı ve geotekstil üzerinde oluşan gerilmeler ölçülmüştür. Deneyler sırasında yapılan gözlemlerde, aşırı boşluk suyu basıncının, dolgu inşası bittikten yedi gün sonra en yüksek değerine ulaştığı ve ilk başlarda daha hızlı azaldığı görülmüştür. Ayrıca en yüksek gerilmenin geotekstilin orta noktasında olduğu ve zamanla arttığıda gözlemlenmiştir. Yapılan bu deneyler daha sonra iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar programı kullanılarak modellenmiştir. Kurulan modeller davranışı iyi bir şekilde gösterirken iki boyutlu modeller geometrik ve sınır şartlarından dolayı sonuçları biraz daha yüksek olarak hesaplamıştır.

Sadok Benmebarek ve diğerleri [15] yapılmış olan bir yol dolgusunun davranışını incelemişlerdir. Dolgu inşası sırasında dolgu tabanına iki sıra donatı yerleştirilmiştir. Dolgunun bir kesitinde, aynı kesitin diğer bölgelerine göre taşıma kapasitesi daha düşük olan bir bölge de bulunmaktadır. Çalışma sırasında, dolguyu modellemek için Plaxis 2D kullanılmıştır. Parametrik çalışma için, zayıf olan bölgenin genişliği ve derinliği, dolgu tabakası olarak kullanılan zeminin içsel sürtünme açısı, donatının çekme rijitliği ile zayıf zeminin oturma katsayısı değiştirilmiştir. Oturma katsayısının artması, farklı oturmalarda artmaya yol açmıştır. Ancak bu katsayının yüksek olması, donatı kullanımı sonucunda görülen farklı oturma miktarındaki düşüşü de arttırmıştır. Kullanılan donatının rijitliğinin artması görülen farklı oturma miktarını azaltmaktadır. Ancak donatı rijitliği belli bir değeri değeri geçtikten sonra etkisi kaybolmaktadır. Parametrik çalışma sonucu elde edilen bir diğer önemli bulguda, zayıf kesitin derinliği arttıkça, ölçülen oturma miktarının da artmasıdır. Ancak oturma miktarı belli bir derinlikten sonra sabit kalmaya başlamaktadır. Bunun sebebi ise, belli bir derinlikten sonra, zeminde tam kemer yapısı oluşmakta ve zayıf bölgeye dolgudan kaynaklanan daha fazla yük etkimemektedir.

Ancak zayıf kesimin kesit içerisindeki uzunluğu arttıkça, ölçülen oturma miktarları da artmaktadır. Bunun sebebi ise zayıf zemin dolayısıyla oluşacak olan kemerin çok daha zor oluşmasındandır. Ayrıca dolgunun içsel sürtünme açısının artması da görülen farklı oturma miktarında azalmaya yol açmıştır. Bunun sebebi ise, dolgudaki daha güçlü malzemenin kemer oluşumunu ve gerilme dağılımını kolaylaştırmasıdır.

Weihua ve Linchang Miao [16] kazık başlığı ve donatı üzerindeki gerilmelerin hesaplanması için yeni bir analitik metot geliştirmişlerdir. Geliştirilen metot donatıda gözlemlenen membran etkisi ile yumuşak zeminin taşıma kapasitesini de hesaplama dahil etmektedir. Geliştirilen metotun doğruluğunun anlaşılabilmesi için elde edilen sonuçlar saha ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar, yeni metot ile elde edilen sonuçların, yüksekliği 7.2m'ye kadar olan dolgular için doğruluk payı gayet yüksek sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu yüzden yeni metot gözden geçirilmiştir. Yapılan düzenlemeler sonucunda modifiye edilen yeni hesaplama metodu literatürde bulunan diğer metotlarla karşılaştırılmıştır.

Balaka Ghosh ve diğerleri [17] Timoshenko'nun kiriş teoremini kullanarak yeni bir analitik model geliştirmişlerdir. Bu model ile tek ancak yüksek rijitliğe sahip donatı ile iki ancak düşük rijitliğe sahip donatı kullanılarak inşa edilen kazıkla desteklenmiş donatılı dolguların performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre düşük rijitliğe sahip iki adet donatı kullanıldığı zaman kazıklar arasında görülen oturma miktarları azalmaktadır.

Julian Lehn ve diğerleri [18] periyodik yükler altında zeminde kemer oluşum mekanizmasını anlayabilmek için sayısal analizler içeren bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya göre oluşan kemerin şekli ilk başlarda değişirken, daha sonra kararlı hale gelmiştir. Gözlemlenen yük iletim modelleri Van Eekelen tarafından önerilen ters üçgen modele benzemektedir.

S. J.M. Van Eekelen [19] bu çalışmada Hollanda da kazıkla desteklenmiş donatılı dolguları dizayn etmek için kullanılan standardı incelemiştir. Bu standardın eksikliklerini ortaya koyan Van Eekelen, standardın yeni versiyonunun eski versiyona göre olan farklılıklarını ortaya koymuştur.

S. J. M. Van Eekelen ve Arjan A. M. Venmans [20] yaptıkları çalışmada dolgu yapımında kullanılan geleneksel metodu, kazıkla desteklenmiş donatı kullanılarak yapılan dolgu ile karşılaştırmıştır. Geleneksel dolgu inşasında, yumuşak zeminde oluşan aşırı boşluk suyu basıncını tahliye etmek için düşey drenaj sistemleri inşa edilmektedir.

Bu iki metot ekonomik açıdan karşılaştırıldığı zaman, iki sistemin maliyetinin hemen hemen birbirine eşit olduğu görülmektedir. Ancak iki sistem geoteknik mühendisliği ve bakım maliyetleri açısından karşılaştırıldığında kazık destekli donatılı sistem öne çıkmaktadır. Bu yüzden yazarlar Hollanda’da inşa edilecek yeni bir yol için kazık destekli donatılı dolgu uygulamasını seçmişlerdir.

Wan – Huan Zhou [21] ve diğerleri tren yolu altında oluşan zemin kemerini ABAQUS adlı sonlu elemanlar programını kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. Sayısal analiz için kurdukları modelin uygun olup olmadığına, program sonuçları ile gerçek ölçümler karşılaştırılarak karar verilmiştir. Bu çalışma sonucunda, kazıklar üzerindeki en yüksek gerilmenin dolgunun tam ortasında bulunan kazıkta meydana geldiği ve bu gerilmenin dolgu yüksekliği arttıkça arttığı görülmüştür. Bunun sebebi ise oluşan yük aktarım kemerinin en yüksek noktaya ulaştığı noktanın dolgunun orta noktası olması şeklinde açıklanmıştır.

H. L. Liu ve diğerleri [22] yaptıkları çalışmada, inşa edilen bir yol dolgusunu incelemişlerdir. Bu dolgunun inşası sırasında birçok deformasyon, gerilme ölçer kullanılmıştır. Ayrıca aşırı boşluk suyu basıncında meydana gelen değişimleri gözlemek için piezometreler kullanılmıştır. Yatay deplasmanların ölçülmesi için ise inklinometre kullanılmıştır. Elde edilen veriler sonlu elemanlar programında dolgunun modellenmesi için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, donatı altında kalan yumuşak zeminde dolgu etkisi dolayısıyla çok az bir gerilme artışı görülürken, kazıklara etkiyen gerilmelerin oldukça fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle yumuşak zeminde gözlemlenen aşırı boşluk suyu basıncı görece düşük kalmıştır. Sonlu elemanlar programıyla gerçek veriler arasında iyi bir eşleşme elde edilmiştir. Yumuşak zeminde oluşan gerilmeler ise oldukça küçüktür. Yapılan analitik çözümleme de ise yumuşak zeminde oluşan gerilmeler ölçüldüğünden daha fazla bulunmuştur. Bunun sebebi ise, analitik çözümlerin kazık etkisini hesaba katmamasıdır.

Rui R. ve diğerleri [23] zemin kemer tip ve oluşumunu görmek için, kum kullanarak bir takım iki boyutlu model deneyler yapmışlardır. Yapılan deneylerde “trapdoor” adlı sistem kullanılmıştır. Dolgu yüksekliği, trapdoor genişliği, kazık genişliği ve kullanılan kumun granülometresi değiştirilerek bu değişkenlerin kemer oluşumu ve yapısına olan etkileri değerlendirilmiştir. Kemer oluşumu ve gelişiminin izlenmesi için resim ile hız ölçümü (particle image velocimetry) tekniği kullanılmıştır. Yapılan deneylere göre; kemer oluşumu sırasında öncelikle simetrik üçgensel kayma yüzeyleri oluşmaktadır.

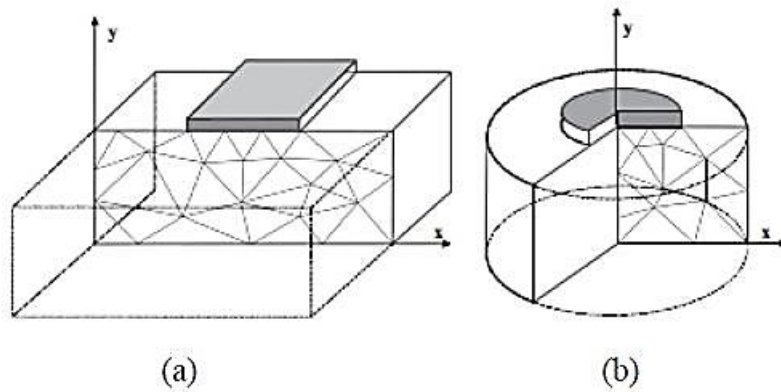
Artan oturma ile birlikte bu kayma düzlemlerinin yükseklikleri ve sayısı artmaktadır. Bu kayma yüzeylerinden sonra ise dolgu yüksekliği, kazıklar arası mesafe ve kazık başlığı boyutlarına bağlı olarak üç farklı kayma yüzeyi oluşumu gözlenmiştir.

S. J. M. Van Eekelen ve diğerleri [24] kazık destekli donatılı dolgu dizaynında kullanılan iki standart olan BS8006 ile Hollanda standardı EBGeo'yu incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Yapılan bu inceleme sonucunda, BS8006'nın bazı dezavantajları olduğu ortaya konulmuştur. Bu dezavantajların başlıcaları, BS8002'nin yumuşak zeminin taşıdığı yükü sıfır olarak kabul etmesi ve geosentetik üzerine etkiyen dolgu yükünü güvenlik için iki katına çıkarmasıdır. BS8002'nin sahip olduğu bu dezavantajları ortadan kaldırmak için yazarlar bir takım değişiklikler önermişlerdir. Ayrıca, bu iki standart ile inşa edilmiş bir dolgu tasarımı yapılmıştır. Ölçülen değerler ile yapılan tasarım sonuçları karşılaştırıldığı zaman Hollanda standardı olan EBGeo'nun ölçümlere daha yakın sonuçlar bulduğu görülmüştür. Ancak BS8002'ye önerilen değişiklikler yapıldığı zaman, BS8002 ile elde edilen sonuçlarında ölçümler sonucu elde edilen sonuçlara daha çok yakınsadığı görülmüştür.

3. SAYISAL MODELLEME

Gerçekleştirilen çalışmada sayısal modelleme için PLAXIS 2D versiyon 8.2 kullanılmıştır. Plaxis programı Hollanda'da bulunan Delft Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir sayısal modelleme programıdır. Programın modelleme kapasitesi yapılmış deney sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadır. Ayrıca programın hesaplama yeteneğinin geliştirilmesi için yüksek lisans ve doktora düzeyinde araştırmalar yapılmakta ve bu araştırmalar gerek özel sektör gerekse Hollanda devleti tarafından desteklenmektedir.

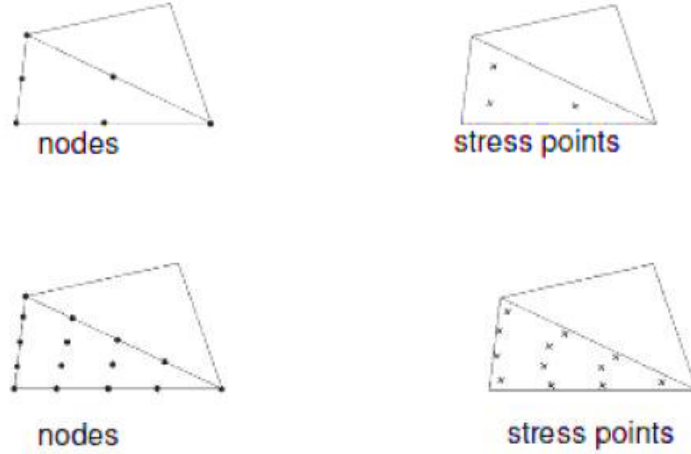
Plaxis 2D veri girişinden önce kullanıcıya öncelikle girilen geometrinin model tipini sormaktadır. Burada kullanıcı “plane strain” ve “axi symmetric” olarak iki model tipinden birini seçebilmektedir. Plane strain model tipinde kullanıcı modelini x, y, ve z düzlemlerinde oluşturmaktadır. Ancak program iki boyutta çözüm yaptığı için $z = 1\text{m}$ kabulünü yapmaktadır. Burada en önemli olan kabul ise z düzleminde meydana gelen deformasyonların sıfır olarak kabul edilmesidir. Axi – Symmetric modelde ise kullanıcının yarattığı geometri çözüm esnasında y eksenini etrafında döndürülerek geometri oluşturulur ve o şekilde çözüm yapılır. Bu modelde x ve z eksenindeki radyal gerilmeler birbirine eşittir. Örnek vermek gerekirse, plane - strain model istinat yapıları veya dolgu gibi inşa şekillerini modellemek için ideal iken, axi symmetric model daire şeklindeki bir kazıyı veya temeli modellemek için kullanılabilir. Aşağıda verilen Şekil 3.1’de iki model arasındaki fark görülebilir.



Şekil 3.1. (a) Plaxiste Plane – Strain model. (b) Plaxiste Axi – Symmetric model

Plaxis modelleme ve çözüm sırasında sonlu elemanlar metodunu kullanmaktadır. Sonlu elemanlar metodu programa girilen bir geometriyi daha küçük parçalara böler. Daha sonra elde ettiği bu daha küçük parçaları öncelikle kendi içerisinde sonra da tüm model üzerinde girilen ve istenilen veriler ışığında çözer. Tüm geometriyi daha küçük

parçalara ayırma işlemine ve her bir küçük parçaya “Mesh” denmektedir. Plaxis bu işlem için üçgen elemanlar kullanmaktadır. Yani girilen geometri daha küçük üçgen elemanlara bölünmektedir. Plaxis’te iki tip üçgen eleman bulunmaktadır. Bu elemanlar Şekil 3.2’de görülebilir.



Şekil 3.2. (a) 6 node eleman ve gerilme noktaları (b) 15 node eleman ve gerilme noktaları

3.1. Zemin Malzeme Modelleri

Plaxis çalışma ekranında uygun geometri oluşturulduğu zaman kullanılacak olan malzemeler programa tanıtılır. Öncelikle kullanılacak zemin özellikleri seçilen malzeme modeline uygun olarak programa girilmelidir. Burada unutulmaması gereken en önemli özellik ise zemin parametrelerinin laboratuvar ortamında doğru bir şekilde belirlenmiş olmasıdır. Plaxis 2D v8.2 içerisinde zeminleri modellemek için kullanılabilecek olan Lineer Elastik model, Mohr – Coulomb model, Soft Soil model, Hardening Soil model, Soft Soil Creep Model, Jointed Rock Model bulunmaktadır. Kullanıcı isterse kendi geliştirdiği bir malzeme modelini de programa tanıtabilmektedir. Yapılan bu çalışmada zemini modellemek için Mohr – Coulomb, Soft Soil ve Hardening Soil modelleri kullanılmıştır. Bu nedenle sadece bu modellerle ilgili olarak kısa bir açıklamaya aşağıda yer verilmiştir. Diğer modeller ile ilgili olarak kullanıcılar Plaxis kullanım kılavuzundaki malzeme modelleri kısmını inceleyerek bilgi sahibi olabilirler.

3.1.1. Mohr Coulomb modeli

Bu model aynı zamanda “perfect plastic” model olarakta bilinmektedir. Bu modelde malzemenin plastik duruma geçip geçmediği tanımlanan bir akma fonksiyonu “f” ile belirlenir ve $f = 0$ şartı sağlandığı zaman malzeme de plastik deformasyonlar oluşturulur. Ancak oluşan plastik deformasyonlar sadece asal gerilme düzleminde oluşmaktadır. Bu

modelin bir diğere dezavantajı ise, deneylerde görülen akma noktasından sonraki gerilme artışı bu modelde yok sayılmaktadır.

3.1.2. Soft Soil model

Soft – Soil model kil tipi normal konsolide zeminlerin modellenmesi için geliştirilmiştir. Bu modelin sağladığı avantajlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Gerilmeye bağlı olarak değişen malzeme rijitliği
- Birincil yükleme ile malzeme üzerindeki yükün azalması ve sonra tekrardan artmasını ayırt edebilme.
- Geçmiş konsolidasyon gerilmesine bağlı olarak analiz yapabilme
- Mohr – Coulom kriterine bağlı olarak kırılma davranışı

Soft – Soil malzeme modeli için gerekli olan verilen konsolidasyon deneyi sonucunda hesaplanabilmektedir.

3.1.3. Hardening Soil model

Hardening Soil model hem yumuşak hem de katı ve sert zeminlerin modellenebilmesi için kullanılan gelişmiş bir malzeme modelidir. Bu modelin Mohr-Coulom malzeme modeline göre üstün olan tarafı ise, bu modelde plastisite asal gerilmeler düzlemine hapsedilmemiştir. Bu nedenle akmadan sonra görülen gerilme artışlarını model üzerine yansıtabilmektedir.

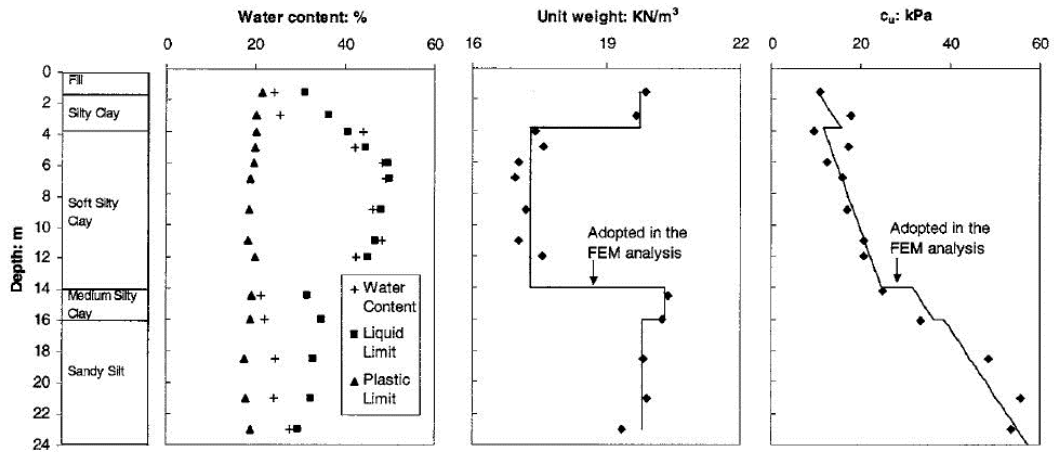
4. REFERANS PROJE VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Literatürde kazıkla desteklenmiş donatılı dolgular ile olarak son yıllarda yapılmış bir çok yayın bulmak mümkündür. Ancak bu yayınların çok az bir kısmı proje ile ilgili H.L. Liu ve diğerlerinin yaptıkları yayın kadar detay içermektedir. Yapılan bu yayın hem zemin tabakaları hakkında oldukça detaylı bileğiler vermekte hem de ölçüm süresince bir çok farklı noktadan farklı ölçümler alınmış ve yapılan yayınlara birlikte diğer araştırmacıların bu verileri kullanması sağlanmıştır.

Yazarların yaptıkları bu çalışmaya konu olan dolgu Çin'in Şangay şehrinin kuzey girişinde yer almaktadır. Dolgu yüksekliği 5,6 metre olup üst kısmının genişliği 35 metredir. Dolgunun kenar eğimi 1:1,5 olarak verilmiştir. Dolgu yapılacak zemin tabakaları ise aşağıdaki gibidir.

- 1,5m kalınlığında iri taneli dolgu
- 2,3m kalınlığında siltli kil
- 10,2m kalınlığında yumuşak siltli kil
- 2m kalınlığında orta katı kıvamında siltli kil
- Kumlu Silt

Yer altı su seviyesi 1,5m olarak ölçülmüştür. Zemin profili ile birlikte tabakaların su muhtevası, plastik limit, likit limit, birim hacim ağırlık ve vane kesme deneyi sonuçları aşağıdaki Şekil 4.1'de verilmiştir.



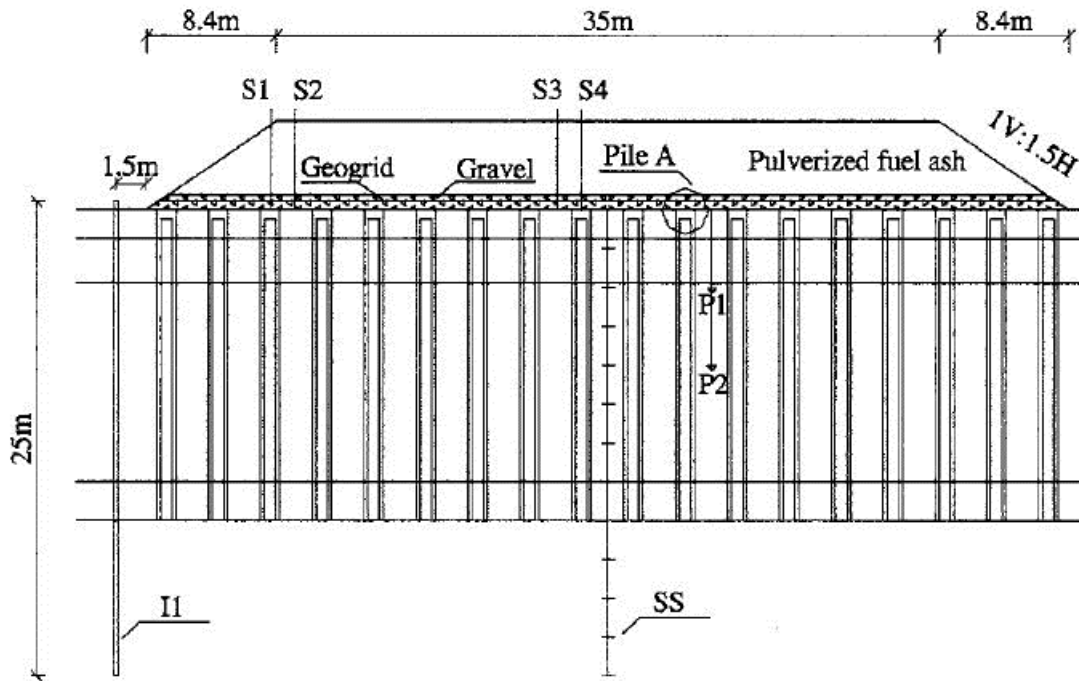
Şekil 4.1. Zemin tabakaları ve özellikleri

Dolgu olarak uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün içsel sürtünme açısı 30 derece, kohezyon 10 kPa ve birim hacim ağırlığı 18,5 kN/m³ olarak verilmiştir. İnşa edilen kazık

destekli donatılı dolgudan bir kesit aşağıdaki Şekil 4.2’te verilmiştir. Dolgu inşaatı toplamda 55 gün sürmüştür. Dolgu toplamda dokuz tabaka halinde inşa edilmiştir.

Dolgu yapımında kullanılan kazıkların boyu 16 metredir. Kazıkların taşıma kapasitesi 600 kN olarak hesaplanırken, kullanılan betonun mukavemeti en az 15 MPa’dır. Kullanılan kazıkların çapı 1 metre olup kazıklar arası mesafe, bir kazığın merkezinden diğer kazığın merkezine 3 metredir. Toplam dolgu alanı ile kazık alanı oranlandığı zaman kazık alanının toplam alana oranı %8,7 olarak bulunmaktadır.

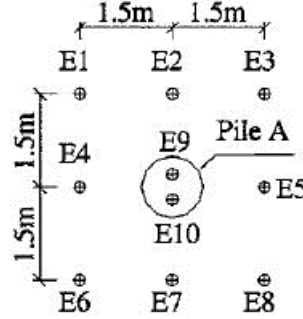
Kazıklar inşa edildikten sonra öncelikle kazıkların üzerine 0,25 metre kalınlıkta çakıl tabakası serilmiştir. Daha sonra tek sıra donatı serilmiştir. Donatının üzerine tekrardan 0,25 metre kalınlığın çakıl tabakası serilmiştir. Çakıl tabakası tekerlekli kompaktör ile sıkıştırılmıştır. Kullanılan donatının çekme dayanımı 90 kN/m olup, emniyetli deformasyon miktarı %8’dir. Donatının rijitliği ise 1180 kN/m’dir.



Şekil 4.2. İnşa edilen dolgudan bir kesit

Yapılan çalışmada kazık ve doğal zemin üzerinde dolgudan dolayı oluşan basıncı ölçmek için toplamda 10 adet basınç basınç sensörü konulmuştur. Bu sensörler Şekil 4.2’de “Pile A” olarak gösterilen simetri ekseninden sonra sağdan 2. Kazık ve etrafına yerleştirilmiştir. Sensörlerden iki tanesi kazık başlığına konulmuşken, geriye

kalan sekiz tanesi kazık etrafına konulmuştur. Basınç sensörlerinin yerleşimi aşağıda verilen Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3. Basınç sensörleri yerleşim planı

Kullanılan basınç sensörlerinden zemin üzerine yerleştirilenler 0 – 0,3 MPa arasında ölçüm yapabilirlerken, kazık başlığına yerleştirilen E9 ve E10 sensörleri 0 – 1 MPa arasında ölçüm yapabilmektedir. Yerleştirilen basınç sensörlerinden E5 ve E8 sensörleri dolgu yapımı sırasında zarar gördükleri için bu sensörlerden veri alınamamıştır.

Dolgu inşası sırasında ayrıca yüzeydeki oturmaları ölçmek için toplamda 4 adet oturma ölçer kullanılmıştır. Bunlardan iki tanesi iki farklı kazık üzerine yerleştirilirken kalan iki tanesi dolgunun yapıldığı zemine yerleştirilmiştir. Oturma ölçerler Şekil 4.2'te görülebileceği üzere, simetri ekseninden sonra solda tarafta kalan 1 ve 7 numaralı kazıklar ile 1 numaralı kazığın 1,5 metre sonrasına ve 7 numaralı kazığın 1,5 metre öncesine yerleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca simetri ekseninde konumlandırılmış 2 ve 24 metre derinliklere konulmuş iki adet daha oturma ölçer kullanılmıştır.

Dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklığa yerleştirilmiş bir adet inklonometre bulunmaktadır. Bu inklonometre ile 24 metre derinliğe kadar oluşan yatay deplasmanlar ölçülmüştür.

İnşa sırasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncını ölçebilmek için 2 adet piezometre kullanılmıştır. Piezometreler kesitteki simetri çizgisinin 6 metre uzağına 4 ve 8 metre derinliğe yerleştirilmiştir.

Dolgu inşası sırasında yerleştirilen tüm bu elemanlar kazıkların inşası bittikten sonra yerlerine konulmuştur. Ölçümler dolgu inşası ve dolgu inşasından sonra alınmaya devam etmiştir. Toplamda 180 gün boyunca ölçüm alınmıştır.

Alınan bu ölçümler, dolgu yapımının Abaqus adlı sonlu elemanlar programında modellenilmesinde kullanılmıştır. Yapılan modellemede dolgu, çakıl ve kaba taneli dolgu

tabakaları Mohr – Coulomb modeli ile modellenirken, yumuşak zemin tabakaları olan, siltli kil, yumuşak siltli kil, orta katı siltli kil ve kumlu silt tabakası modified cam clay malzeme modeli kullanılarak modellenmiştir. Abaqus programında kullanılan veriler aşağıdaki Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Abaqus için verilen malzeme modeli ve modelleme için gerekli parametreler

Malzeme	Malzeme Modeli	Drenaj Şartı	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı	Elastisite Modülü (Mpa)	Poisson Oranı	λ	κ	M	e	$k \cdot 10^{-4}$ (m/gün)
Dolgu	Mohr - Coulomb	Drenajlı	10	30	20	0,30					
Çakıl	Mohr - Coulomb	Drenajlı	10	40	20	0,30					
Kaba Taneli Dolgu	Mohr - Coulomb	Drenajlı	15	28	7	0,30					
Siltli Kil	Modified Cam Clay	Konsolidasyon				0,35	0,06	0,01	1,2	0,87	8,64
Yumuşak Siltli Kil	Modified Cam Clay	Konsolidasyon				0,40	0,15	0,03	0,95	1,79	4,32
Orta Katı Siltli Kil	Modified Cam Clay	Konsolidasyon				0,35	0,05	0,01	1,1	0,88	4,32
Kumlu Silt	Modified Cam Clay	Konsolidasyon				0,35	0,03	0,01	0,28	0,97	43,2

Bu tabloda görülen λ , konsolidasyon eğrisinde eğimin sabit olduğu noktada ki eğim, κ , şişme eğrisinin eğimi, e birim basınç altındaki boşluk oranı, M kritik durum çizgisinin eğimidir. Kazıklar modellenirken ise elastisite modülü 20 GPa ve poisson oranı 0,2 olarak alınmıştır.

5. REFERANS PROJENİN PLAXİS’TE MODELLEMESİ VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Yukarıda anlatılmış olan proje Plaxis 2D v8.2 sonlu elemanlar programında modellenmiştir. Modelleme sırasında dolgu için mohr – coulomb; siltli kil, yumuşak siltli kil ve orta katı siltli kil için soft soil ve kumlu silt tabakası için hardeninin soil malzeme modelleri kullanılmıştır. Modelleme sırasında kullanılan malzeme özellikleri aşağıdaki Tablo 5.1 de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. *Plaxis modelinde kullanılan malzeme özellikleri*

Zemin Türü	E (kN/m ²)	ϕ	c	v	λ^*	κ^*	e_0	k_x (m/gün)	k_y (m/gün)
Dolgu	20000	28	11	0,3	-			129,6	86,4
Çakıl	20000	43	11	0,3	-			129,6	86,4
Kaba Taneli Dolgu	7000	25	17	0,3	-			129,6	86,4
Siltli Kil	-	28	1	0,35	0,036	0,00727	0,65	$1,296 \cdot 10^{-4}$	$8,64 \cdot 10^{-4}$
Yumuşak Siltli Kil	-	19,3	1	0,35	0,069	0,014	1,17	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$
Orta Katı Siltli Kil	-	24,55	1	0,35	0,03	0,006031	0,66	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$4,32 \cdot 10^{-4}$
Kumlu Silt	79710	9,3	1	0,35	-	-	0,78	$6,48 \cdot 10^{-3}$	$4,32 \cdot 10^{-3}$

Tablo 5.1’de verilen λ^* ve κ^* değiştirilmiş cam – clay malzeme modeli parametreleridir. Bu parametreler verilen zeminin yük altındaki oturma ve uygulanan yük kaldırıldıktan sonraki şişme davranışını modellemek üzere geliştirilmiş rijitlik parametreleridir. Aşağıdaki formüller yardımıyla cam – clay malzeme modeli parametrelerinden hesaplanabilmektedirler.

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{1+e_0} \quad (5.1)$$

$$\kappa^* = \frac{K}{1+e_0} \quad (5.2)$$

Yukarıda verilen formüllerdeki “ e_0 ” konsolidasyon testi sırasında numunenin başlangıç boşluk oranıdır. Tablo 5.1’de verilen boşluk oranı değeri e ve M değerleri kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir.

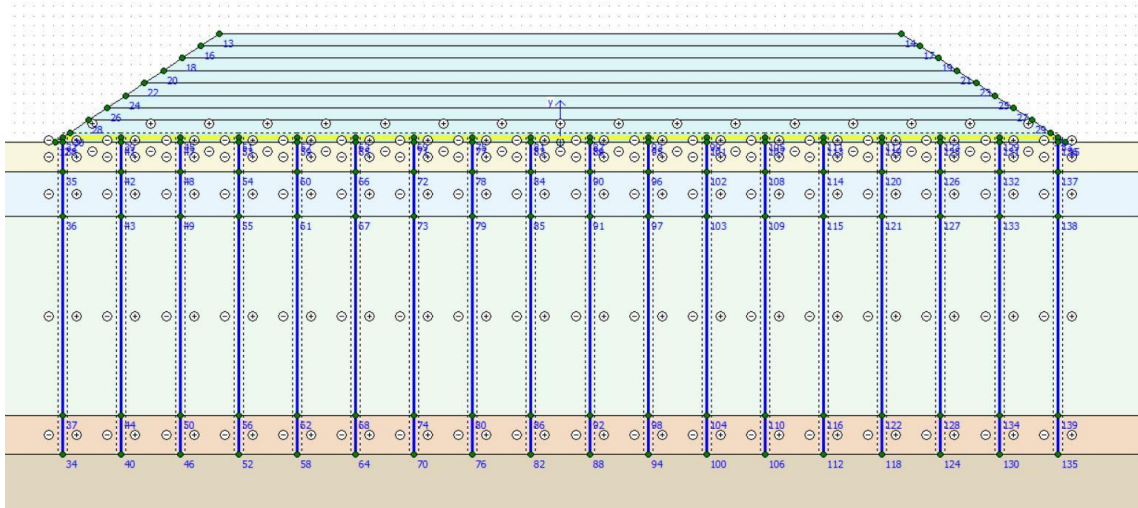
$$e_0 = [(1 + e) - (\lambda - \kappa) \ln 2 - \lambda \ln(\frac{2c_u}{M})] - 1 \quad (5.3)$$

Hardening soil malzeme modeli için elastisite modülünü hesaplamak için ise aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$E^{50} = \frac{15000c_u}{I_p \%} \quad (Stein Stur) \quad (5.4)$$

Plaxiste yapılan modelleme aşağıda verilen Şekil 5.1’de görülmektedir. Şekil 5.1’de verilen dolgu modeli plane – strain koşullarında modellendikten sonra çözüm aşamasına gelinmiştir. Çözüm aşamasında ise plaxis içerisinde bulunan konsolidasyon çözüm metodu kullanılmıştır. Bu çözüm seçeneği ile birlikte deformasyonların zamana bağlı değişimi incelenebilmektedir.

Çözüm sırasında çıkabilecek modelleme problemlerini engellemek adına oluşturulan geometri, dolgu taban uzunluğunun 3 katı olacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca tek yönlü drenaj koşulunu sağlamak amacıyla konsolidasyon sınırlaması kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Referans modelden alınan bir ekran görüntüsü

Model çözümünden sonra veriler dolgu inşasının bitişi yani 55. gün ve inşaa başlacısından 180 gün sonrasının verileri incelenmiştir. 55. gün için S1, S2, S3 ve S4 oturma ölççerlerine denk gelen plaxis sonuçları sırasıyla 15,24 mm 41,56 mm 65,85 mm ve 16,97 mm olarak bulunmuştur. 180. Gün sonuçları ise yine sırasıyla 22,2 mm, 52,54 mm, 85,04 mm ve 28,83 mm olarak bulunmuştur.

Plaxis iki boyutlu olarak çözüm yapığı için, plaxisten E4, E5 ve E9 basınç sensörlerinden veri alınabilmıştır. 55. günde bu sensörlerden alınan veriler 37,8 kPa, 30,1 kPa ve 696,56 kPa'dır. Yine 180. gün için bu sensörlerden alınan veriler 39,5 kPa, 32,7 kPa ve 696,56 kPa'dır.

P1 ve P2 noktalarında Plaxis ile ölçülen aşırı boşluk suyu basıncı 55. günde sırasıyla 9,85 ve 17,57 kPa olarak bulunmuştur. Plaxisten elde edilen bu sonuçların dolgu inşası

sırasında elde edilen değerlerle karşılaştırılması sırasıyla Tablo 5.2, Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te yapılmıştır.

Tablo 5.2. *Plaxis ile bulunan oturma miktarları ile deneysel olarak ölçülen oturma miktarlarının karşılaştırılması*

	S1 (mm)		S2 (mm)		S3 (mm)		S4 (mm)	
	55. Gün	180. Gün	55. Gün	180. Gün	55. Gün	180. Gün	55. Gün	180. Gün
Deneyssel	9	14,3	41	65	63	87	14	19
Plaxis	15,24	22,2	41,56	52,539	65,85	85,04	16,97	28,83
Fark (%)	40,94	35,59	1,35	23,72	4,33	2,30	17,50	34,10

Tablo 5.2'de görülebileceği üzere Plaxis zeminde meydana gelen oturma miktarlarını özellikle 55. gün için iyi bir şekilde hesaplayabilirken, aynı süre içerisindeki kazık uçlarında meydana gelen oturmaları biraz yüksek olarak hesaplamıştır.

Tablo 5.3'ten de görülebileceği üzere Plaxis 55. günde basınçları olduğundan az bir miktar daha fazla tahmin ederken 180. Güne gelindiğinde aradaki fark oldukça düşük miktarlara inmektedir. Buradan anlaşılabileceği üzere Plaxis, yumuşak zemine yükleme yapılırken, gelen yükleri hemen kazık ve zemine iletirken, inşa sırasında yüklerin kazık veya yumuşak zemine iletilmesi belirli bir zaman aralığından sonra oluşmuştur. Bu nedenle oturma miktarlarında 180. günde genel olarak birbirlerine yaklaşmıştır.

Tablo 5.3. *55 ve 180. günlerde ölçülen ve plaxiste hesaplanan yumuşak zemin ve kazığa etkiyen gerilmeler*

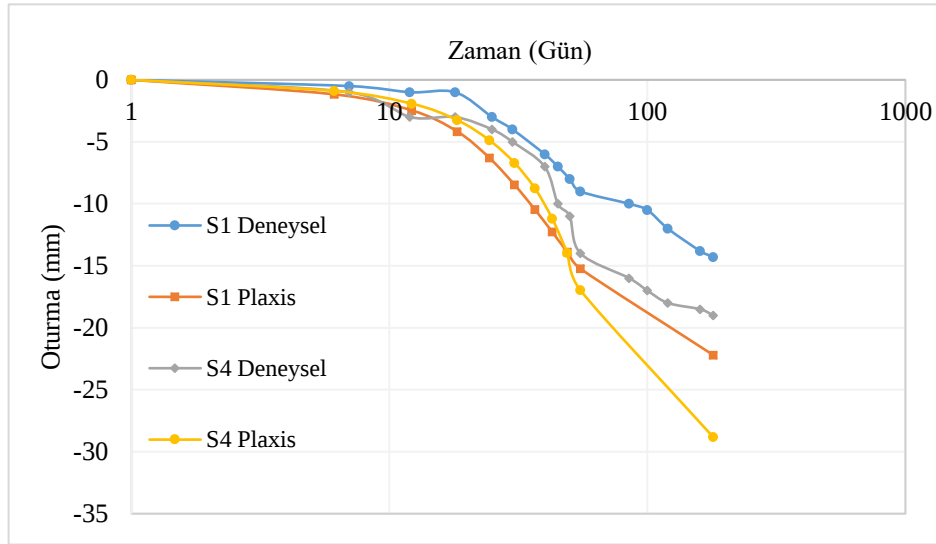
	E4 (kPa)		E9 (kPa)	
	55. Gün	180. Gün	55. Gün	180. Gün
Deneyssel	31,4	38	583,6	710
Plaxis	37,8	39,5	696,56	748,37
Fark (%)	16,93	3,80	16,22	5,13

İnşa sırasında P1 ve P2 noktalarında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı 11 kPa ve 14 kPa olarak ölçülmüştür. Bu noktalarda plaxis ile hesaplanan aşırı boşluk suyu basınçları ise 9,85 kPa ve 17,57 kPa'dır. Ölçülen ve hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı değerleri ve aralarındaki fark aşağıdaki Tablo 5.4'te görülebilmektedir.

Tablo 5.4. 55. günde ölçülen ve hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı

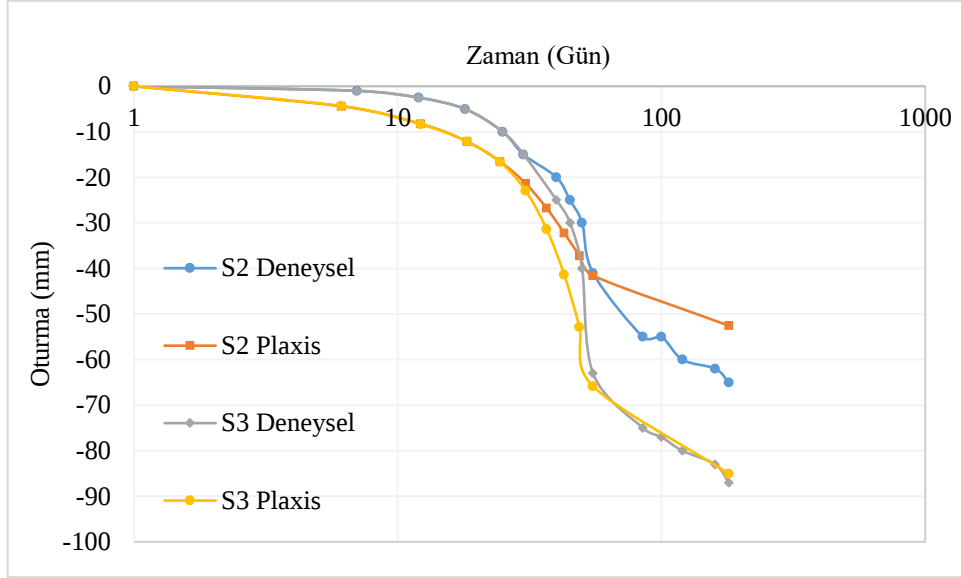
	P1 (kPa)	P2 (kPa)
Deneyssel	11	14
Plaxis	9,85	17,57
Fark (%)	11,68	20,32

Yukarıda verilen tablolardan görülebileceği üzere Plaxis modeli, dolgu inşasını yaklaşık olarak doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir. Davranışı daha yakından görmek için aşağıdaki grafikler incelenebilir. Şekil 5.2’de S1 ve S4 noktalarındaki oturma miktarlarının zamana bağlı değişimleri görülürken Şekil 5.3’te S2 ve S3’teki oturma miktarlarının zamana bağlı değişimleri görülmektedir.



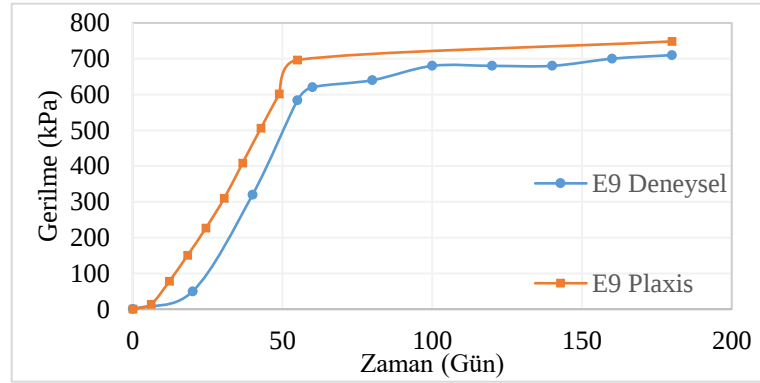
Şekil 5.2. S1 ve S4 noktalarında gözlenen oturma miktarları

Şekil 5.2’den görülebileceği üzere özellikle S4 ile oturma miktarları 55. güne kadar uyumlu olarak görülmektedir. Dolgu inşası bittikten sonra ise S4’te meydana gelen oturma miktarı oldukça fazla olmaktadır.



Şekil 5.3. S2 ve S3 noktalarında gözlenen oturma miktarları

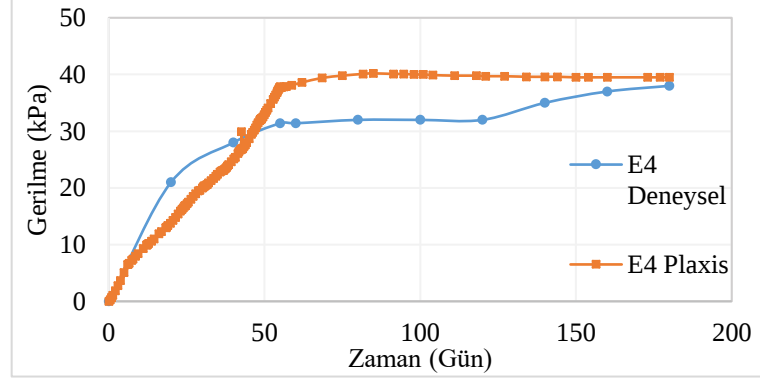
S2 ve S3 noktalarında ölçülen oturma miktarı ise S1 ve S4'e göre plaxis ile daha büyük uyum göstermektedir. Ancak S2 deneysel ile S2 Plaxis karşılaştırıldığı zaman ilk 55 günlük uyum görülürken daha sonra bu uyum bozulmaktadır. S3 ile ölçülen oturma miktarları ise uyumu geçen süreyle birlikte koruyabilmektedir.



Şekil 5.4. E9'da gözlemlenen gerilme – zaman grafiği

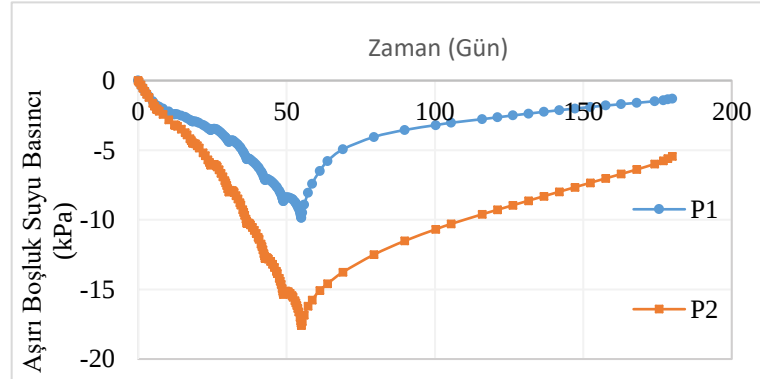
Şekil 5.4'te görülebileceği üzere E9'da ölçülen gerilmeler ile plaxisten elde edilen sonuçlar birbirlerine eşit olmamasına rağmen zamanla davranışı birbirlerine oldukça benzemektedir. Aynı durum Şekil 5.5'te görülen E4 içinde geçerlidir. Şekil 5.5'te görülebileceği üzere plaxis yük artışını ilk 55 gün sonunda durdururken, dolgu inşası sırasında elde edilen veriler yumuşak zemine etkiyen yükün dolgu inşası bittikten sonrada bir miktar arttığını göstermektedir. Dolgu inşasının ilk aşamasında gözlemlenen yük artışı

büyük bir uyum içerisindeyken, bu uyum sonradan kaybolmaktadır. 180 güne yaklaşıldığında ise ölçülen ve hesaplanan gerilme miktarları arasındaki fark oldukça düşmektedir.



Şekil 5.5. E9'da gözlemlenen gerilme – zaman grafiği

Şekil 5.6'da plaxis tarafından P1 ve P2 noktalarında ölçülen aşırı boşluk suyu basıncının 180 günlük süre içerisinde değişimi verilmiştir.



Şekil 5.6. Hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı

Şekil 5.6'daki grafikten de görülebileceği üzere dolgu inşası sırasında aşırı boşluk suyu basıncı artarken inşa bittikten sonra zamanla azalmaya başlamıştır. Dolgu inşası sırasında, dolgu ağırlığı yaklaşık 104 kPa olmasına rağmen yumuşak zeminde oluşan maksimum aşırı boşluk suyu basıncı 175 kPa civarındadır. Bunun sebebi ise dolgu ağırlığının oldukça büyük bir kısmı kazıklar tarafından daha derinde yer alan kumlu silt tabakasına iletilmesidir. Bu davranış aynı zaman da Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da dikkatle incelendiğinde görülebilir. E4 ile zemine gelen gerilme 38 kPa civarındayken aynı zamanda E9 ile kazık üzerindeki gerilme 710 kPa'dır.

Yukarıdaki veriler ışığında Plaxis ile yapılan modellemenin dolgu inşası görece iyi bir şekilde modellediği görülmüştür. Bu yüzden bir sonraki adım olan parametrik çalışmaya geçilmiştir.

6. PARAMETRİK ÇALIŞMA

Bir önceki bölümde plaxiste kurulan sayısal modelin, yapılan ölçümlerle uyumluluğu gösterildikten sonra, bu bölümde çeşitli etmenlerin dolgu davranışına olan etkileri ortaya konulmaya çalışılacaktır. Parametrik çalışma sırasında dolgu davranışı 1000 günlük bir süre boyunca incelenecektir.

Parametrik çalışma genel olarak iki kısımdan oluşacaktır. İlk kısımda seçilen parametrelerin 1000 günlü süre boyunca dolgu davranışına etkisi incelenecek ve bir önceki bölümde geliştirilen referans model ile karşılaştırılacaktır. İkinci bölümde ise dolgu üzerine 180. günden sonra trafik yüküne eşdeğer olarak 12 kPa'lık yük uygulanıp 1000. güne kadar olan davranışa etkisi incelenecektir.

6.1. Kazık Özelliklerinin Davranışa Olan Etkileri

Parametrik çalışmanın bu kısmında kazık destekli donatılı dolguların inşası sırasında kullanılan kazıkların özelliklerinin ve yerleşiminin dolgu davranışına olan etkileri incelenecektir. Her defasında sadece bir parametre değiştirilerek kazık çapı, kazık elastisite modeli, kazıklar arası meafenin ve kazık boyunun dolgu davranışına etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

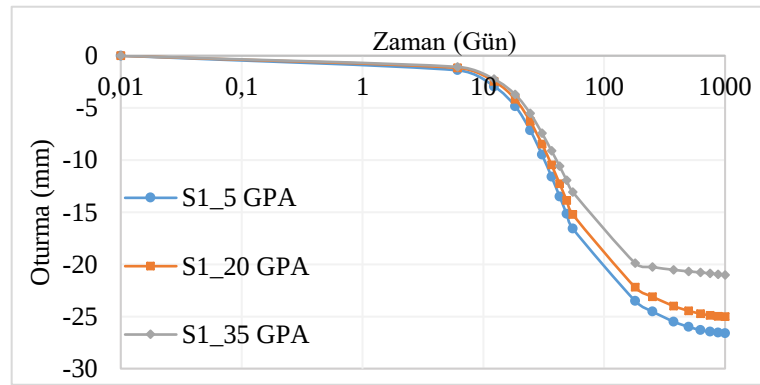
6.1.1. Kazık elastisite modülünün etkileri

Yapılan dolgu inşasında kullanılan kazığın elastisite modülü 20 GPA olarak belirtilmiştir. Çalışmanın bu kısmında yüksek ve düşük elastisite modülüne sahip kazıkların kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek olası etkileri görebilmek amacıyla 5 GPA ve 35 GPA elastisite modülüne sahip kazıklar Plaxiste modellenmiştir. Kazıklarda meydana gelen oturmalar, zemine ve kazık başlığında oluşan gerilmeler, P1 ve P2 noktalarında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncındaki değişimler ile dolgu topuğundan bir buçuk metre uzağında meydana gelen yatay deplasmanlar ile dolgunun en üst kısmındaki oturma miktarına olan etkisi değerlendirilmiştir. Gözlemlenen oturma miktarındaki değişimler 55, 180 ve 1000. günler için Tablo 6.1'de görülebilir.

Tablo 6.1. 1 metre kazık çapı ve 3D mesafe için elastisite modülünün etkisi

Oturma Ölçer	Gün	5 GPA	20 GPA	35 GPA
S1	55	16,59	15,24	13,09
	180	23,51	22,20	19,88
	1000	26,6	25,03	21,04
S2	55	42,96	41,56	35,77
	180	54,26	52,54	45,78
	1000	58,56	56,33	47,20
S3	55	66,34	65,85	56,43
	180	86,15	85,04	74,32
	1000	90,69	89,14	75,47
S4	55	18,64	16,97	14,83
	180	30,58	28,83	26,01
	1000	33,71	31,44	26,81

Tablo 6.1’den görülebileceği üzere hem zemin yüzeyinde meydana gelen oturmalar hemde kazıkta meydana gelen oturmalar, kazığın elastisite modülü arttıkça azalmıştır. Oturma miktarındaki azalma, elastisite modülü 20 GPA’dan 35 GPA’ya çıktığı zaman daha belirgin olmaktadır. Bu davranış aşağıda verilen grafiklerden daha iyi bir şekilde gözlemlenebilmektedir.

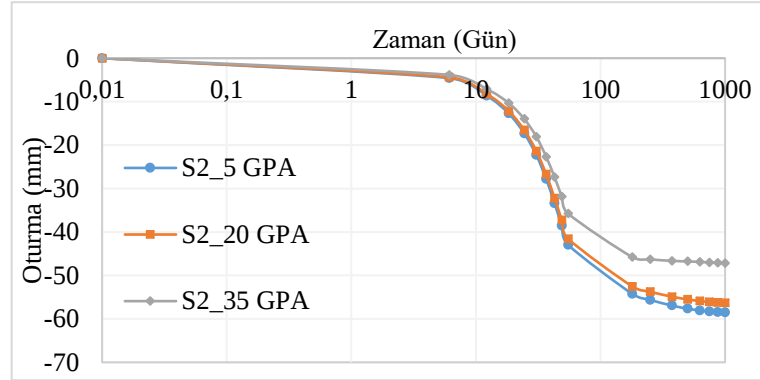


Şekil 6.1. S1’de meydana gelen elastisite modülüne bağlı değişim

Yukarıdaki Şekil 6.1’de elastisite modülünün S1 oturma ölçer için hesaplanan oturma miktarına olan etkisini zamana bağlı olarak görülmektedir. 55 günün sonunda,

elastisite modülü 5 GPA'dan 20 GPA'ya çıktığı zaman oturma miktarı S1 için %8 azalırken, elastisite modülü 20 GPA'dan 35 GPA'ya çıktığı zaman %14 olmaktadır. Benzer şekilde, 180. günde değişim %5 ile %10, 1000. günde %6 ile 16% olmaktadır.

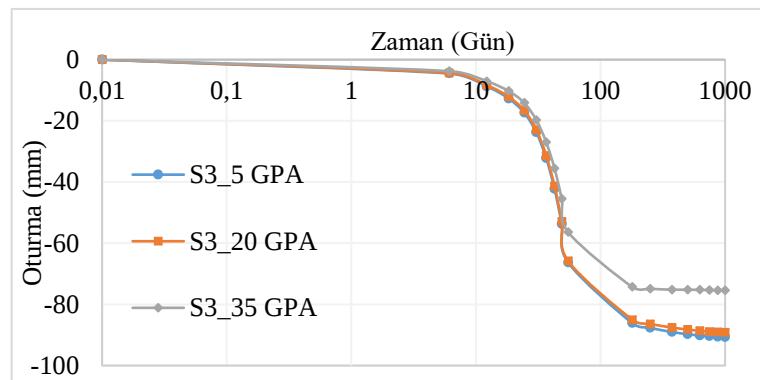
Şekil 6.2'de S2'de farklı elastisite modülleri için hesaplanan oturma miktarları verilmiştir. S1'de olduğu gibi burada da elastisite modülü arttıkça oturma miktarı düşmektedir.



Şekil 6.2. S2'de meydana gelen elastisite modülüne bağlı değişim

Elastisite modülü 5 GPA'dan 20 GPA çıkarıldığı zaman hesaplanan oturma miktarı 55, 180 ve 1000. günlerde %3 oranında azalırken, elastisite modülü 20 GPA'dan 35 GPA'ya çıkarıldığı zaman değişim miktarı 55, 180 ve 1000. günler için sırasıyla %14, %13 ve %16 olmaktadır.

Aşağıda verilen Şekil 6.3'te S3 için hesaplanan farklı elastisite modülleri için oturma miktarları görülmektedir.



Şekil 6.3. S2'de meydana gelen elastisite modülüne bağlı değişim

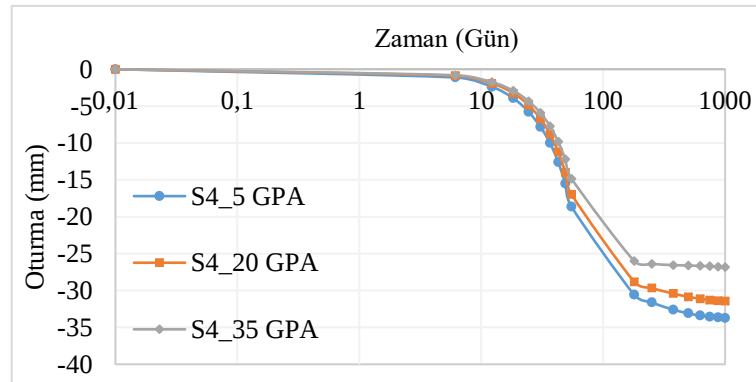
Şekilden de anlaşılabileceği üzere elastisite modülü 20 GPA'dan 35 GPA'la artırılınca oturma miktarında gözlenen düşüş miktarı daha fazla olmaktadır. Elastisite

modülü 5 GPA'dan 20 GPA'la çıkarılınca oturma miktarında meydana gelen değişim 55, 180 ve 1000. günler için sırasıyla %0,75, %1 ve %2 olurken, aynı günler için elastisite modülü 20 GPA'dan 35 GPA'ya çıkarıldığı zaman görülen değişimler %14, %13 ve %15 olmaktadır.

S1, S2 ve S3 için gözlemlenen eğilim S4 içinde gözlemlenmiştir. Elastisite modülü 5 GPA'dan 20 GPA'la çıktığı zaman oturma miktarında gözlemlenen değişim 55, 180 ve 1000. günler için %9, %6 ve %7 olmaktadır. Aynı günler için elastisite modülü 20 GPA'dan 35 GPA'ya çıktığı zaman görülen değişim sırasıyla %12, %10 ve %15 olmaktadır. S4 için farklı elastisite modülü için oturma miktarı – zaman grafiği Şekil 6.4'te verilmiştir.

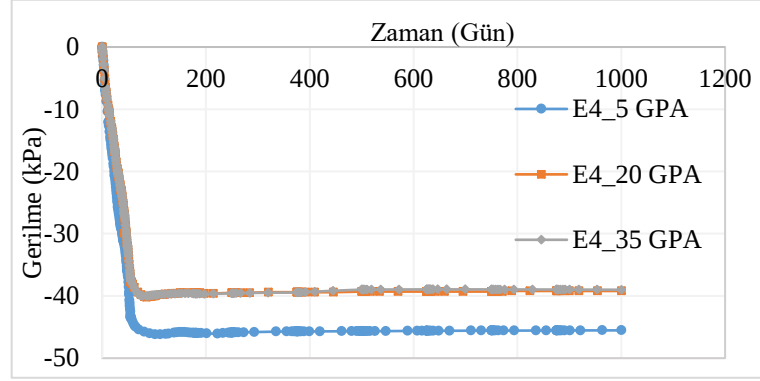
Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'ten görülebileceği üzere elastisite modülü yükseldikçe oturma miktarı azalmakta ve oturma miktarındaki değişim elastisite modülü yükseldikçe yükselmektedir. Ayrıca kazıklarda hesaplanan oturma miktarındaki değişim elastisite modülü yükseldikçe artmaktadır. Düşük elastisite modülleri arasında geçiş yapıldığında kazıklarda gözlenen oturma miktarı arasındaki fark çok daha az olmakla beraber, zemin üzerinde gözlenen oturma miktarlarında düşük miktardaki elastisite modüllerindeki değişim bile oturma miktarına oldukça etki etmektedir.

Kazık elastisite modülünün E4 noktasında ölçülen gerilmeye etkisi de araştırılmıştır. E4 noktasında 55. güne kadar gerilme zamana bağlı olarak doğrusal bir şekilde artmaktadır. 55. günden sonra ise ölçülen gerilme miktarı çok az bir miktarda azalmaktadır. Ancak bu azalma miktarı o kadar küçüktür ki Şekil 6.5'te 55 ile 1000 gün arasında kalan kısım düz bir doğru olarak görülmektedir.



Şekil 6.4. S4'te meydana gelen elastisite modülüne bağlı değişim

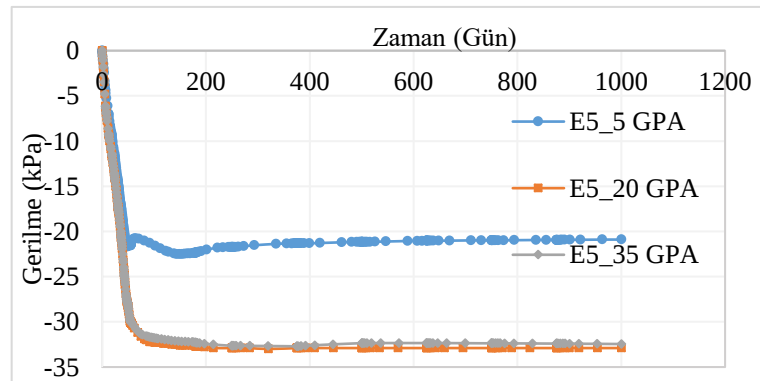
E4'te hesaplanan gerilme miktarı ise kazık elastisite modülü 5 GPA'dan 20 GPA'la çıktığı zaman azalmaktadır. Ancak elastisite modülü 20 GPA'dan 35 GPA'ya çıktığı zaman hesaplanan gerilmede herhangi bir değişiklik olmamaktadır.



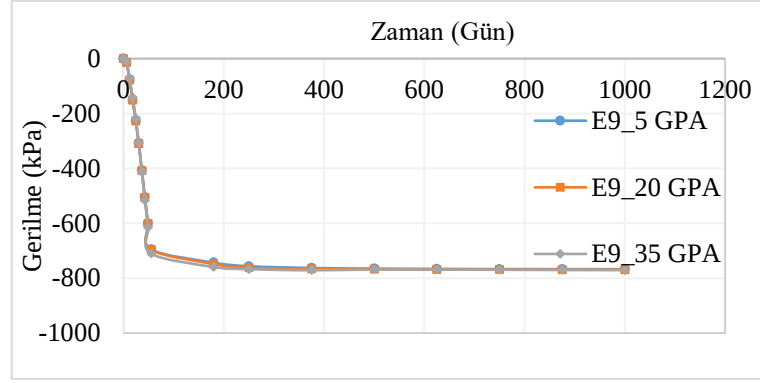
Şekil 6.5. E4 için farklı kazık elastisite modülü için hesaplanan gerilme

E5 için hesaplanan gerilme miktarında ise E4'te gözlemlenen davranışın tam tersi gözlenmektedir. Şekil 6.6'ten de görülebileceği üzere E5 için hesaplanan gerilme miktarı 5 GPA kazık elastisite modülü için daha düşük iken 20 GPA ve 35 GPA için hesaplanan gerilme miktarı birbirine hemen hemen aynıdır.

E9 için sonlu elemanlar yöntemiyle farklı kazık elastisite modülü için hesaplanan gerilmeler ise Şekil 6.7'da verilmiştir. Kazık üzerine gelen gerilme miktarında kazık elastisite modülünün herhangi bir etkisi olmadığı Şekil 6.7'da açık bir şekilde gözükmemektedir.

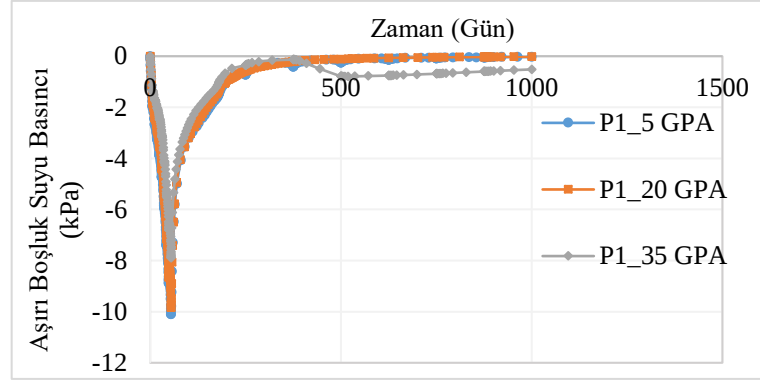


Şekil 6.6. E5 için farklı kazık elastisite modülü için hesaplanan gerilme



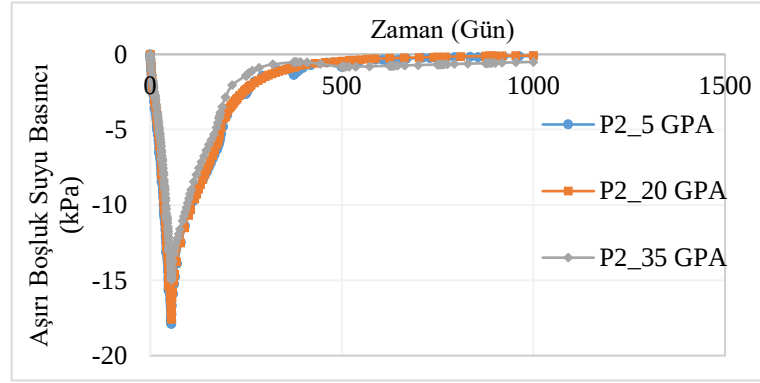
Şekil 6.7. E9 için farklı kazık elastisite modülü için hesaplanan gerilme

P1 noktasında yüklemeye birlikte oluşan aşırı boşluk suyu basıncının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 6.8’de gösterilmiştir. Şekil 6.8’den açıkça görülebileceği üzere kazığın elastisite modülünün bu noktada oluşan aşırı boşluk suyu basıncına olan etkisi yok denebilecek kadar azdır. Kazık elastisite modülü 5 GPA ise oluşan aşırı boşluk suyu basıncı maksimum 10,10 kPa olurken elastisite modülü 20 GPA iken oluşan aşırı boşluk suyu basıncı 9,85 kPa’dır. Kazık elastisite modülü 35 GPA’la çıkarıldığı zaman ise maksimum aşırı boşluk suyu basıncı maksimum 7,89 kPa olarak hesaplanmıştır. Kazık elastisite modülünden dolayı daha az oluşan maksimum aşırı boşluk suyu basıncı aynı şekilde daha çabuk bir şekilde drene olmaktadır. Bu durum da Şekil 6.8’de açıkça gözükmemektedir. Şekil 6.8’de 35 GPA kullanılan modelin verilerine dikkatle bakıldığı zaman, bu modelde P1 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının öncelikle tamamen drene olduğu, daha sonra ise tekrardan bir miktar arttığı gözlemlenmektedir. Bunun nedeni ise daha alt tabakalarda oluşan aşırı boşluk suyu basıncının drene olmak için tek yolunun yüzeye çıkmak olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aşağıdan gelen su miktarı bu noktada küçükte olsa artışa yol açmaktadır.



Şekil 6.8. P1 noktasında gözlemlenen aşırı boşluk suyu basıncı

P2 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 6.9’da görülmektedir.

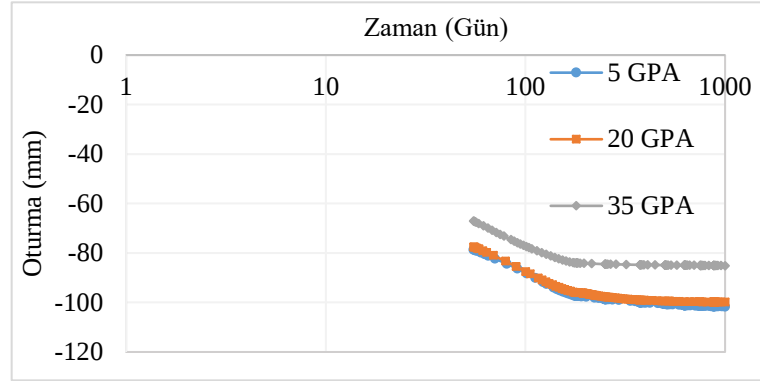


Şekil 6.9. P2 noktasında gözlemlenen aşırı boşluk suyu basıncı

Şekil 6.9’den de görülebileceği üzere P2 noktasında da en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı kazık elastisite modülünün en düşük olduğu durumda oluşmuştur. Kazık elastisite modülü arttıkça oluşan aşırı boşluk suyu basıncı düşmüştür. Ayrıca P1 noktasında olduğu gibi, P2 noktasında da elastisite modülünün 35 GPA olduğu durumda P2 noktasında da drenaj sonrası aşırı boşluk suyu basıncında artış görülmüştür. Bu artıştan sonra boşluk suyu basıncı düşmeye devam etmiştir. Bu noktada da görülen artış sebebinin yukarıda da açıklandığı gibi tek yönlü drenaj olması ve drenaj sağlayan kısmın doğal zemin tabanının olmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

Aşağıda verilen Şekil 6.10’da ise dolgunun üst yüzeyinin orta noktasında verilen oturma miktarının zamanla değişimi görülmektedir. Kazık elastisite modülü 5 GPA ve 20 GPA olduğu zaman bu noktada görülen oturma miktarı neredeyse birbirine eşit iken,

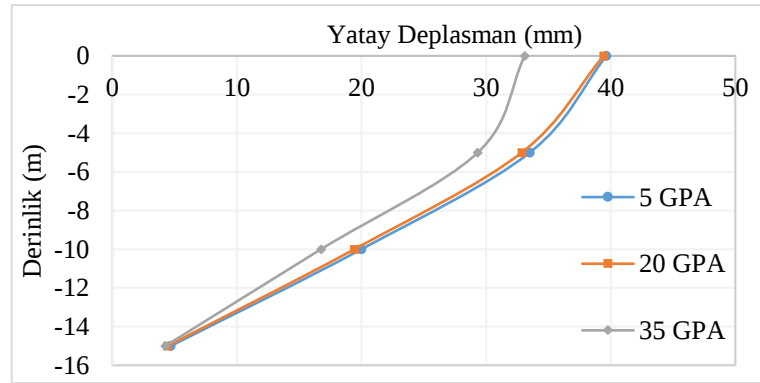
kazık elastisite modülü 35 GPA olduğu zaman bu noktada gözlenen oturma miktarı oldukça düşmektedir.



Şekil 6.10. Dolgu üst noktasında görülen oturma miktarının zamanla değişimi

Şekil 6.10'dan görülebileceği üzere gözlemlenen oturma miktarının oldukça büyük bir kısmı 55 ile 200. günler arasında gerçekleşmektedir. Ayrıca Şekil 6.10 ile Şekil 6.3 karşılaştırıldığı zaman oturma davranışının hemen hemen aynı olduğu görülecektir. Buradaki davranışın Şekil 6.3 ve Şekil 6.10'da benzer olmasının nedeni S3 noktasının dolgunun orta noktasından sadece 3 metre uzakta olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yatay deplasmanlar karşılaştırıldığı zaman ise elastisite modülü 5 GPA ve 20 GPA olan kazıklar kullanılarak inşa edilen dolgular da 55 günün sonunda topuk kısmından 1,5 metre uzakta yaklaşık 40 mm kadar yatay deplasman görülmüştür. Elastisite modülü 35 GPA olan kazıklar ile modelleme yapıldığı zaman görülen yatay deplasman 33 mm olarak hesaplanmıştır. Yatay deplasmanlar, derinlik ile birlikte azalmıştır. Şekil 6.11'de derinlik ile yatay deplasmanın 55. Günde değişimi incelenebilir.



Şekil 6.11. Elastisite modülüne bağlı olarak yatay deplasman derinlik ilişkisi

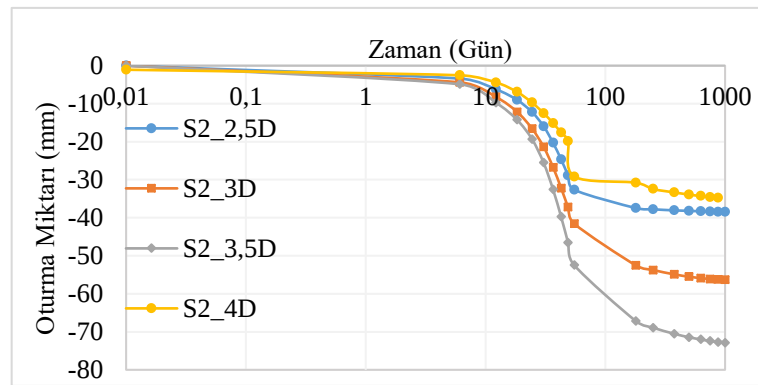
Şekil 6.11’de görüldüğü üzere derinlik arttıkça meydana gelen yatay deplasman miktarı azalmıştır. -15 metrede görülen yatay deplasman miktarı ise kazık elastisite modülünden hemen hemen bağımsız olarak neredeyse aynıdır. Bunun sebebi ise dolgu ağırlığının o kadar derine etki edememesi olarak açıklanabilmektedir. Ayrıca 180 ve 100. günlerde de görülen davranış Şekil 6.11’dekiyle benzerdir. Bu nedenle farklı günlerdeki davranış grafik olarak verilmeyecektir.

6.1.2. Kazıklar arası mesafenin davranışa olan etkisi

Bu çalışmada referans olarak kullanılmış olan çalışma 1 metre çapa sahip kazıkların 3 metre mesafe ile kare şablon şeklinde inşa edilmiştir. Bu yüzden kazıklar arası mesafenin kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisi bu bölümde araştırılmıştır. Kazıklar arası mesafe 2,5D, 3,5D metre ve 4D olacak şekilde sonlu elemanlar modellemesi yapılmıştır ve elde edilen bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

Kazıklar arası mesafenin dolgu davranışına olan etkiler araştırılırken kazıktaki gerilme ve kazıklarda oturmalar göz ardı edilmiştir. Bunun sebebi ise, bu durumda kazıklar arası mesafe değiştiği için kazıkların yerleri de değişmektedir. Bu sebeple kazıkların yüklenme mekanizması da değişmektedir. Bundan dolayı kazıklarla ilgili olarak karşılaştırma yaparak objektif sonuçlar elde edilme olasılığı oldukça düşüktür.

Bu kısımda ilk olarak S2 oturma ölçere denk gelen noktadaki oturmalar aşağıdaki Şekil 6.12’de gösterilmiştir. Bu kısım dolgunun orta noktasından uzak, topuk noktasına yakın olan kısmına denk gelmektedir.



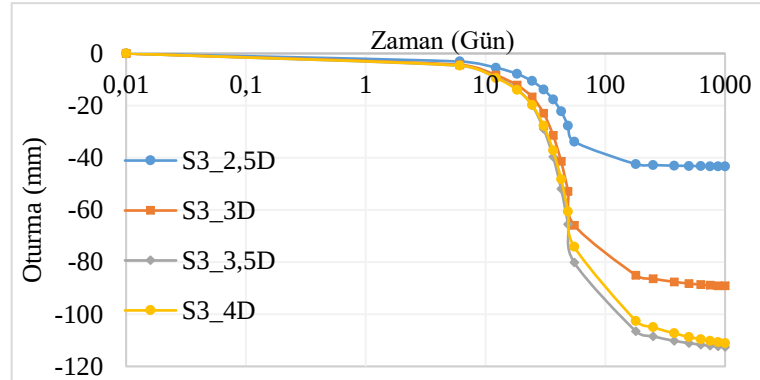
Şekil 6.12. S2 noktasındaki oturmaların farklı kazıklar arasındaki mesafeye göre değişimi

Normal şartlar altında iki kazık ortasında kalan bir noktanın, bu kazıklara olan uzaklığı arttıkça bu noktada hesaplanan veya ölçülen oturma miktarının artması beklenir. Ancak Şekil 6.12’ye bakıldığı zaman, bu şekilde bir davranış gözükmemektedir. Bunun sebebi ise seçilen bu noktanın kazıklara göre konumunun herhangi bir kazığa yaklaşması

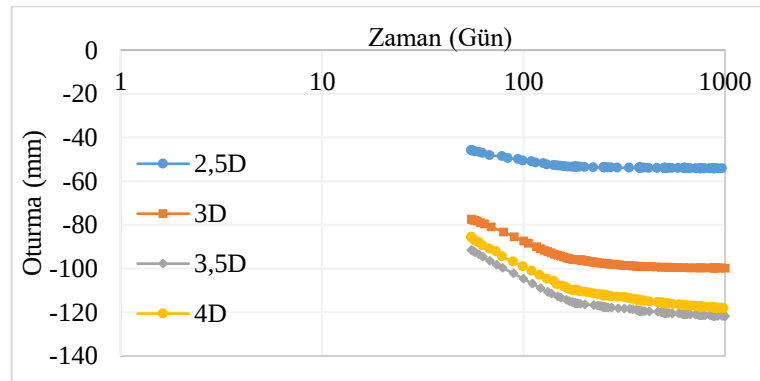
veya uzaklaşmasıdır. Örneğin, oturmanın en fazla olması beklenen durum 4D iken, bu durumda en düşük oturma gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise 4D durumu için S2 noktasının tam olarak bir kazığın olduğu yere denk gelmesidir. Ancak seçilen nokta kazığa yakınsa her zaman oturma miktarı az olur diye kesin bir yargıya varmakta doğru bir sonuç değildir. Örneğin 3,5D ve 3D durumları karşılaştırıldığı zaman yukarıdaki cümlelerin doğruluğu ortaya çıkar. 3,5D durumunda S2 noktası bir kazığa daha yakın olmasına rağmen, oturma miktarı S2 noktasının tam iki kazık ortasında olduğu 3D durumundan fazladır. Bu durum kazık sayısının etkisini ortaya koymaktadır. Çünkü kazıklar arası mesafe arttıkça, bir inşaat sırasında kullanılan kazık sayısı da azalmaktadır.

S2 noktasındaki davranışa benzer sonuçlar S3 noktasındaki sonuçlarda da görülmektedir. Şekil 6.13'e bakıldığı yine kazıklar arası mesafe arttıkça seçilen noktanın oturma miktarı artar gibi bir genelleme yapılamamaktadır.

Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'ten objektif bir sonuç elde edilemediği için, aşağıda dolgunun üst tarafında, dolgunun simetri ekseninde yer alan noktanın oturma miktarı aşağıdaki Şekil 6.14'te verilmiştir.

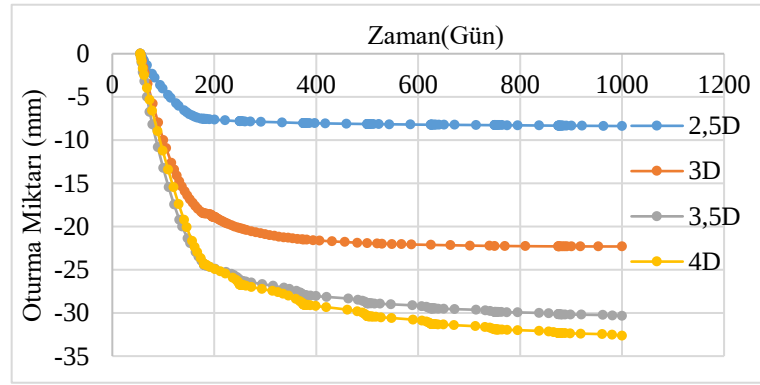


Şekil 6.13. S3 noktasındaki oturmaların farklı kazıklar arasındaki mesafeye göre değişimi



Şekil 6.14. Dolgunun orta noktasında meydana gelen oturma miktarı

Şekil 6.14 dikkatli bir şekilde incelendiği zaman kazıklar arası mesafe arttıkça oturma miktarının da arttığı görülmektedir. Ancak 3,5D ve 4D durumları dikkatli bir şekilde incelendiği zaman, iki durumda da dolgunun üst kısmında görülen oturma miktarı birbirine çok yakın olmakla birlikte, 4D durumu için oturma miktarı 3,5D'ye göre daha düşüktür. Bu nedenle aşağıdaki Şekil 25 verilmiştir. Şekil 24'te verilen grafik o noktadaki toplam oturmalar, Şekil 6.15'te verilen grafikteki oturmalar o noktada gözlemlenen relatif oturmadır. Daha fazla açıklamak gerekirse, Şekil 6.15 oluşturulurken alınan oturma miktarına, daha henüz dolgunun en üst kısmı inşa edilmeden oluşan oturmalar da dahil iken, Şekil 6.16'da görülen oturmalar dolgunun üst kısmı inşa edildikten sonra sadece üst kısmın geçirdiği mutlak oturmalar, Şekil 6.16'da beklenildiği gibi kazıklar arası mesafe arttıkça dolgunun üst kısmında gözlemlenen oturma miktarında da artış meydana gelmiştir.



Şekil 6.15. Dolgunun orta noktasında 55. günden sonra meydana gelen oturma miktarı

Kazıklar arası mesafe arttığı zaman ortaya çıkan bir diğer sonuç ise, konsolidasyon oturmasının daha geç tamamlanmasıdır. Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15 incelendiği zaman bu davranış özellikle kazıklar arası mesafenin 3,5D ve 4D olduğu durumlarda net bir şekilde görülmektedir. Konsolidasyon oturması, kazıklar arası mesafe 2,5D olduğunda en hızlı şekilde tamamlanırken, kazıklar arası mesafe 4D olduğun zaman en geç tamamlanmaktadır.

Şekil 6.16'da E4 ve E5 noktaları için farklı kazıklar arası mesafe için hesaplanan gerilmeleri zamana bağlı olarak değişimi görülmektedir. Bu grafikten anlaşılabileceği üzere kazıklar arası mesafe arttıkça zemine gelen yük miktarı da artma eğilimindedir. Ancak bu eğilim seçilen noktanın kazıklara olan uzaklığına da bağlıdır. Ancak kazıklar arası mesafe

arttıkça zamanla zeminde ölçülen gerilme de bir miktar azalma görülmektedir. Bu azalmadan sonra gerilme miktarı zamanla sabit kalmaktadır.

Farklı kazık çapları için boşluk suyu basıncı davranışı incelendiği zaman en yüksek boşluk suyu basıncının tüm durumlar için P1 ve P2 noktalarında 55. günde görülmektedir. Bu noktalar da görülen en yüksek boşluk suyu basınçları ile aşağıdaki Tablo 6.2’de görülmektedir.

Tablo 6.2. *P1 ve P2 noktalarında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı*

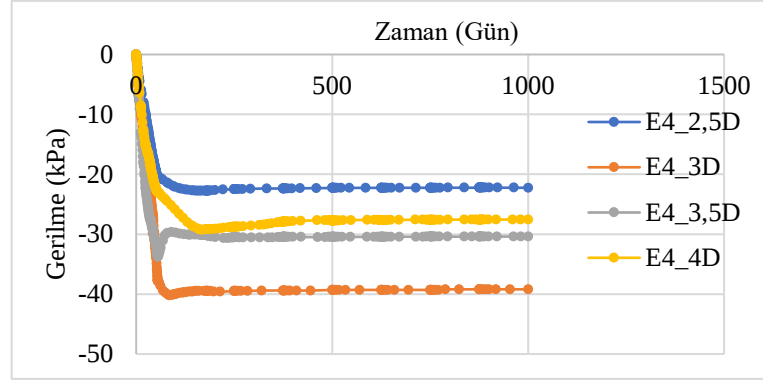
	P1	P2
2,5D	5,07	11,11
3D	9,85	17,57
3,5D	15,91	22,39
4D	14,37	21,19

Tablo 6.2’den görüldüğü üzere oluşan boşluk suyu basıncı genel olarak tüm durumlarda kazıklar arası mesafe artarken artıyorken, kazıklar arası mesafe 4D olduğu zaman oturma ve zemine gelen gerilme davranışında olduğu gibi aşırı boşluk suyu basıncında da istisna bir durum ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi ise, kazıklar arası mesafe 4D olduğu zaman ölçüm alınan noktalara bir adet kazığın denk gelmesidir.

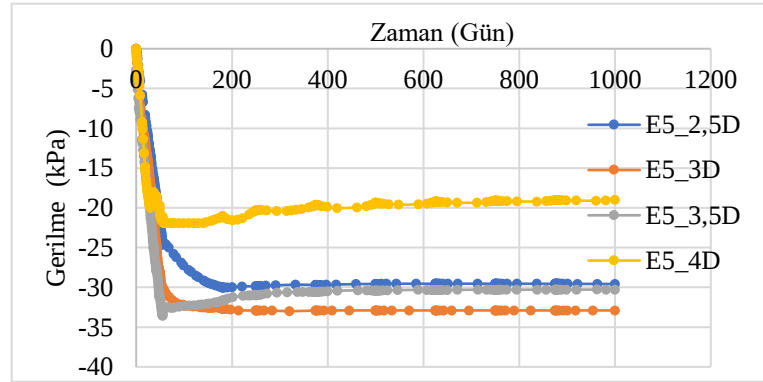
Tablo 6.2’den de görülebileceği üzere P2 noktası P1 noktasına göre daha derinde olmasına rağmen oluşan aşırı boşluk suyu basıncı daha fazladır. Bunun sebebi ise drenaja açık kısmın sadece zemin yüzeyi olması ve P1 noktasının drenaj noktasına daha yakın olmasıdır.

Oluşan aşırı boşluk suyu basıncının dağılımı incelendiğinde ise hem P1 hem de P2 noktalarında öncelikle kazıklar arası mesafenin 2,5D olduğu durumda boşluk suyu basıncı en hızlı şekilde sönümlenmektedir. Bu durum Şekil 6.17’de de görülebilmektedir. Aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenme hızı büyüklüğü kazıklar arası mesafe 3D’den 4D’ye çıktıkça azalmaktadır.

P1 noktasında ölçülen aşırı boşluk suyu basıncı 2,5D, 3D, 3,5D ve 4D kazıklar arası mesafe için sırasıyla 140, 200, 220, 254. günler sonunda 1 kPa’ın altına inmektedir. 1 kPa’ın altındaki aşırı boşluk suyu basıncı literatürde oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönümlendiği ve konsolidasyon oturmasının tamamlandığı nokta olarakta kabul edilmektedir. Bu değerlerde yukarıda bahsedilen oturma hızının en yüksek 2,5D en yavaş 4D kazıklar arası mesafede olduğu savını desteklemektedir.

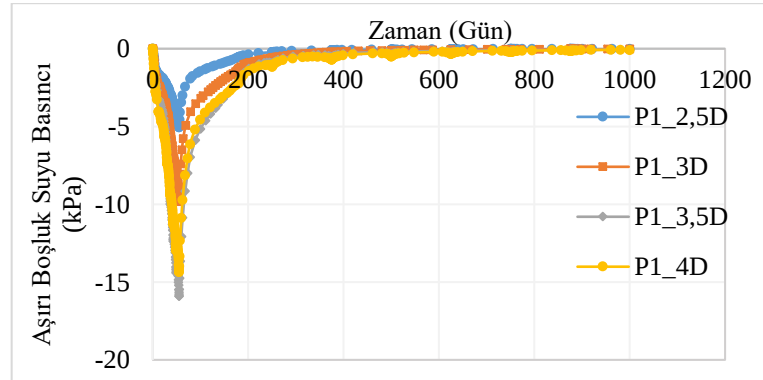


(a)



(b)

Şekil 6.16. Zemin yüzeyinde dolgu yükünden dolayı oluşan gerilmeler (a) E4 (b) E5

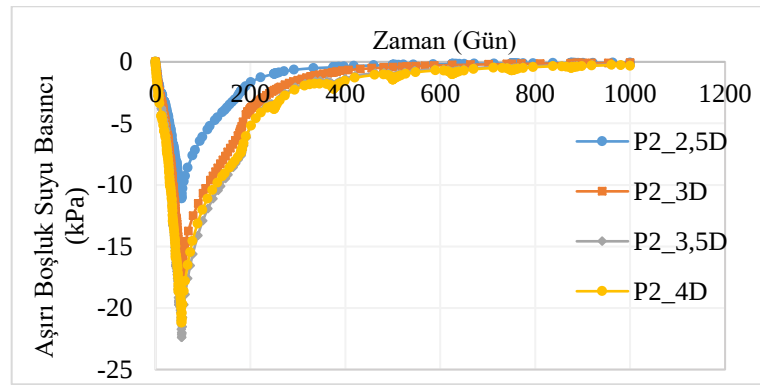


Şekil 6.17. P1 noktası için farklı kazıklar arası mesafeler için oluşan aşırı boşluk suyu basıncı

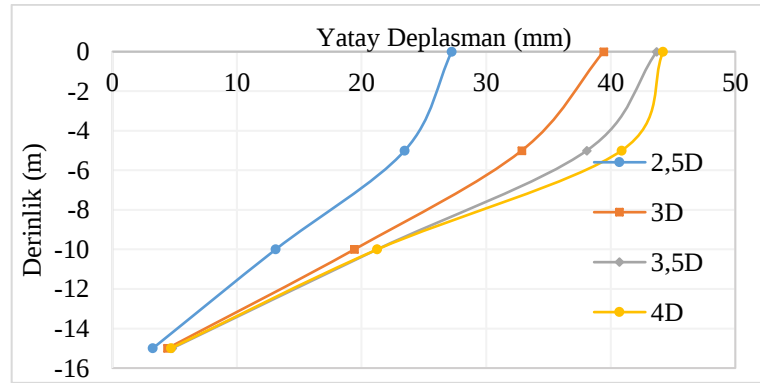
P2 noktasındaki aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu ve sönümlenmesi ise Şekil 6.18'den görülebilmektedir. P2 noktasında meydana gelen en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 55. günde görülmüştür. Daha sonraki zamanlar da aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenmiştir. Aşırı boşluk suyu basıncının 1 kPa'ın altına düşmesi ise 2,5D, 3D, 3,5D ve 4D için sırasıyla 250, 353, 514 ve 589. günlerde olmuştur. Bu süreler P1 için geçen

sürelerle karşılaştırıldığı zaman P2 noktasındaki aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için çok daha uzun süreler gerektiği anlaşılmaktadır.

Kazıklar arası mesafe dolgu inşası sırasında oluşan yatay deplasmanların büyüklüklerine de etki etmektedir. Şekil 6.19’da bu etki 55. gün için derinliğe bağlı olarak görülmektedir. Örneğin kazıklar arası mesafe 2,5D olduğu zaman zemin yüzeyinde gözlemlenen yatay deplasman 27 mm iken, kazıklar arası mesafe 4D olduğunda gözlemlenen yatay deplasman 41 mm’ye çıkmaktadır. Aradaki artış miktarına bakıldığında %50 olarak gerçekleşmektedir.

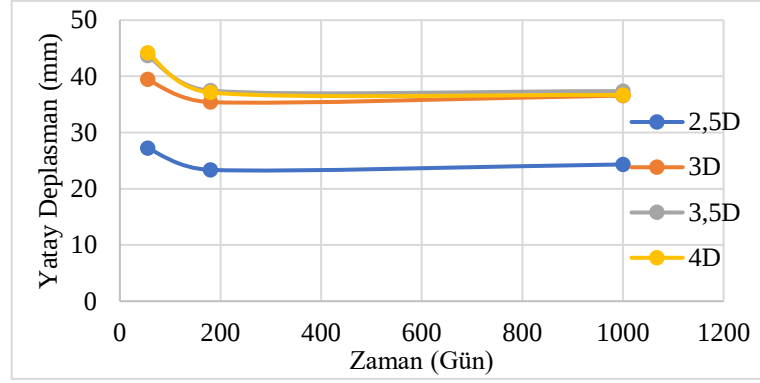


Şekil 6.18. P2 noktası için farklı kazıklar arası mesafeler için oluşan aşırı boşluk suyu basıncı



Şekil 6.19. Kazıklar arası mesafeye bağlı olarak değişen yatay deplasman

Yatay deplasmanın zamana bağlı olarak değişimi incelendiğinde de benzer sonuçlara ulaşılmaktadır. Şekil 6.20’de görülebileceği üzere en az yatay deplasman yine 2,5D kazıklar arası mesafeye sahip modelde görülmüştür.



Şekil 6.20. Oluşan yatay deplasmanların zamana bağlı değişimi

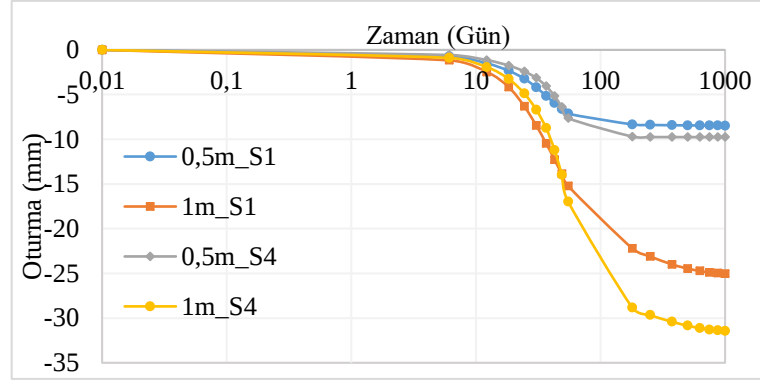
3D, 3,5D ve 4D kazıklar arası mesafeye sahip modellerin davranışları incelendiği zaman, oluşan deplasmanların 1000. günde hemen hemen aynı büyüklüğe geldikleri görülmektedir. Görülen genel davranış ise, dolgu inşası bittikten hemen sonra ilk olarak ölçülen yanal deplasmanın azalması ancak geçen süre ile birlikte bir miktar daha artmasıdır. Örneğin 2,5D kazıklar arası mesafe ele alındığı zaman yatay deplasman 55. günde 27 mm olarak hesaplanırken, 180. günde 23 mm, 1000. günde ise 24 mm olarak hesaplanmıştır.

6.1.3. Kazık çapının davranışa olan etkisi

Bu bölümde kullanılan kazık çapının inşa edilen dolgunun davranışına etkisi araştırılmıştır. Kazık çapının etkisinin ortaya tam olarak konulabilmesi için dolgu inşaatı, zemin koşulları ve dolgu yüksekliği aynı kalacak şekilde 0,5 metrelik, 1 metrelik ve 1,5 metrelik kazık çapları kullanılarak ve kazıklar arası mesafe her zaman kazık çapının 3 katı olacak şekilde seçilmiştir. Bu durumda kazıklar arası mesafe 0,5 metre kazık çapı için 1,5 metre, 1 metre kazık çapı için 3 metre ve 1,5 metre kazık çapı için 4,5 metre olmaktadır.

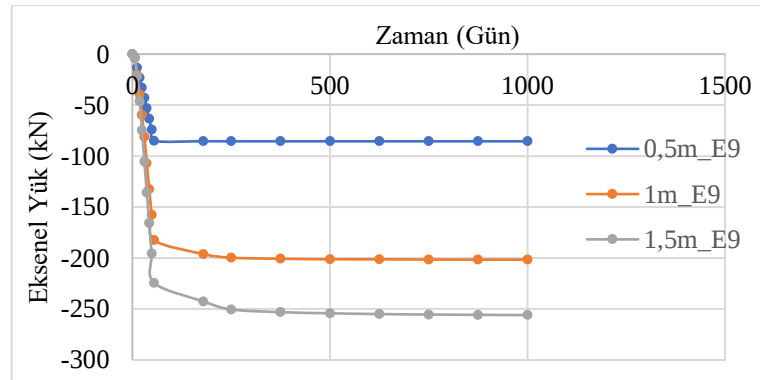
Bu bölümde yine daha önceden olduğu gibi davranış değişiminin kazık çapından nasıl etkilendiğini ortaya koymak adına, eğer farklı modellerde aynı noktada kazık varsa bu kazığın oturması (S1 ve S4), eğer E9 noktasında farklı modellerde kazık varsa bu kazığa etkiyen gerilme, S2 ve S3 noktalarındaki oturma, E4 ve E5 noktalarındaki gerilmeler ile aşırı boşluk suyu basıncının gelişimi ve sönümlenmesi, dolgunun tepe noktasındaki oturma miktarı ile birlikte, meydana gelen yatay deplaslar incelenecektir.

Şekil 6.21’de 0,5 metre ve 1 metre kazık çapları için S1 ve S4 noktalarında meydana gelen kazık oturmalarının zamana bağlı değişimi görülmektedir.



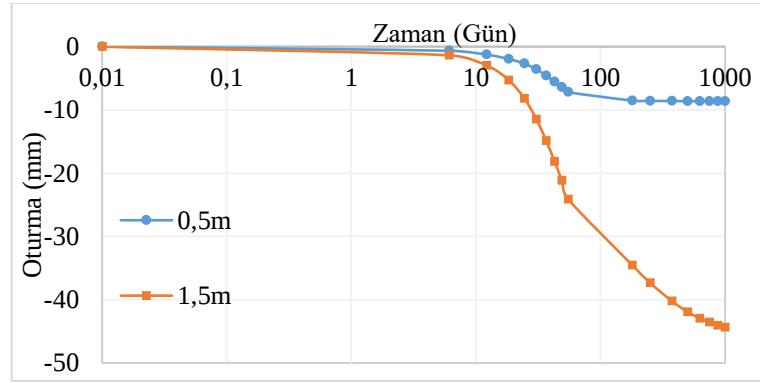
Şekil 6.21. 0,5m ve 1m çaplı kazıkların oturma davranışları

0,5 metre çaplı kazık için S1 noktasında 55, 180 ve 1000. günler de gerçekleşen oturma miktarları sırasıyla 7,15 mm, 8,34 mm ve 8,48 mm iken aynı noktada 1 metre çaplı kazıkta görülen oturma miktarı sırasıyla 15,24 mm 22,20 mm ve 25,03 mm olarak hesaplanmıştır. 0,5 metre çaplı kazık için S4 noktasında 55, 180 ve 1000. günler için hesaplanan oturma miktarı sırasıyla 7,64 mm, 9,10 mm ve 9,76 mm olarak hesaplanmıştır. Aynı noktada aynı zaman dilimi için 1 metre kazık çapı için hesaplanan oturma miktarları 16,97 mm, 28,83 mm ve 31,44 mm olarak hesaplanmıştır. Farklı kazık çapı için hesaplanan oturma miktarları oranlandığı zaman görülmektedir ki, 55, 180 ve 1000. günlerde %122, %217 ve %222 oranlarında artış yaşandığı gözlenmektedir. Bunun en büyük sebebi ise düşük çaplı kazık ile modelleme yapıldığında, dolgu altına çok daha fazla kazık yerleştirilmesidir. Bu nedenle, aynı noktada bulunan kazıklardan küçük çaplı kazığa daha az eksenel yük etkimesindendir. Bu davranış aşağıdaki Şekil 6.22’de görülebilmektedir.



Şekil 6.22. Kazık çaplarındaki değişime göre kazıklarda hesaplanan eksenel yük

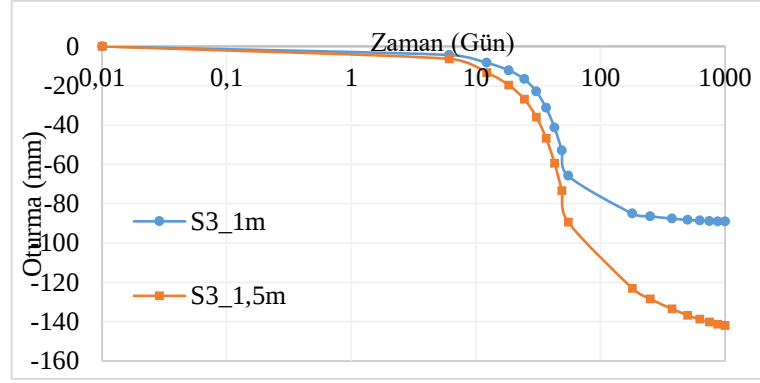
Aşağıdaki Şekil 6.23’de ise 0,5 metre ve 1,5 metre kazık çapına sahip modellerin S2 noktasındaki oturma – zaman grafiği verilmiştir. Şekil 6.23’ten de görülebileceği üzere kazık çapı arttıkça kazıkta meydana gelen oturma miktarı da oldukça artmaktadır. Bu nokta da 0,5 metre kazık çapına sahip modelde 55, 180 ve 1000. günlerde sırasıyla 7,19 mm 8,53 mm ve 8,65 mm olurken, aynı zaman aralıklarında 1,5 metre çapa sahip kazıkta 21,15 mm, 24,12 ve 44,37 mm oturma hesaplanmıştır.



Şekil 6.23. Farklı kazık çapının aynı noktadaki kazığın oturma miktarına etkisi

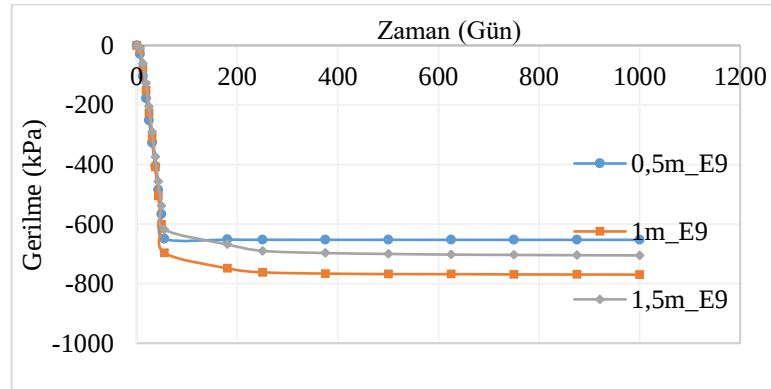
Grafikten de görülebileceği üzere düşük çaplı kazık ile modellenen kazık destekli donatılı dolgulardaki oturma miktarı oldukça azdır. Grafikten de farkedilebileceği üzere küçük çaplı kazık kullanıldığı zaman oturmanın tamamlanması için geçen süre azalmaktadır. 1 metre kazık çapı için 55, 180 ve 1000. günde hesaplanan oturma miktarı sırasıyla 65,85 mm, 85,04 mm ve 89,14 mm olarak hesaplanmıştır. 1,5 metre kazık çapı kullanılarak yapılan modelleme de ise aynı noktada aynı süreler sonunda oturma miktarı 89,38 mm, 123,01 ve 141,98 mm olarak hesaplanmıştır. Kullanılan kazık çapı arttıkça oturma miktarı da oldukça artmaktadır.

S3 noktasında hesaplanan oturma miktarının değişim grafiği sadece 1 metrelik ve 1,5 metrelik kazık çapları için verilmiştir. Aşağıdaki Şekil 6.24’te oturma miktarının zamanla değişimi bu iki kazık çapı için hesaplanmış olan oturma miktarı görülebilir.



Şekil 6.24. Farklı kazık çapına sahip modellerde S3 noktasında meydana gelen oturma miktarı

Yukarıda verilen Şekil 6.22’de farklı kazık çapları modelleri için aynı noktadaki kazıklara gelen eksenel yük gösterilmişti, bu defa aşağıdaki Şekil 6.25’te aynı kazıklarda oluşan gerilmeler gösterilmiştir.

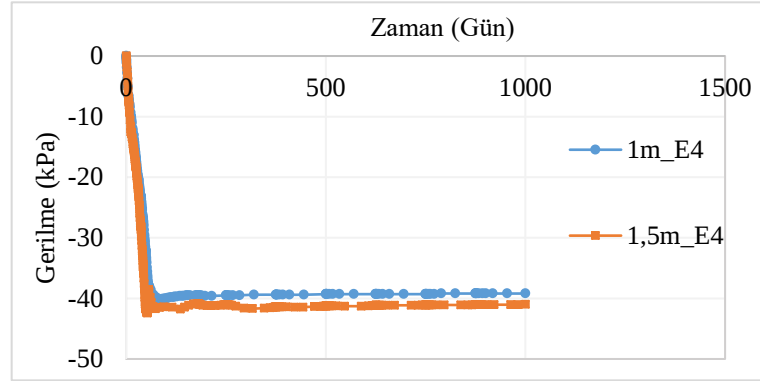


Şekil 6.25. Kazık çaplarındaki değişime göre kazıklarda hesaplanan eksenel yük

Şekil 6.25’ten de görülebileceği üzere en yüksek gerilme 1 metre çapa sahip kazıkta oluşurken, en düşük gerilme 0,5 metre çapa sahip kazıkta oluşmuştur. Bunun sebebi ise 1,5 metre çapa sahip kazık alanının diğer kazıklara oranla oldukça fazla olmasından kaynaklanmaktadır. 1,5 metre çapındaki bir dairenin alanı 1 metre çapa sahip bir dairenin alanının 1,4 katı olduğu hesaplanabilir. Bu nedenle her ne kadar 1,5 metre çapa sahip kazığa gelen eksenel yük yaklaşık 250 kN olsa da, 1 metre çapa sahip kazığa gelen eksenel yük 200 kN olduğu ve eksenel yükün alan miktarıyla aynı oranda artmadığı için 1,5 metre çapa sahip kazıkta daha düşük gerilme oluşmaktadır.

E4 noktasında farklı kazık çapları için hesaplanan gerilme incelendiği zaman, bu noktaya en düşük gerilme 1 metre kazık çapında hesaplanırken en yüksek gerilme 1,5

metre kazık çapına sahip modelde hesaplanmıştır. Hesaplanan gerilmenin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 6.26’da görülmektedir.



Şekil 6.26. E4 noktasında farklı kazık çapları için hesaplanmış gerilme

E4 noktasında ölçülen gerilmeler Şekil 6.26’dan da görülebileceği üzere birbirlerine oldukça yakındır. Bu değerlere daha yakından bakabilmek için aşağıdaki Tablo 6.3’da 55, 180 ve 1000. günler için hesaplanan gerilmeler verilmiştir.

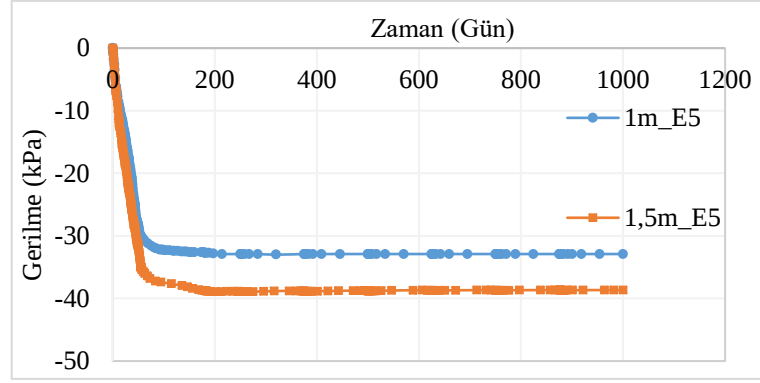
Tablo 6.3. E4 noktasında farklı zamanlar için hesaplanan gerilmeler

Kazık Çapı	1 m	1,5 m
55	37,8	38,64
180	39,5	40,87
1000	39,2	41

E5 noktasında 1 metre ve 1.5 metre kazık çapları için hesaplanan gerilmeler incelendiği zaman E4 noktasına oldukça benzer bir davranış gözlemlenmektedir. Bu noktada oluşan gerilme zaman grafiği Şekil 6.27’de verilmiştir. E5 noktasında 55 180 ve 1000. gün için hesaplanan gerilmeler Tablo 6.4’te verilmiştir.

Tablo 6.4. E5 noktasında farklı zamanlar için hesaplanan gerilmeler

Kazık Çapı	1 m	1,5 m
55	30,1	35
180	32,7	38,76
1000	32,9	38,66

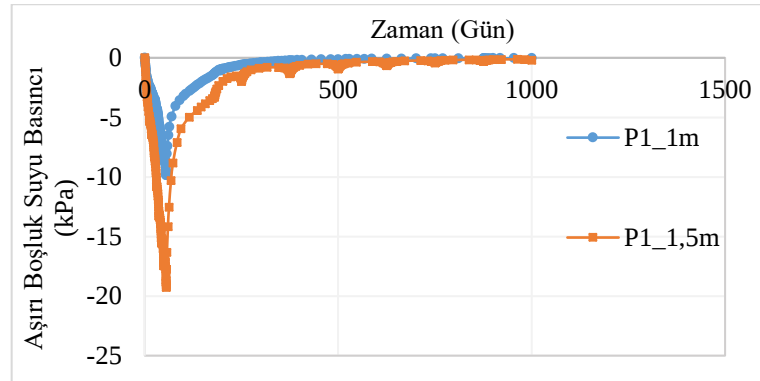


Şekil 6.27. E5 noktasında farklı kazık çapları için hesaplanmış gerilme

Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 incelendiği zaman kazık çaplarından dolayı oluşan gerilme farkının E5 noktasın daha yüksek olduğu görülmektedir. E4 noktasındaki fark 1 kPa civarındayken E5 noktasında 6 kPa civarında hesaplanmıştır.

1 metrelik ve 1,5 metrelik kazık çapına sahip modellerde hesaplanan boşluk suyu basıncı incelendiği zaman 1,5 metrelik çapa sahip kazıklar kullanıldığı zaman oluşan boşluk suyu basıncının hem P1 hem de P2 noktasında daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

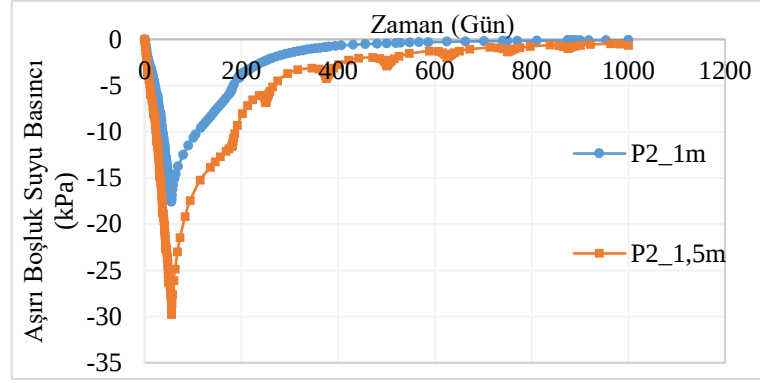
Şekil 6.28’de P1 noktası için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının değişimi verilmiştir. Aşırı boşluk suyu basıncı dolgu inşaatının tamamlandığı gün olan 55. günde en yüksek değerine ulaşır ve daha sonradan azalmaya başlamıştır.



Şekil 6.28. P1 noktası için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının değişimi

1,5 metre kazık çapına sahip modelde hem oluşan boşluk suyu basıncı fazladır hem de bu aşırı boşluk suyu basıncının sönmelenmesi için geçmesi gereken süre fazladır.

Şekil 6.29’da ise P2 noktası için 1 metre ve 1,5 metrelik kazık çapları için hesaplanan boşluk suyu basıncının zamana bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 6.29. P2 noktası için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının değişimi

P2 noktasında gözlemlenen aşırı boşluk suyu davranışı P1 noktasında gözlemlenen aşırı boşluk suyu basıncı davranışına oldukça benzemektedir. Ancak hem 1 metrelik kazık hem de 1,5 metrelik kazık kullanıldığı zaman P2 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı, P1 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncına göre daha fazladır. Yine P2 noktasında da 1,5 metrelik kazık çapı için hesaplanan boşluk suyu basıncı daha geç sönümlenmiştir.

P1 noktasında 1 metrelik çapa sahip kazıklar kullanıldığı zaman aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için 198 gün geçmesi gerekirken, 1,5 metre çapı olan kazıklar kullanılarak yapılan hesaplamalar da bu sürenin 380 güne çıktığı görülmüştür. P2 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için 1 metrelik kazık kullanılması durumunda 354 gün geçmesi gerekmektedir, 1,5 metrelik kazık kullanıldığında bu süre 713 gün geçmesi gerekmektedir.

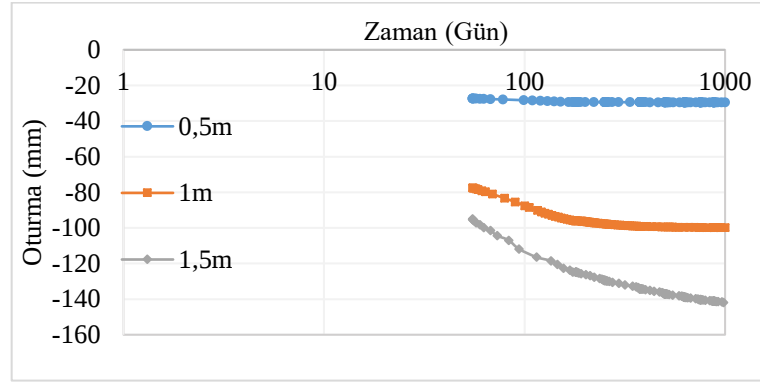
Şimdiye kadar gösterilen grafiklerin büyük kısmında 0,5 metrelik kazık çapının olduğu model göz önüne pek alınmamıştır. Bunun sebebi özellikle zemine denk gelen standart noktaların bu modelde kazık olan bölgeye denk gelmesinden dolayıdır. Ancak dolgu yüzeyinde meydana gelen oturmalar ile birlikte yatay deplasman incelendiği zaman 0,5 metre çapa sahip kazığın etkisi ortaya çıkacaktır. Bu nedenle ilk olarak aşağıdaki Şekil 6.30'da öncelikle dolgu yüzeyinde meydana gelen oturmaların zamana bağlı değişimi zamana bağlı olarak gösterilmiştir.

Şekil 6.30'da açıkça görüldüğü üzere 0,5 metrelik kazığa sahip dolgu modellemesinde, dolgu yüzeyinde oluşan oturmaların 55 ile 1000. günler arasındaki fark oldukça azdır. 1 metrelik kazıklarla kullanılarak modelleme yapıldığı zaman hem toplam oturma miktarı artmakta, hem de 55 ile 1000. günler arasında da oturma miktarı artmaya devam etmektedir. 1,5 metre çapındaki kazık kullanılan modele geldiğimiz zaman ise

oturma hem oturma miktarı artmakta hem de diğer koşullarda oturma tamamlandığı halde, bu koşulda oturma devam etmektedir. Her bir kazık çapı için 55, 180 ve 1000. günler de gerçekleşen oturma miktarı Tablo 6.5’te verilmiştir.

Tablo 6.5. Farklı kazık çapları için oturma miktarı

	0.5 m	1 m	1.5 m
55	27,28	77,51	95,00
180	29,36	95,99	124,74
1000	29,45	99,82	141,81

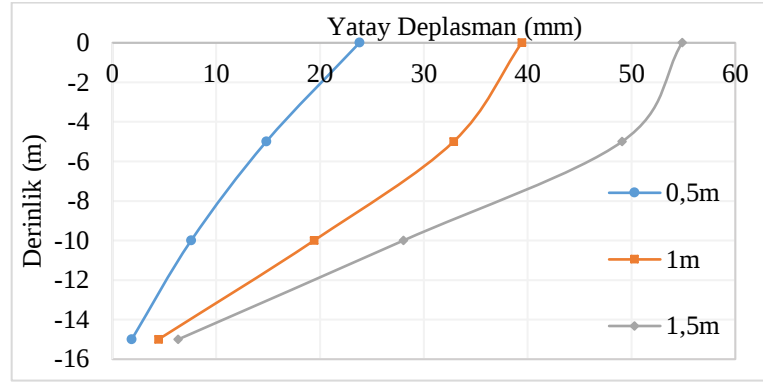


Şekil 6.30. Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı

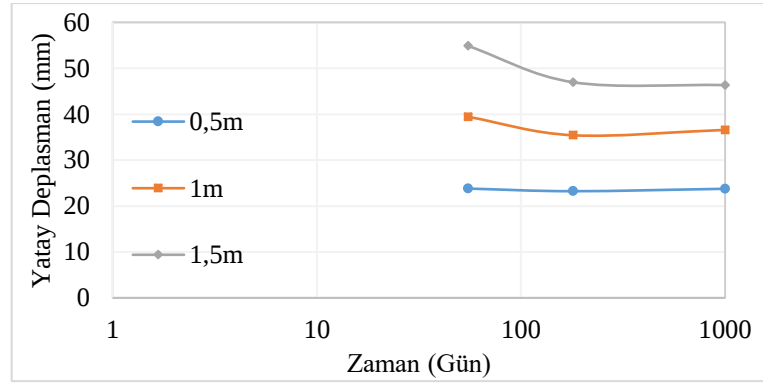
Tablo 6.5’den de görülebileceği üzere daha büyük yarı çaplı kazık kullanmak oturma miktarını oldukça arttırmaktadır. 0,5 metre çaplı kazık kullanıldığı zaman 1000 günde sadece 29,45 mm oturma hesaplanırken, 1,5 metre kazık kullanıldığı zaman aynı zaman zarfında 141,81 mm oturma hesaplanmaktadır.

Şekil 6.31’de ise farklı kazık çaplarının yanıl deplasmana olan etkisi araştırılmıştır. Grafik 55. günkü yatay deplasmanlardan faydalanılarak oluşturulmuştur. Bu grafikten görülebileceği üzere en yüksek yatay deplasman doğal zemin yüzeyinde meydana gelirken, derinlik arttıkça yatay deplasman azalmaktadır.

En düşük yatay deplasman 0,5 metre kazık çapında görülürken en yüksek yatay deplasman 1,5 metre çapında kazık kullanıldığı zaman görülmüştür. 0,5 metre kazık kullanıldığı zaman 1000 gün sonunda yüzeyde görülen yatay deplasman 24 mm’dir ve 55. gün ile aynı büyüklüğe sahiptir. Ancak 1 metre ve 1,5 metrelik kazıklar kullanılarak yapılan modellemelerde zaman geçtikçe yüzeyde gözlemlenen yatay deplasman azalmaktadır. Bu davranış aşağıdaki Şekil 6.32’de görülmektedir.



Şekil 6.31. Kazık çapının yatay deplasmana olan etkisi



Şekil 6.32. Yatay deplasmanın zamanla olan değişimi

Bu bölümde verilen bilgilere bağlı olarak elde edilen sonuçlar baz alındığı zaman, kazık çapı düştükçe dolgudan dolayı doğal zeminde görülen oturma miktarı ve aşırı boşluk suyu basıncı azalmaktadır. Bunlara ek olarak, yatay deplasmanlarda da büyük azalmalar görülmektedir. Bunun sebebi daha düşük çaplı kazıklar kullanıldığı zaman, aynı kazık çapı ve kazıklar arası mesafe oranında, daha fazla kazık kullanılmasıdır. Bu nedenle dolgu yükü alt tabakalara daha düzenli şekilde aktarılmakta, bundan dolayı daha az aşırı boşluk suyu basıncı oluşmakta ve daha az oturma oluşmaktadır. Daha rijit bir yapı oluşturulduğu içinde yatay deplasmanlar hemen hemen yarıya inmektedir.

6.1.4. Kazık boyunun dolgu davranışına etkisi

Üst yapı yüklerinin derin temel yöntemi kullanılarak taşıma kapasitesi daha yüksek olan alt tabakalara aktarılması sırasında kazık boyu seçimi geoteknik problemlerinin en önemli noktalarından biridir. Seçilen kazık boyuna göre üst yapı yükünün alt tabakalara aktarım mekanizması değişmektedir. Eğer kazık boyu sağlam tabakaya kadar ulaşmış üst

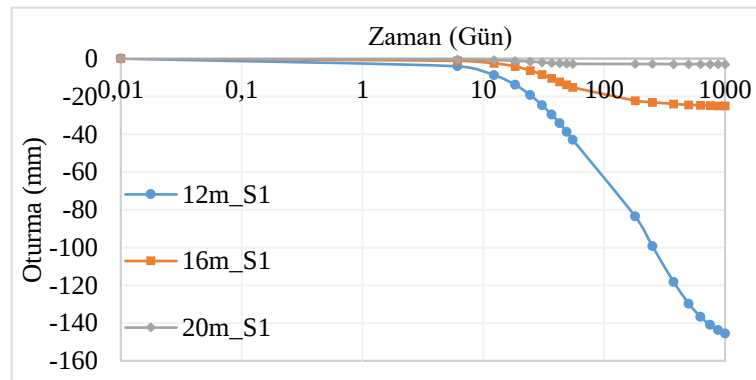
yapı yükünü buraya iletiyorsa bu kazık tipine uç kazığı denmekte, eğer kazık boyu sağlam tabakaya ulaşmayıp üst yapı yükünü alt tabakalara sürtünme yolu ile aktarıyorsa bu tip kazıklara sürtünme kazığı denmektedir.

Seçilen referans projede kazık boyu 16 metre olarak belirlenmiştir. 16 metreye sahip kazıklar ise kumlu silt tabakasının ancak başladığı noktaya kadar ulaşabilmektedir. Bu nedenle öncelikle kazık boyu daha uzun olup kazıkların bu tabakanın içine girmesi durumunda dolgu davranışına olan etkisini görmek amacıyla ilk olarak 20 metrelik kazıklara sahip yeni bir model oluşturulmuştur. Daha sonra ise sürtünme kazıklarının kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek olan etkileri ortaya koymak amacıyla 12 metre uzunluğa sahip kazıklar kullanılarak aynı dolgu bir kez daha modellenmiştir.

Yapılan modellemeler sayısal olarak çözümlendikten sonra S1, S2, S3 ve S4 noktalarındaki oturmalar, E4, E5 ve E9 noktalarındaki gerilmeler, P1 ve P2’de oluşan aşırı boşluk suyu basıncı, dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı ile birlikte dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta hesaplanan yatay deplasmanlar kullanılarak farklı kazık boyları ve tiplerinin kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

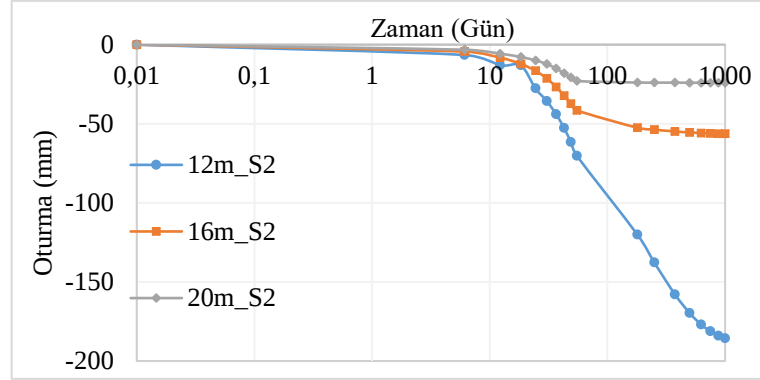
Bu bölümde de öncelikle S1, S2, S3 ve S4’te hesaplanan oturma miktarlarından başlanarak adım adım ilerleyerek etkiler ortaya konacaktır.

Farklı kazık boyları için hem kazık uçlarında hem de zemin yüzeyinde meydana gelen oturma miktarları incelendiği zaman en yüksek oturmalar her noktada her zaman kazık boyunun 12 metre olduğu zaman görülmüştür. S1 noktasında oluşan oturmaların zamanla değişimi aşağıdaki Şekil 6.33’te görülmektedir.



Şekil 6.33. S1 noktasında meydana gelen oturmalar

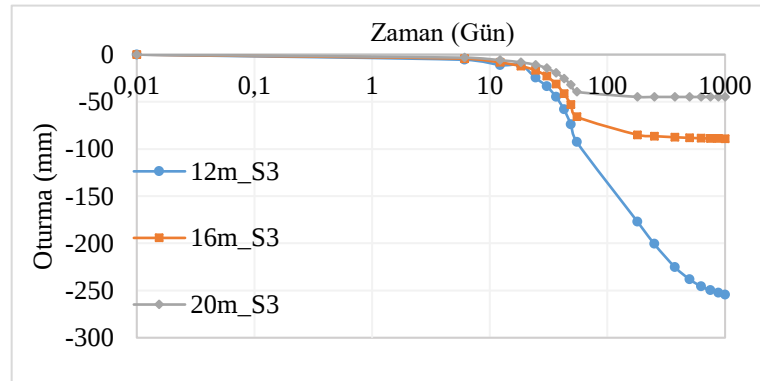
S2 noktasındaki oturma davranışı incelendiği zamanda görülmektedir ki en yüksek oturma miktarı 12 metre uzunluğa sahip kazık kullanıldığı zaman oluşmaktadır. Şekil 6.34'te S2 noktasındaki oturma davranışının zamanla değişimi incelenebilmektedir.



Şekil 6.34. S2 noktasında meydana gelen oturmalar

20 metrelik kazık kullanılarak oluşturulan modelde meydana gelen oturma 55, 180 ve 1000. günler için sırasıyla 23 mm, 23,97 mm ve 24,12mm olarak hesaplanmıştır. Aynı durumda 12 metre uzunluğunda kazık kullanıldığı zaman aynı günlerde sırasıyla 70,27 mm, 120,17 ve 185,75 mm olarak ölçülmüştür.

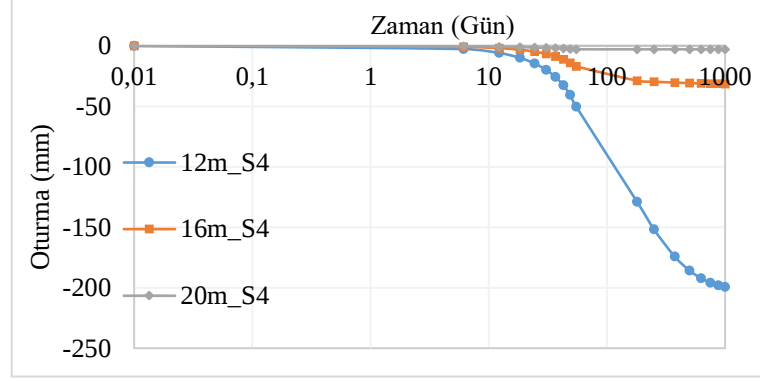
S3 noktasındaki oturma davranışı incelendiği zaman oturma miktarı en fazla 12 metre kazık boyuna sahip model için hesaplanırken en düşük yine 20 metre kazık boyu için hesaplanmıştır. Hesaplanan oturma miktarları aşağıdaki Şekil 6.35'te gösterilmiştir.



Şekil 6.35. S3 noktasında meydana gelen oturmalar

S3 noktası dolgu noktasının simetri merkezine daha yakın olduğu için hesaplanan oturma miktarı S2 noktasında hesaplanan oturma miktarına göre tüm durumlar için artmıştır. Hesaplanan en yüksek oturma miktarı 12 metrelik kazık boyuna sahip model için 1000. Gün için 254 mm'dir. En düşük 20 metre kazık boyuna sahip modelde 1000. gün için 44,93 mm olarak hesaplanmıştır.

S4 noktasında da benzer davranış gözlemlenmiştir. Bu nokta için hesaplanan oturma miktarı Şekil 6.36’da grafik olarak verilmiştir.

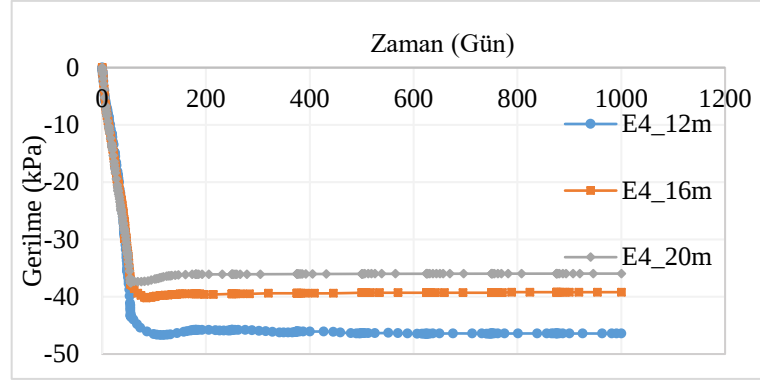


Şekil 6.36. S4 noktasında meydana gelen oturmalar

S4 noktası her ne kadar kazık üzerinde meydana gelen oturma miktarını ifade etse de 12 metre kazık boyuna sahip model için hesaplanan oturma miktarı 200 mm’dir. Bu miktar ise S2 noktasında hesaplanan oturma miktarına göre daha fazladır. 20 metrelik kazık boyuna sahip model de ise 1000 gün sonunda 3 mm’lik oturma hesaplanmıştır.

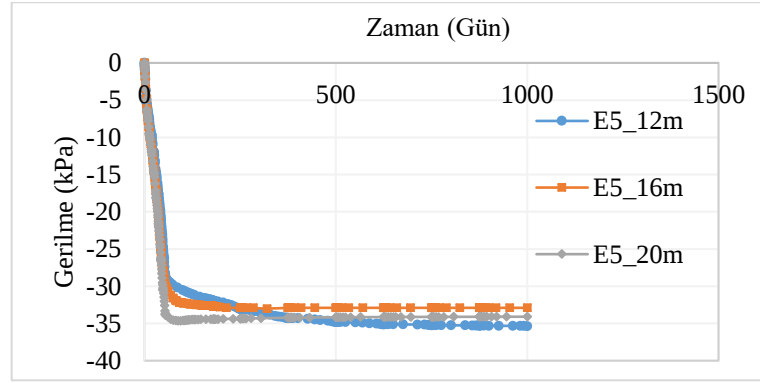
S1, S2, S3 ve S4 noktalarında gözlemlenen oturma miktarları incelendiği zaman sürtünme kazığının bu proje için her noktada en fazla oturmaya neden olduğu görülmüştür. Ayrıca sağlam zemine ancak yetişen kazık boyu olan 16 metrelik kazıklar kullanılması durumunda hesaplanan oturma miktarının büyük oranda azaldığı ancak kazıkların sağlam zemine saplandığı durumda oturma miktarının oldukça düştüğü görülmüştür.

Bu kısımda E4, E5 ve E9 noktalarında farklı kazık boyları için hesaplanan gerilmeler incelenecektir. E4 noktası için hesaplanan gerilmeler incelendiği zaman daha kısa uzunluğa sahip kazık kullanıldığı zaman burada ölçülen gerilmeler artmaktadır. Bu durum Şekil 6.37’de görülmektedir.

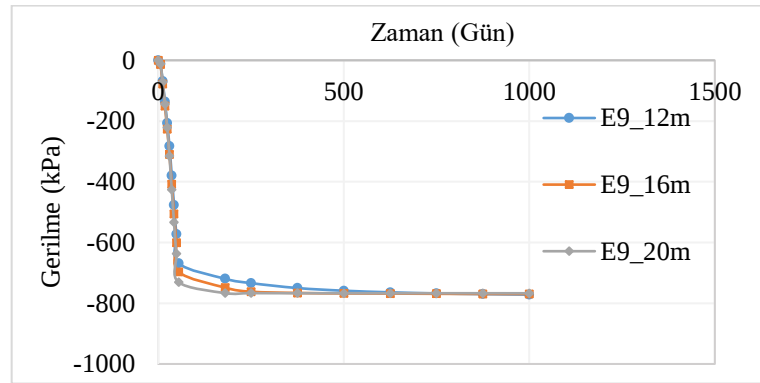


Şekil 6.37. E4 noktası için hesaplanan gerilmeler

E5 ve E9 noktalarında ise E4 noktasındaki gibi bir durum söz konusu değildir. Özellikle E9 noktasında yani aynı noktadaki kazıkta hesaplanan gerilmeler tüm durumlar için hemen hemen eşittir. E4 ve E9 için hesaplanan gerilmeler aşağıdaki Şekil 6.38'de gösterilmiştir.



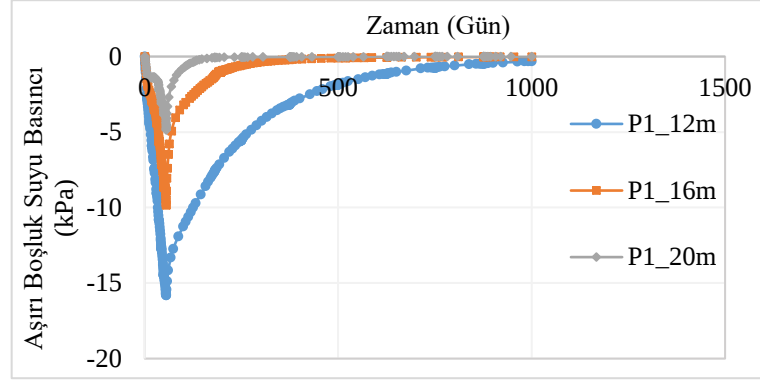
(a)



(b)

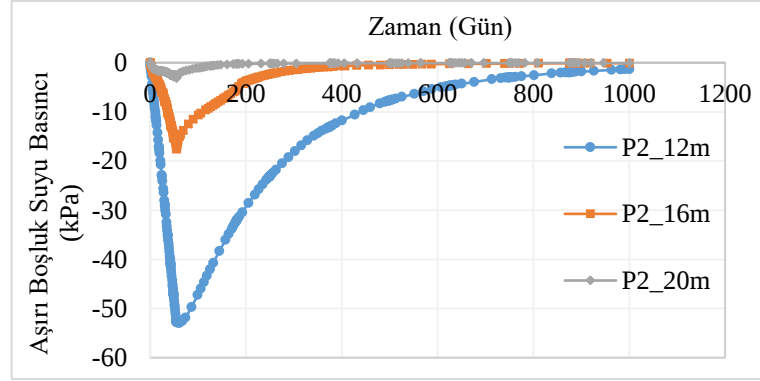
Şekil 6.38. (a) E5 noktası için hesaplanan gerilme (b) E9 noktası için hesaplanan gerilme

Dolgu modellemesi sırasında kullanılan kazık boyu azaldıkça hesaplanan boşluk suyu basıncında büyük artışlar görülmektedir. Kazık boyu 20 metre olduğu zaman hesaplanan boşluk suyu basıncı P1 ve P2 noktaları için sırasıyla 4,86 kPa ve 3,09 kPa'dır. Aynı noktalar 12 metre kazık boyu ile modelleme yapıldığı zaman hesaplanan boşluk suyu basıncı sırasıyla 15,82 kPa ve 52,79 kPa'dır. P1 noktasındaki boşluk suyu basıncının zamanla değişimi Şekil 6.39'da verilmiştir.



Şekil 6.39. Farklı kazık boyları için P1 noktasında meydana gelen boşluk suyu basıncı

Kazık boyu 20 metreden 12 metreye düşürüldüğü zaman P1 noktasında oluşan boşluk suyu basıncı %412 artarken, P2 noktasında bu oran %1608'e çıkmaktadır. P2 noktasında meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimi ise Şekil 6.40'tan görülebilir.

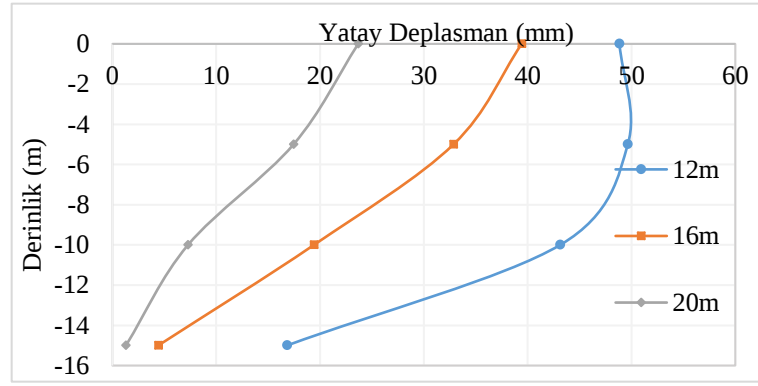


Şekil 6.40. Farklı kazık boyları için P2 noktasında meydana gelen boşluk suyu basıncı

Boşluk suyu basıncının sönümlenme süreleri de farklı kazık boyları için büyük farklılıklar göstermektedir. 20 metrelik kazıklar kullanılarak yapılan analizlerden P1 noktasında oluşan boşluk suyu basıncı 88 gün sonra P2 noktasında ise 104 gün sonra 1 kPa'nın altına düşerek sönümlenmiştir. Ancak 12 metrelik kazıklar kullanılarak elde edilen sonuçlara göre P1 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı 676 gün sonra 1

kPa'nın altına düşerken, P2 noktasında 1000 gün sonunda aşırı boşluk suyu basıncı 1 kPa'nın altına düşmemiştir.

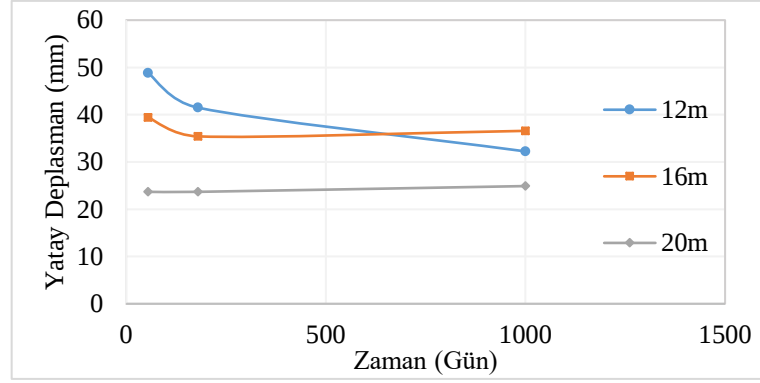
Dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta ölçülen deplasmanların miktarı da kazık boyundan önemli bir şekilde etkilenmektedir. 20 metre kazık boyu ile yapılan modelleme de 55 gün sonucunda hesaplanan yatay deplasman en yüksek yaklaşık olarak 24 mm iken, 12 metre kazık boyu kullanılması durumunda aynı sürede hesaplanan yatay deplasman 48 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan yatay deplasmanların derinliğe ve kazık boyuna bağlı olarak değişimi aşağıdaki Şekil 6.41'de görülebilmektedir.



Şekil 6.41. Yatay deplasmanların kazık boyuna bağlı olarak derinlik ile değişimi

Oluşan yatay deplasmanın aynı noktadaki zamanla değişimi de kazık boyuna göre oldukça değişmektedir. Kazık boyu azaldıkça ortaya çıkan değişim miktarı artmaktadır. Zemin yüzeyinde farklı kazık boyları için meydana gelen yatay deplasman miktarındaki değişim Şekil 6.41'de görülmektedir.

Şekil 6.42'den görüldüğü üzere 12 metre boyunda kazık kullanıldığı durumda aynı noktadaki yatay deplasman zaman geçtikçe azalmaktadır. 16 metrelik kazık kullanıldığı zaman ise yatay deplasman öncelikle azalırken daha sonradan bir miktar artmaktadır. Ancak 20 metrelik kazık kullanılarak yatay deplasman 55. günden 180. güne gelindiğinde sabit kalırken, 180. günden 1000. güne gelindiğinde artış görülmektedir.



Şekil 6.42. Farklı kazık boyları için yatay deplasmanın zamana bağlı değişimi

6.2. Kullanılan Donatının Etkileri

Yapılan çalışmanın bu kısmında kullanılan donatının farklı rijitliğe sahip olması durumunda ve farklı sayılarda kullanılması durumunda ortaya çıkan sonuçlar ele alınmıştır.

Daha önceki bölümde anlatılan referans projede kullanılan donatının rijitliği 1180 kN/m olarak belirtilmiştir. Donatı rijitliğinin davranışa olan etkinin tam olarak ortaya konulması için yapılan farklı modellemeler de donatı rijitliği 4000 kN/m 6000 kN/m ve 10000 kN/m olarak değiştirilmiştir.

Donatı sayısının dolgu davranışına olan etkilerini görmek için, iki ve üç katman donatıya sahip modeller çözümlenerek etkileri gözlemlenmiştir. Çalışmanın bu kısmında donatı katmanları öncelikle kullanılan çakıl katmanının içine yerleştirilmiş, daha sonra dolgu tabakasının farklı yüksekliklerine yerleştirilerek, donatının dolgu içerisinde en yüksek fayda sağlayacağı yer bulunmaya çalışılmıştır. Tablo 6.6'da kullanılan donatı sayısı ve dolgu tabanı orjin kabul edilerek, donatı yerleri verilmiştir.

Değişen donatı rijitliğinin ve farklı donatı sayılarının kazık ve zeminde meydana gelen oturma miktarına etkisi, zemin ve kazıklar için hesaplanan gerilmeye etkisi, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu ve sönümlenmesine olan etkisi, dolgunun tepe noktasına olan etkisi ile birlikte yatay deplasmana olan etkisi rijitlik ve sayı için iki farklı alt bölümde aşağıda incelenmiştir.

Değişen donatı rijitliğinin ve farklı donatı sayılarının kazık ve zeminde meydana gelen oturma miktarına etkisi, zemin ve kazıklar için hesaplanan gerilmeye etkisi, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu ve sönümlenmesine olan etkisi, dolgunun tepe noktasına

olan etkisi ile birlikte yatay deplasmana olan etkisi rijitlik ve sayı için iki farklı bölüme aşağıda incelenmiştir.

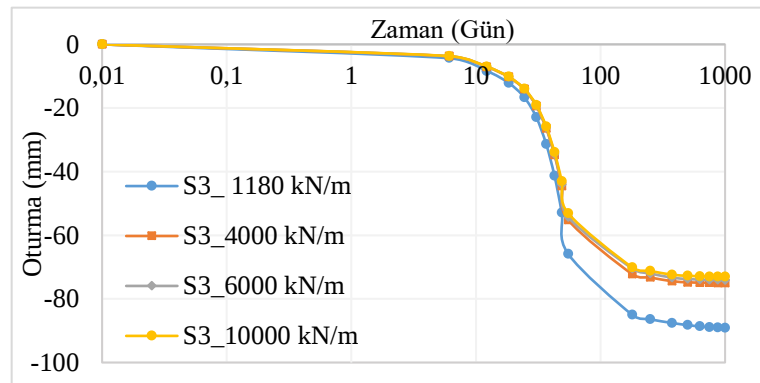
Tablo 6.6. Kullanılan donatı sayısı ve yerleri

Donatı Sayısı	Durum	1. Donatı	2. Donatı	3. Donatı
2	1. Durum	0	0,25	-
	2. Durum	0,25	0,5	-
	3. Durum	0	0,5	-
	4. Durum	0,25	2,42	-
	5. Durum	0,25	3,70	-
	6. Durum	0,25	4,98	-
3	1. Durum	0	0,25	0,5
	2. Durum	0,25	1,14	1,78
	3. Durum	0,25	1,14	2,42
	4. Durum	0,25	1,78	3,70
	5. Durum	0,25	2,42	4,34

6.2.1. Donatı rijitliğinin davranışa olan etkisi

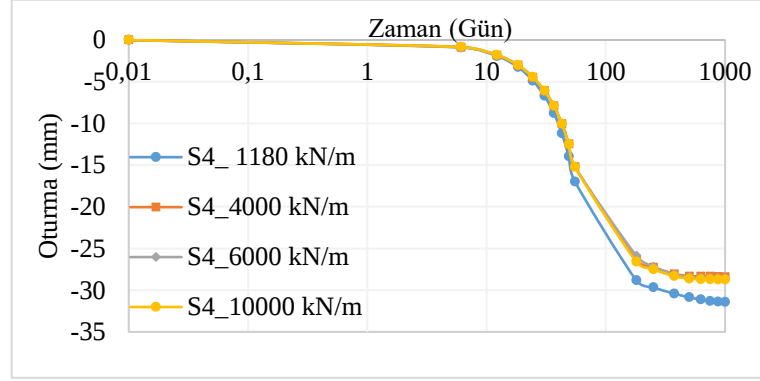
Donatı rijitliğinin oturma davranışına olan etkisi sınırlı olmaktadır. Rijitlik 1180 kN/m'den 4000 kN/m'ye çıktığı zaman çıktığı zaman S3 noktasında 180 gün için hesaplanan oturma miktarı 85 mm'den 72 mm'ye düşmektedir. Daha sonra artan donatı riitliği ile birlikte oturma miktarı azalmakla beraber, azalma miktarı bu kadar belirgin olmamaktadır. Şekil 6.43'te S3 noktası için hesaplanan oturma miktarlarının karşılaştırması ve zamanla değişimi görülmektedir.

S4 noktası için hesaplanan oturma miktarı da artan donatı rijitliği ile birlikte azalmaktadır. Ancak meydana gelen azalma miktarı oransal olarak daha az olmaktadır.



Şekil 6.43. S3 noktasında değişen donatı rijitliğinin oturma davranışına etkisi

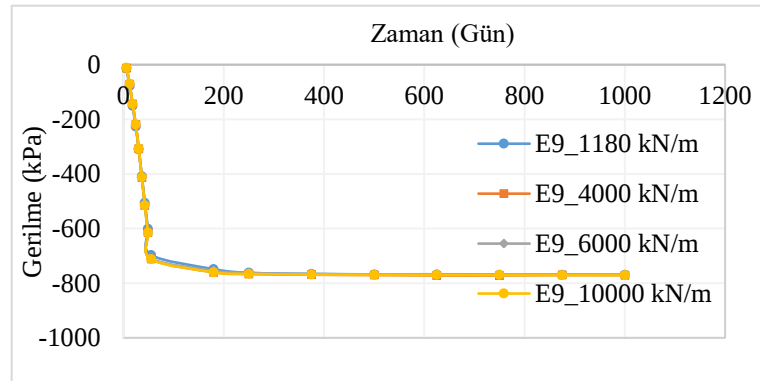
S3 noktasında oturma miktarındaki azalma 1000 gün sonunda %16 iken S4 noktasındaki azalma oranı %10 olmaktadır. S4 noktasında meydana gelen oturma miktarının donatı rijitliğine bağlı olarak meydana gelen değişim Şekil 6.44'te görülmektedir.



Şekil 6.44. S4 noktasında değişen donatı rijitliğinin oturma davranışına etkisi

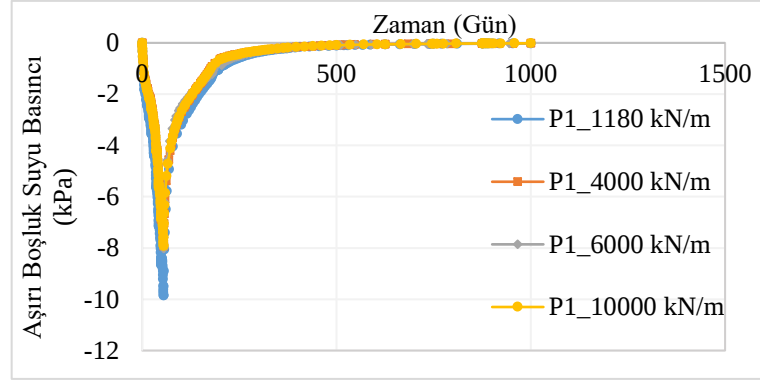
S4 noktasında meydana gelen oturma miktarının S3 noktasına oranla daha az olmasının sebebi ise kazıklara etkiyen gerilme miktarının donatı rijitliğinden etkilenmemesidir. Bu davranış ise E9 için hesaplanan gerilmelerin donatı rijitliğine bağlı grafiğinden görülebilmektedir. Bu grafik Şekil 6.45'te görülmektedir.

E4 ve E5 noktasında farklı donatı rijitlikleri için hesaplanan gerilmeler için belirli bir davranış modelinden bahsedilebilecek sonuçlar elde edilmemiştir. Ancak hesaplanan boşluk suyu basıncında donatı rijitliği artınca öncelikle bir azalma görülmekle birlikte bu azalma rijitliğin daha fazla artmasıyla durmaktadır.



Şekil 6.45. E9 noktasında farklı donatı rijitliği için hesaplanan gerilme miktarı

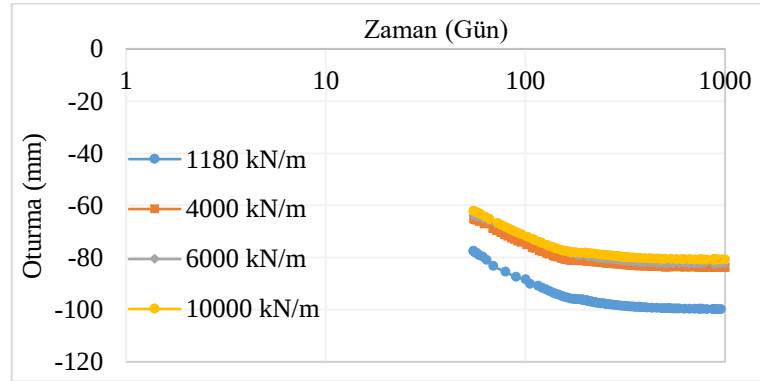
Şekil 6.46'da P1 noktası için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının zamana bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 6.46. P1 noktası için farklı donatı rijitliği için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı

P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu incelendiği zaman P1 noktasındaki gibi bir davranış olduğu gözükmemektedir. Donatı Rijitliği 1180 kN/m'den 4000 kN/m'ye çıktığı zaman oluşan aşırı boşluk suyu basıncı basıncında azalma meydana gelirken, donatı rijitliği daha fazla arttığı zaman oluşan aşırı boşluk suyu basıncın da bir değişiklik meydana gelmemektedir.

Dolgu yüzeyinde meydana gelen donatı rijitliğine bağlı oturma miktarındaki değişim S3 noktasındaki oturma davranışına benzemektedir. Donatı rijitliğinin 1180 kN/m'den 4000 kN/m'ye çıktığı zaman 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarı 100 mm'den 84mm'ye düşerken, donatı rijitliği 10000 kN/m olduğu zaman hesaplanan oturma miktarı 81 mm olmaktadır. Bu durum aşağıda ki Şekil 6.47'de grafiksel olarak görülmektedir.

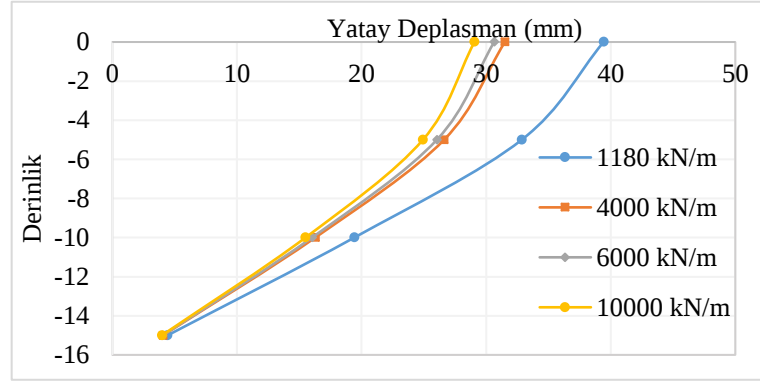


Şekil 6.47. Dolgu yüzeyinde donatı rijitliğine bağlı olarak hesaplanan oturma miktarı

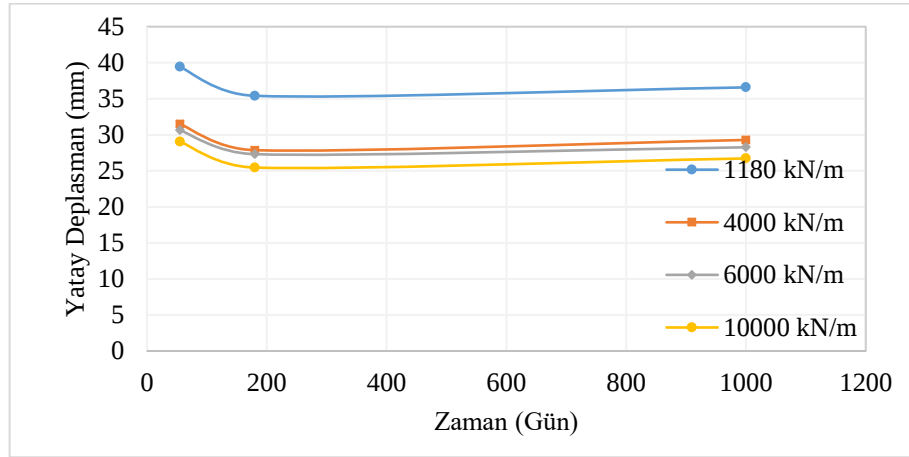
Donatı rijitliğinde meydana gelen artış, hesaplanan yatay deplasman miktarını da etkilemektedir. 55. gün için hesaplanan yatay deplasmanın donatı rijitliğine bağlı olarak değişimi Şekil 6.48'den görülebilir.

Şekil 6.48'de görülebileceği üzere donatı rijitliğinin artması üst tabakalarda görülen yatay deplasmanı azaltmakta iken, derinlik arttıkça donatı rijitliğinin etkisi

kaybolmaktadır. Yüzeyde oluşan yatay deplasmanların davranışı incelendiği zaman, tüm rijitlik değerleri için benzer davranış görülmektedir. Tüm durumlarda yatay deplasman 55 ile 180. günler arasında azalırken, 180. günden sonra artmaktadır. Bu davranış aşağıdaki Şekil 6.49’da görülmektedir.



Şekil 6.48. Yatay deplasmanın donatı rijitliğine bağlı değişimi



Şekil 6.49. Yatay deplasmanın donatı rijitliği ve zamana bağlı değişim

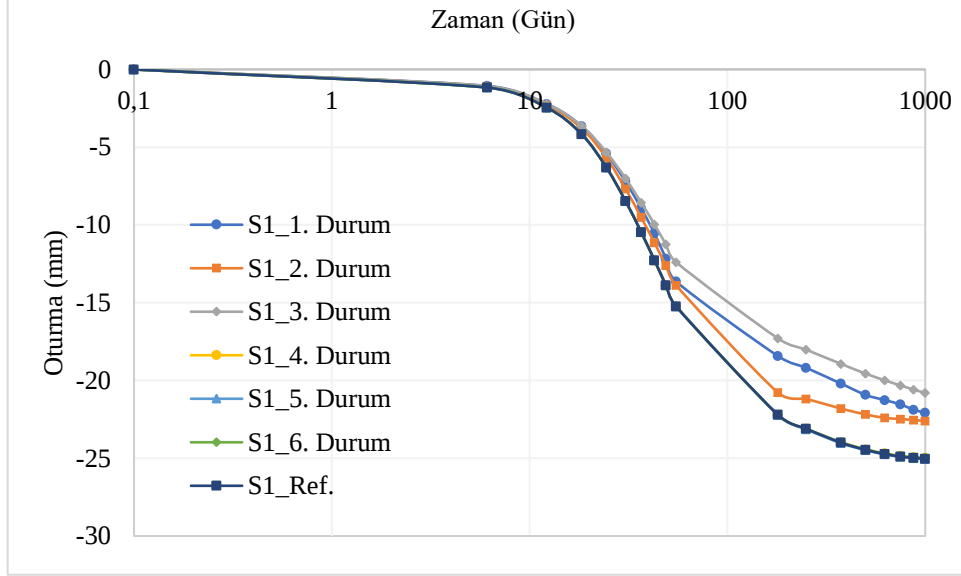
6.2.2. Donatı sayısının davranışa olan etkisi

Bu bölümde donatı sayısı ve yerinin dolgu inşası ve sonrasında olan davranışa olan etkisi anlatılacaktır. İlk olarak iki adet aynı rijitliğe sahip donatının etkisi gösterilip daha sonra aynı rijitliğe sahip üç donatı kullanımının etkisi araştırılacaktır.

6.2.2.1. İki adet donatının davranışa olan etkisi

İki adet donatı kullanılmasının ilk olarak hem kazıklar da hem de zeminde meydana oturmaya olan davranışı incelenecektir. İki adet donatı kullanımı hem kazıklar da hem de zeminde meydana gelen oturma miktarını azaltmaktadır. Ancak meydana gelen

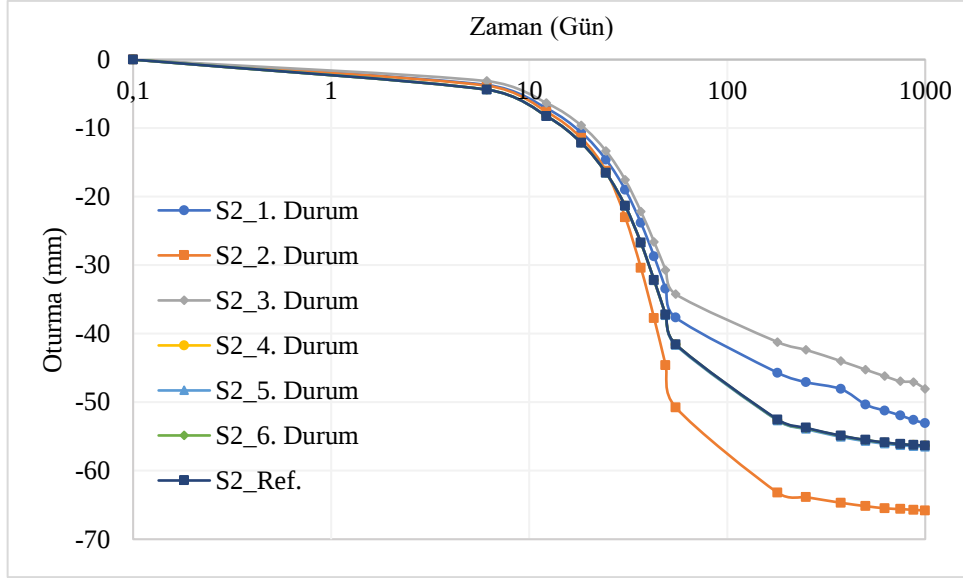
azalmanın miktarı donatı tabakalarının nereye yerleştirildiği ile ilgilidir. Aşağıdaki Şekil 6.50’de S1 noktası için hesaplanan oturma miktarları zamana bağlı olarak grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.50. İki katmanlı donatı kullanılmasının S1 noktası için hesaplanan oturma miktarına etkisi

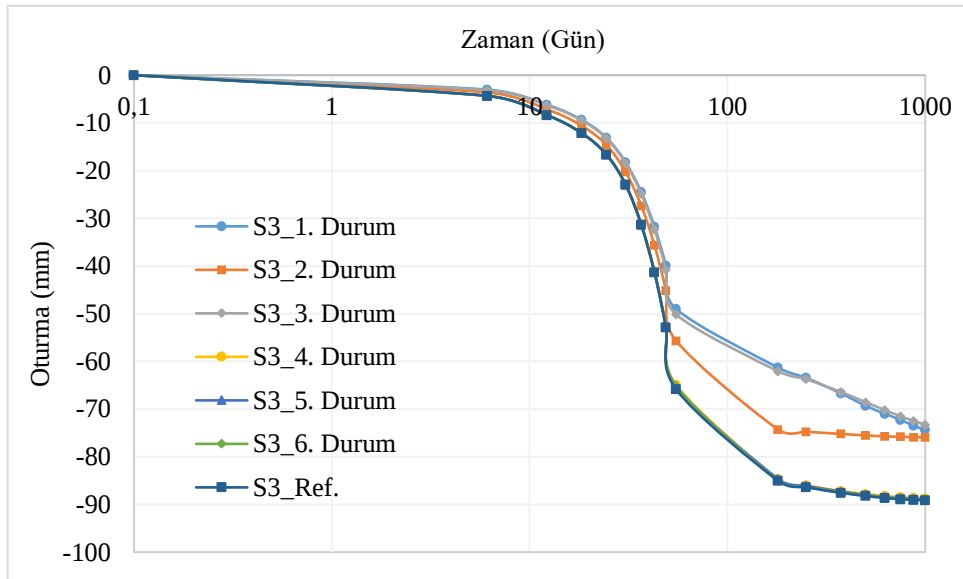
Şekil 6.50’den görülebileceği üzere, S1 noktasında en düşük oturma miktarı 3. Durum’da olduğu görülmektedir. 5. ve 6. durumlar ile referans proje için hesaplanan oturma miktarlarının hemen hemen aynı olduğu da Şekil 6.50 üzerinden görülmektedir.

Şekil 6.51’de ise S2 için farklı durumlar için hesaplanan oturma miktarlarının zaman bağlı olarak değişimi görülmektedir. Bu şekil incelendiği zaman, hesaplanan en yüksek oturma miktarının 2. Durum’da en düşük oturma miktarının ise S1 noktasında olduğu gibi yine 3. Durum’da olduğu görülmüştür.



Şekil 6.51. İki katmanlı donatı kullanılımasının S2 noktası için hesaplanan oturma miktarına etkisi

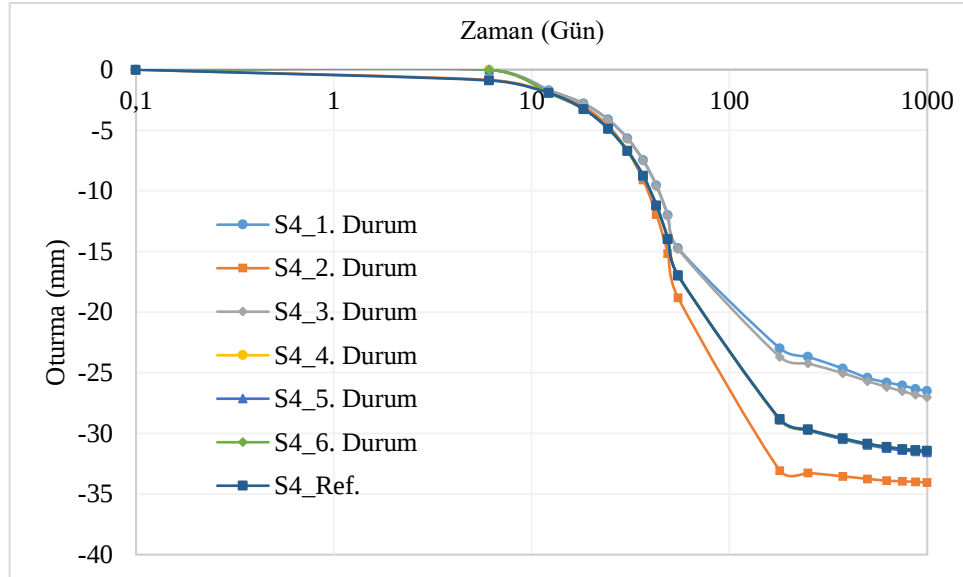
Şekil 6.52’de S3 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma miktarı görülmektedir. Bu şekilden de görülebileceği üzere en düşük oturma miktarı yine 3. Durum için hesaplanmıştır. En yüksek oturma miktarı ise 6. Durum için hesaplanmıştır.



Şekil 6.52. İki katmanlı donatı kullanılımasının S3 noktası için hesaplanan oturma miktarına etkisi

Şekil 6.53’de ise S4 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma miktarları görülmektedir. S4 noktasında en düşük oturma miktarı 1. Durum’da hesaplanmıştır. En yüksek oturma miktarı ise 2. Durum için hesaplanmıştır.

Şekil 6.51'den Şekil 6.53'e kadar verilen grafiklerden farklı durumlarda farklı noktalar için hesaplanan oturma miktarının zamana bağlı değişimi görülmektedir. Ancak referans projeye göre olan değişimin bu grafiklerden çıkarılması oldukça zordur. Bu nedenle S1, S2, S3 ve S4 noktalarıda 55, 180 ve 1000. günlerde hesaplanan oturma miktarları Tablo 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.53. İki katmanlı donatı kullanılmasının s4 noktası için hesaplanan oturma miktarına etkisi

Tablo 6.7'den görülebileceği üzere S1 noktası için 55, 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük oturma miktarı sırasıyla 12,4 mm, 17,3 mm ve 20,8 mm ile 3. durum için hesaplanan oturma miktarıdır.

S2 noktasında hesaplanan en düşük oturma miktarları ise 55, 180 ve 1000. günlerde sırasıyla 34,3 mm, 41,2 mm ve 48,1 mm olarak 3. durum için yapılan hesaplamalar da bulunmuştur. S3 noktası için yapılan hesaplamalar en düşük oturma miktarları 55 ve 1000. günlerde 50,1 mm ile 73,3 mm ile 3. durumda iken 180. günde 61,3 mm ile 1. durumdadır. S4 noktasında ise diğer noktaların aksine en düşük gerilmeler 55, 180 ve 1000. günler sonunda 1. durumda hesaplanmıştır. Hesaplanan en düşük oturma miktarları ise sırasıyla 14,7 mm, 23 mm ve 26,5 mm'dir.

Tablo 6.7. Farklı gün ve durumlar için S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarı

	S1			S2			S3			S4		
	55	180	1000	55	180	1000	55	180	1000	55	180	1000
Referans	15,2	22,2	25,0	41,6	52,5	56,3	65,8	85,0	89,1	17,0	28,8	31,4
1. Durum	13,6	18,4	22,1	37,7	45,7	53,1	49,0	61,3	74,3	14,7	23,0	26,5
2. Durum	13,9	20,8	22,6	50,8	63,2	65,8	55,7	74,3	76,0	18,8	33,1	34,0
3. Durum	12,4	17,3	20,8	34,3	41,2	48,1	50,1	62,1	73,3	14,8	23,7	27,0
4. Durum	15,2	22,2	25,0	41,6	52,6	56,3	64,9	84,7	88,7	17,0	28,9	31,5
5.Durum	15,2	22,2	25,1	41,7	52,7	56,5	65,2	84,7	88,9	17,0	28,9	31,6
6.Durum	15,2	22,2	25,0	41,6	52,6	56,3	65,2	84,9	89,0	17,0	28,9	31,4

Aşağıdaki Tablo 6.8’de ise S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen değişim miktarının referans projeye oranlanmış halleri verilmiştir. Bu tabloya göre, oturma miktarında oransal olarak meydana gelen en büyük azalma %27,9 ile S3 noktasında 180. günde 1. durumda görülmüştür.

Tablo 6.8 dikkatli bir şekilde incelendiği zaman, tabloda bazı negatif değerler olduğu gözükmemektedir. Negatif değerler ise, görüldükleri noktalarda referans projeye göre oturma miktarında meydana gelen artışı göstermektedirler. Buna göre oturma miktarındaki en büyük artış %22,2 ile 2. durumda ve S2 noktasında 55. günde hesaplanmıştır.

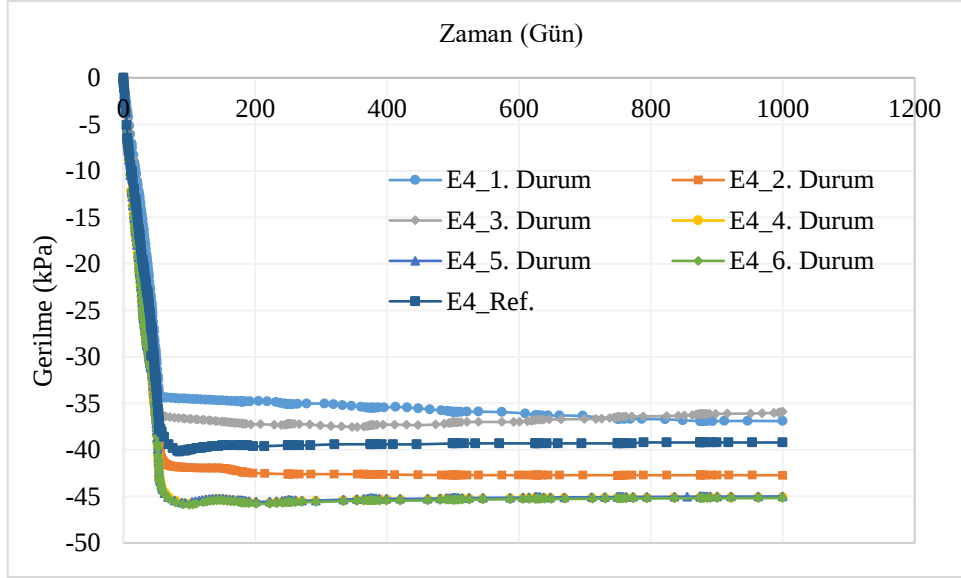
Tablo 6.8’den çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise en büyük değişimlerin hep zemin üzerinde meydana gelen oturmalarda meydana geldiğidir. Kazıklar da meydana gelen oturma miktarındaki azalma ise %22,1 ile S1 noktasında 180. günde görülmüştür.

Tablo 6.8’den çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise en büyük değişimlerin hep zemin üzerinde meydana gelen oturmalarda meydana geldiğidir. Kazıklar da meydana gelen oturma miktarındaki azalma ise %22,1 ile S1 noktasında 180. günde görülmüştür.

Tablo 6.8. Farklı durumlar için S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen değişim oranı

	S1 (%)			S2 (%)			S3 (%)			S4 (%)		
	55	180	1000	55	180	1000	55	180	1000	55	180	1000
1.Durum	10,5	17,0	11,8	9,4	13,0	5,7	25,6	27,9	16,6	13,3	20,3	15,7
2.Durum	8,9	6,4	9,6	-22,2	-20,3	-16,8	15,4	12,6	14,8	-10,8	-14,7	-8,3
3.Durum	18,6	22,1	16,9	17,6	21,5	14,7	23,8	27,0	17,8	12,8	17,8	14,1
4.Durum	0,0	-0,1	0,2	-0,1	-0,2	0,0	1,4	0,4	0,5	0,1	-0,3	-0,1
5.Durum	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	1,0	0,5	0,2	-0,1	-0,1	-0,4
6.Durum	0,1	-0,1	0,2	0,0	-0,1	0,0	1,0	0,1	0,2	0,1	-0,1	0,1

E4 noktasında oluşan gerilmeler incelendiği zaman, 1000 gün sonunda en düşük gerilme 3.durum için hesaplanmıştır. Bu grafik Şekil 6.54’te görülebilir.



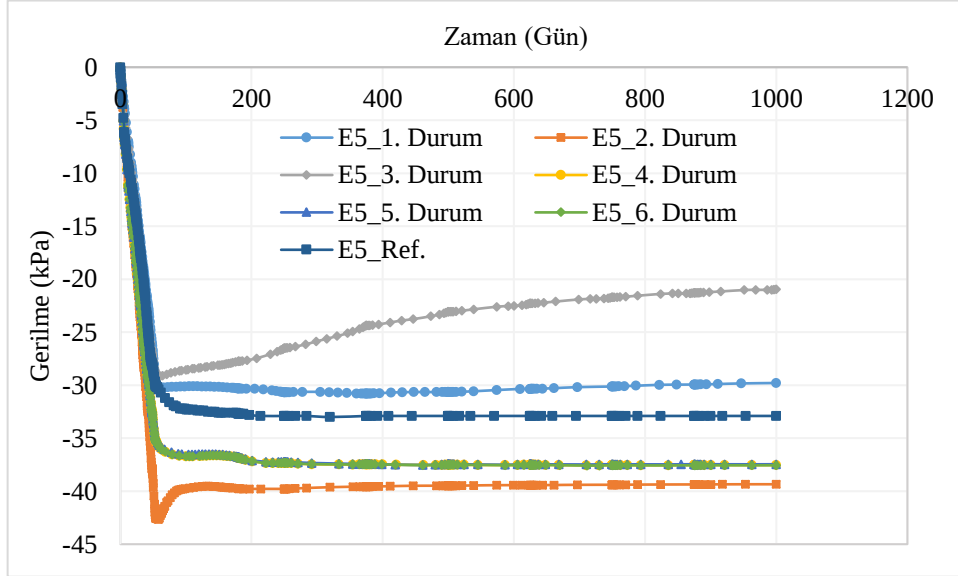
Şekil 6.54. İki katmanlı donatı kullanılımasının E4 noktası için hesaplanan gerilmeye etkisi

1000 gün sonunda E4 noktası için hesaplanan en yüksek gerilme ise 6. durum'da hesaplanmıştır. Şekil 6.54 incelendiği zaman en düşük gerilme yaklaşık olarak 800 gün boyunca 1. durum için hesaplanmıştır. Ancak daha sonraki günler 3. durum için hesaplanan gerilme miktarı giderek azalarak en düşük seviyeye ulaşmıştır. E4 noktası için hesaplanan en yüksek gerilme referans projeden daha büyüktür.

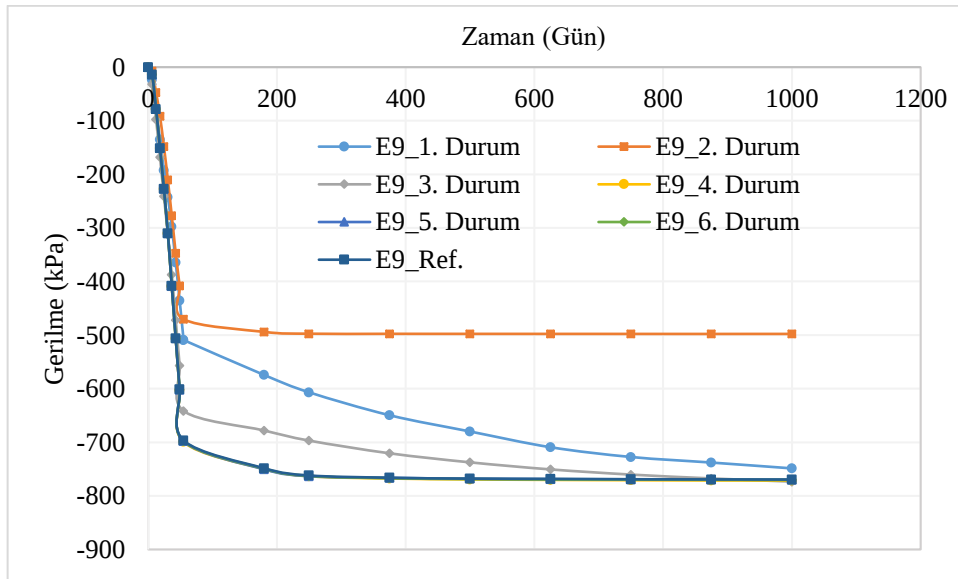
E5 noktasında en düşük gerilme 3.durum için hesaplanmıştır. Bu noktadaki en en yüksek gerilme ise 2. durum için hesaplanmıştır. E4 noktasında olduğu gibi, E5 noktasında da hesaplanan en yüksek gerilme referans projeye göre daha yüksektir. E5 noktasında farklı durumlar için hesaplanan gerilme'nin zamanla değişimi aşağıdaki Şekil 6.55'te görülmektedir. Şekil 6.55'te görülebilecek en önemli davranış şekli 3. durum'dadır. 3. durum için hesaplanan gerilme miktarı maksimum değere ulaştıktan sonra zamanla azalmaktadır. Diğer durumlarda ise aynı nokta için hesaplanan gerilmeler en yüksek değere ulaştıktan sonra ya çok küçük azalmalar görülmekte ya da zamanla sabit kalmaktadır.

E9 noktası için farklı durumlar için hesaplanan gerilmeler Şekil 6.56'da görülmektedir. E9 noktası kazık başlığı için hesaplanan gerilmeleri göstermektedir. Bu noktada tüm durumlar için E4 ve E5 noktasında ölçülen gerilmelerden çok daha fazladır. Bunun anlamı ise, tüm durumlarda zemin kemeri oluşumu tamamlanmış ve dolgu yükü farklı oranlarda olsa da kazıklara aktarılmıştır.

E9 noktasında ölçülen gerilmeler 100 gün sonunda 2. durum dışında hemen hemen aynı büyüklüklere ulaşmıştır. Ancak daha erken sürelerde farklı durumlar için farklı gerilmeler hesaplanmıştır.



Şekil 6.55. İki katmanlı donatı kullanılmasının E5 noktası için hesaplanan gerilmeye etkisi



Şekil 6.56. İki katmanlı donatı kullanılmasının E9 noktası için hesaplanan gerilmeye etkisi

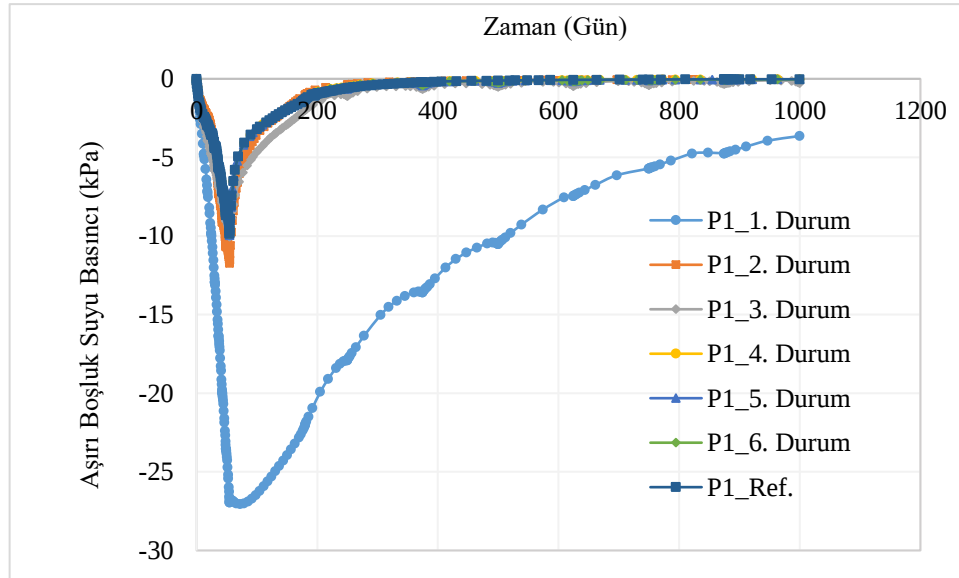
E4, E5, ve E9 noktaları için hesaplanan gerilemlerin zamanla değişimini daha iyi anlayabilmek için Tablo 6.9 oluşturulmuştur. Bu tabloda 55, 180 ve 1000. günler için farklı durumlarda hesaplanan gerilmeler görülmektedir.

Tablo 6.9. E4, E5 ve E9 noktalarında farklı durumlar için farklı günler de hesaplanan gerilmeler

	E4 (kPa)			E5 (kPa)			E9 (kPa)		
	55	180	1000	55	180	1000	55	180	1000
1. Durum	34,47	34,81	36,90	30,23	30,31	29,79	509,25	574,35	748,68
2. Durum	39,92	42,37	42,72	42,44	39,77	39,34	470,37	493,95	497,77
3. Durum	36,53	37,16	35,90	29,08	27,74	20,96	641,46	678,00	773,41
4. Durum	43,15	45,55	45,09	35,28	36,85	37,53	699,26	749,85	771,36
5. Durum	43,14	45,45	45,00	35,02	36,78	37,45	698,08	750,44	769,85
6. Durum	43,34	45,65	45,17	35,26	36,85	37,55	697,61	749,19	770,19
Referans	37,7	39,5	39,2	30,1	32,7	32,9	696,56	748,37	769,52

Tablo 6.9’den görülebileceği üzere E4 noktasında hesaplanan gerilmeler ortalama 41 kPa, E5 noktasında 34 kPa ve E9 noktasında ise 504 kPa’dır. Bu durumda, E9 noktasındaki ortalama gerilme E4 noktasının 12 katı, E5 noktasının 15 katı olarak hesaplanmıştır. Bu sayılar zemin kemerinin oluştuğu ve dolgu yükünün büyük bir kısmının yumuşak zemin tabakası yerine kazıklara iletilmesini sağladığı görülmüştür.

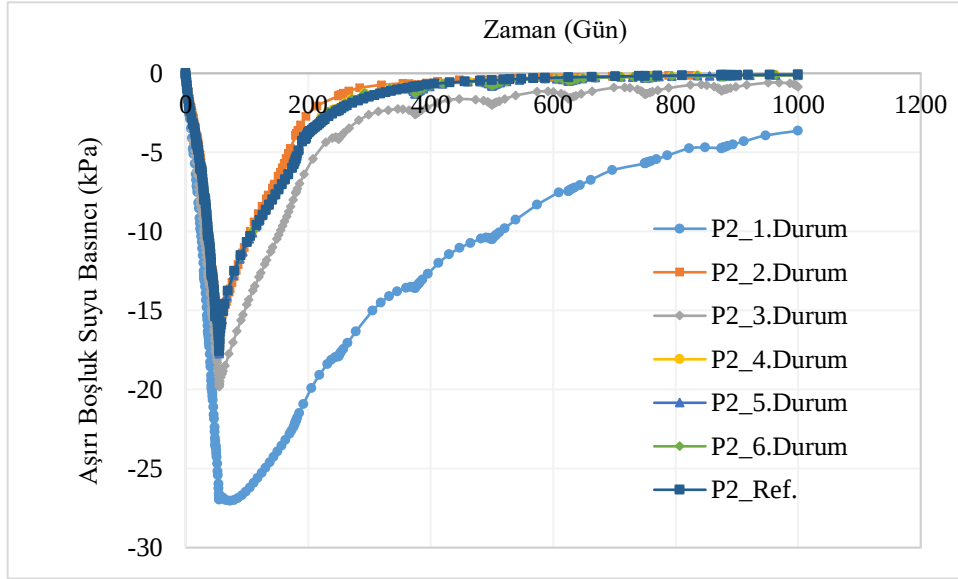
Aşırı boşluk suyu davranışı da farklı durumlar için farklılıklar göstermektedir. Hem P1 hem de P2 noktasında en büyük aşırı boşluk suyu basıncı 1. durum’da elde edilmiştir. P1 noktasında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı Şekil 6.57’de verilmiştir.



Şekil 6.57. P1 noktasında farklı durumlar için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı

Aşağıdaki Şekil 6.58’de ise P2 noktasında farklı durumlar için hesaplanmış aşırı boşluk suyu basıncı ve zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Bu grafikten de görülebileceği üzere en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı tekrardan 1. durumda oluşmaktadır. En yüksek aşırı boşluk suyu basıncı görülen durumda ayrıca en yavaş

sönümlenme de görülmektedir. Tüm durumlar da hem P1 hem de P2 noktası için en yüksek boşluk suyu basıncı 55. günde oluşmuş, daha sonra sönümlenmeye başlamıştır.



Şekil 6.58. P2 noktasında farklı durumlar için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı

P1 ve P2 noktasın da meydana aşırı boşluk suyu basıncının maksimum değeri, 1000. gün sonundaki değeri ve 1 kPa'ın altına düşüp sönümlendiği gün Tablo 6.10'da verilmiştir. Bu şekilde iki tabaka donatı kullanıldığı zaman aşırı boşluk suyu basıncında meydana gelen değişimler daha iyi anlaşılabilir.

Tablo 6.10'da görülebileceği üzere 1. durum haricinde P1 noktasında oluşan en yüksek boşluk suyu basıncı yaklaşık olarak 10 kPa'dır. 1. durumda oluşan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 29,35 kPa'dır. Bu nedenle 1000 günlük süre sonucunda 1. durum da P1 noktasında halen 4,05 kPa'lık aşırı boşluk suyu basıncı görülmekte ve aşırı boşluk suyu basıncı tam olarak sönümlenmemektedir. 3. durumda P1 noktasının sönümlenme süresi 239 gün iken, diğer durumlar da yaklaşık olarak 190 gündür.

P2 noktası incelendiği zaman 1. durum hariç oluşan maksimum aşırı boşluk suyu basıncı ortalama 18 kPa'dır. Ancak 1. durumda 26,95 kPa aşırı boşluk suyu basıncı oluşmaktadır. 1000 gün sonunda aşırı boşluk suyu basıncı 3,64 kPa'la düşmüştür. 1 kPa'nın altına düşmediği için sönümlenmemiş olarak kabul edilmiştir. Aşırı boşluk suyunun 3. durumda sönümlenme süresi P2 noktasında 699 gündür. Diğer durumlar da bu süre 250 ile 390 gün arasında değişmektedir.

Tablo 6.10'da görülen bir diğer farklılık yine 1. durum'da gözlemlenmiştir. Diğer tüm durumlar da P2 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı P1 noktasına göre daha

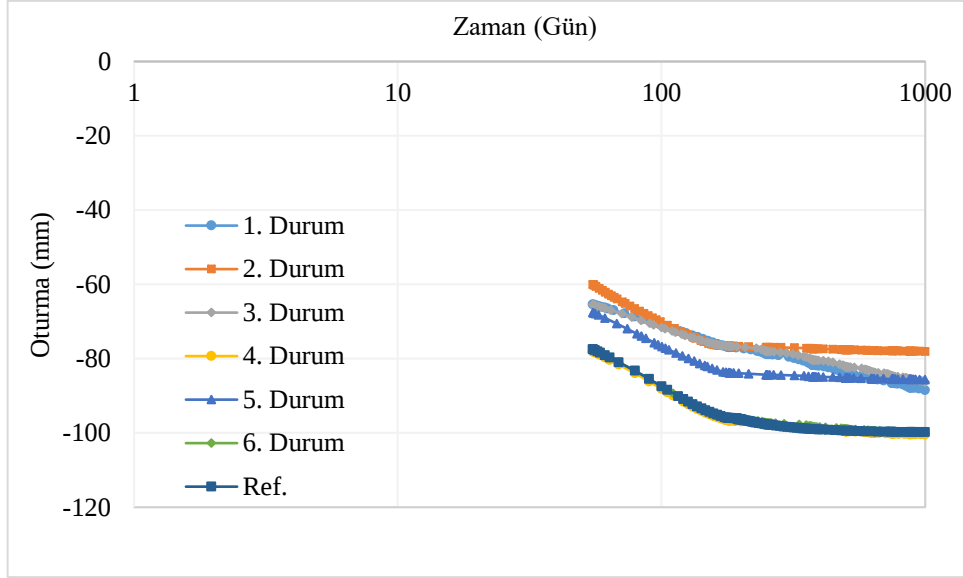
yüksek iken, 1. durumda P1 noktasında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı P2 noktasından daha yüksektir.

Tablo 6.10 P1 ve P2 noktalarında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının 55 ve 1000. günlerdeki değeri ve sönümlenme zamanı

		P1 (kPa)	P2 (kPa)
1. Durum	55. Gün	29,35	26,95
	1000. Gün	4,05	3,64
	Sönümlenme Zamanı (Gün)	-	-
2. Durum	55. Gün	11,71	16,54
	1000. Gün	0,03	0,12
	Sönümlenme Zamanı (Gün)	180	284
3. Durum	55. Gün	10,03	19,82
	1000. Gün	0,26	0,87
	Sönümlenme Zamanı (Gün)	239	699
4. Durum	55. Gün	9,89	17,66
	1000. Gün	0,03	0,13
	Sönümlenme Zamanı (Gün)	191	333
5. Durum	55. Gün	9,95	17,72
	1000. Gün	0,04	0,13
	Sönümlenme Zamanı (Gün)	191	388
6. Durum	55. Gün	9,88	17,61
	1000. Gün	0,03	0,13
	Sönümlenme Zamanı (Gün)	191	333
Referans	55. Gün	9,85	17,57
	1000. Gün	0,02	0,08
	Sönümlenme Zamanı (Gün)	194	354

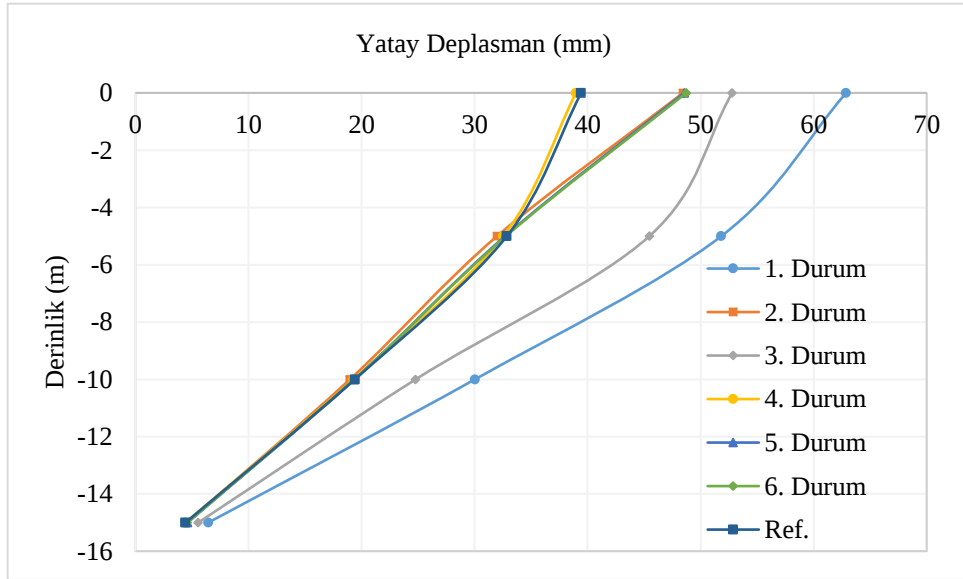
Dolgu'nun tepe noktasında meydana gelen oturma miktarı da iki katman donatı kullanılması durumunda değişmektedir. Şekil 6.59'da donatının farklı yerlere konulmasından dolayı meydana gelen değişiklikler gösterilmiştir.

Şekil 6.59'dan görülebileceği üzere dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı referans proje'de ve bazı durumlarda 100 mm iken, en düşük oturma miktarının hesaplandığı 2. durum da hesaplanan oturma miktarı yaklaşık olarak 80 mm'dir. Diğer durumlar için hesaplanan oturma miktarı ise 100 mm ile 80 mm arasındadır.



Şekil 6.59. İki donatının dolgu yüzeyinde meydana gelen oturmaya etkisi

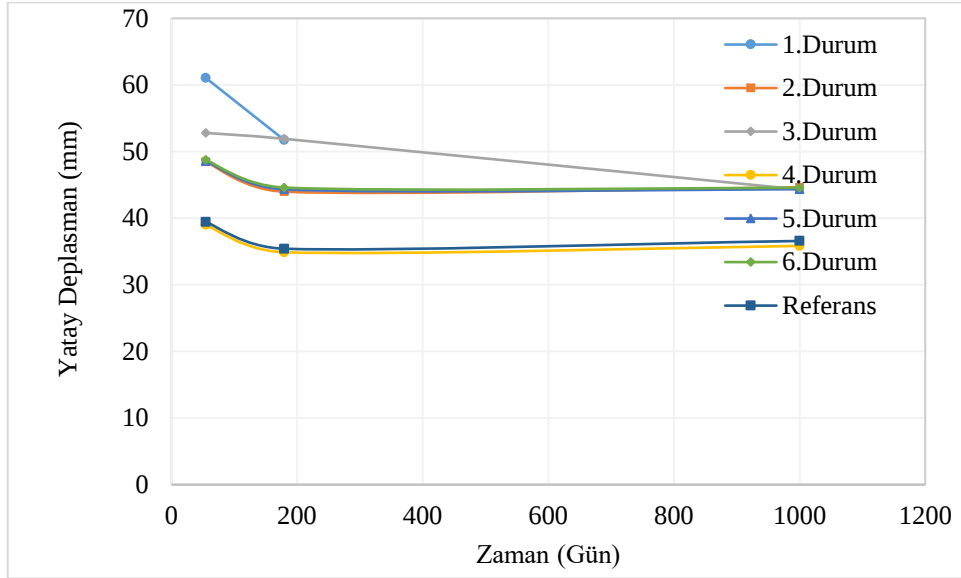
Şekil 6.60'da ise iki adet donatı kullanılmasının dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta 55. günde hesaplanan yatay deplasmana olan etkisi görülmektedir. En yüksek yatay deplasman tüm durumlar için yüzeyde gerçekleşmekte, artan derinlik ile azalmaktadır. 1. durumda yüzeyde görülen yatay deplasman en yüksek iken 4. durumda hesaplanan yatay deplasman, hesaplanan en düşük yatay deplasmandır. Referans proje için hesaplanan yatay deplasman ise 2. durum için hesaplanan yatay deplasmandan çok az fazladır.



Şekil 6.60. Donatı sayısı ve yerinin yatay deplasmana olan etkisi

Derinlik arttıkça tüm durumlar için hesaplanan oturma miktarı azalmaktadır. Ayrıca hesaplanan yatay deplasmanlar arasındaki farklar da oldukça düşmektedir.

Şekil 6.61’de ise yüzeyde hesaplanan yatay deplasmanın farklı durumlar için zamanla değişimi verilmiştir. 1000 gün sonunda en yüksek yatay deplasman 1. durum için hesaplanmışken en düşük yatay deplasman 4. durum için hesaplanmıştır.



Şekil 6.61. Donatı sayısı ve yerinin yatay deplasmana olan etkisi ve zamanla değişimi

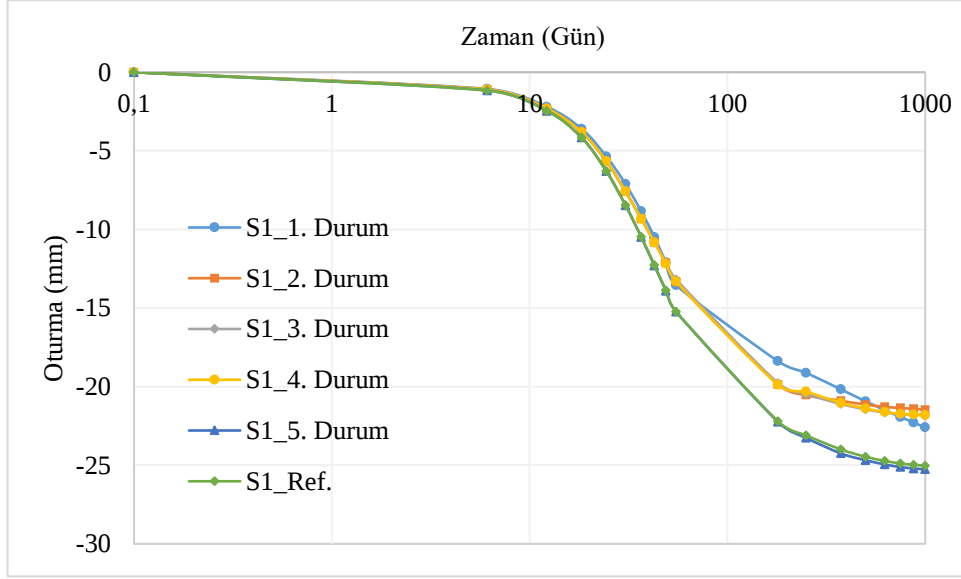
Şekil 6.61’de iki farklı tipte davranış görülmektedir. 1. ve 3. durumda gözlemlenen yatay deplasman zaman geçtikçe doğrusal bir şekilde azalmaktadır. Ancak diğer durumlarda, yatay deplasman önce azalmakta, daha sonra zamanla artış eğilimine girmektedir. Bu iki tip davranış arasında geçiş değeri ise 55. günde 50 mm’lik yatay deplasman miktarı belirlenebilir. Bu değer üzerinde yatay deplasman hesaplandığı zaman zamanla doğrusal olarak azalma görülürken, 55. günde bu değerden az miktarda yatay deplasman hesaplandıysa öncelikle azalma daha sonradan artma eğilimi görülmektedir.

6.2.2.2. Üç adet donatının davranışa olan etkisi

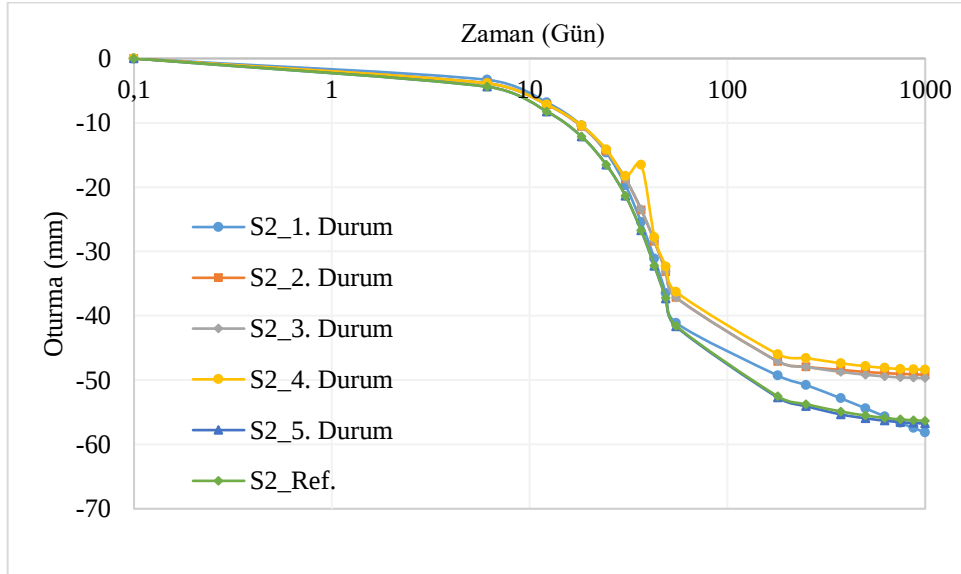
Kazık destekli donatılı dolgularda donatının üç katman olarak uygulanması bu bölümde incelenmiştir. Donatılar üç katman olarak dolgunun farklı yerlerine konulmuştur. Bu uygulama toplamda 5 farklı şekilde yapılmış olup, donatının dolgu içerisinde yerleştirildiği noktalar Tablo 6.6’da verilmiştir.

Şekil 6.62’de S1 noktası için farklı durumlar için hesaplanmış oturma miktarının değişimi görülmektedir. 1000 gün sonunda bu noktada oluşan en düşük oturma 2. durum için hesaplanmıştır. En yüksek oturma miktarı ise 5. durum için hesaplanmıştır.

S2 noktasında ise 1000 gün sonunda 4. durum için hesaplanmıştır. En yüksek oturma miktarı ise 1. durum da hesaplanmıştır. Oturmaların zamana bağlı değişimi Şekil 6.63’te gösterilmiştir.



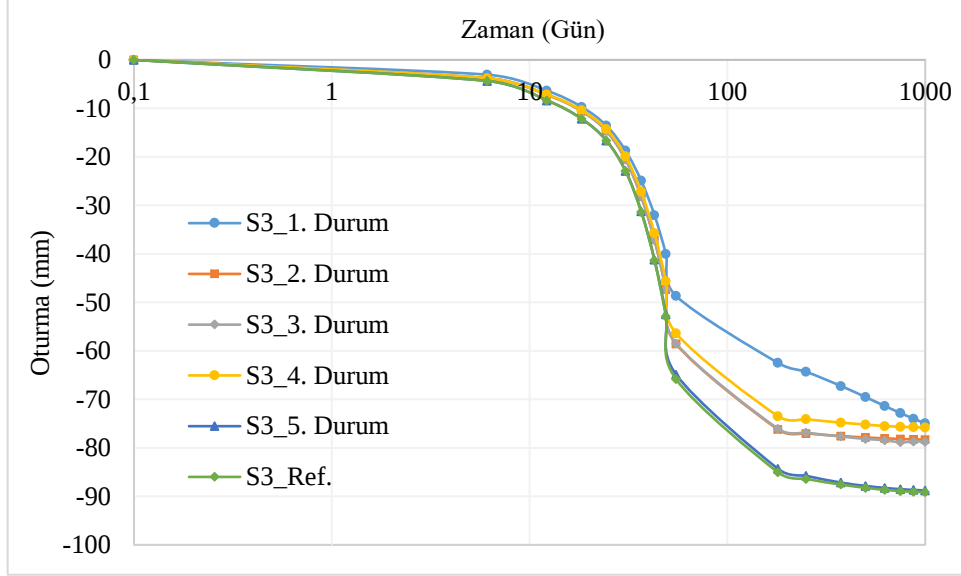
Şekil 6.62. Üç katman donatı kullanılması sonucu S1 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma



Şekil 6.63. Üç katman donatı kullanılması sonucu S2 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma

S3 noktasındaki oturma davranışı incelendiği zaman ise 1000 gün sonunda en düşük oturmanın 1. durumda, en yüksek oturmanın ise referans proje için hesaplandığı

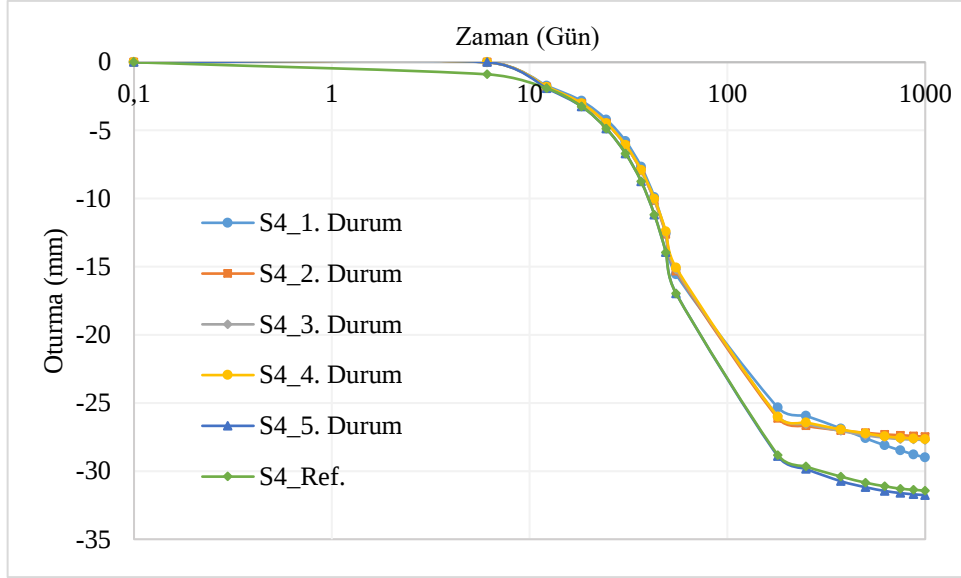
görülmektedir. S3 noktasındaki en düşük oturma miktarı ile en yüksek oturma miktarı arasında yaklaşık %16'lık bir fark vardır. Şekil 6.64'te diğer durumlar için de hesaplanan oturma miktarının zamanla değişimi görülebilir.



Şekil 6.64. Üç katman donatı kullanılması sonucu S3 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma

S4 noktasında ise en yüksek oturma miktarı 5. durum, en düşük oturma miktarı ise 2. durum için hesaplanmıştır. Geriye kalan durumlar için hesaplanan oturma miktarının zamanla değişimi Şekil 6.65'den görülebilir.

Oturma miktarlarının farklı donatı yerleşim şablonları ile birlikte değişimi Tablo 6.11'de verilmiştir. Bu tabloya göre S1 noktasında 55 gün sonunda meydana gelen en küçük oturma miktarı 13,18 mm ile 3. durumda, 180 gün sonunda 18,38 mm ile 1. durumda, 1000 gün sonunda ise 21,47 mm ile 2. durumda olmuştur. S2 noktası incelendiğinde ise 55 gün sonunda 36,29 mm ile 4. durumda, 180 gün sonunda 45,98 mm ile tekrardan 4. durumda ve 1000 gün sonunda 48,39 mm ile tekrardan 4. durumda gözlemlenmiştir.



Şekil 6.65. Üç katman donatı kullanılması sonucu S4 noktasında farklı durumlar için hesaplanan oturma

Tablo 6.11. Oturma miktarı

	S1			S2			S3			S4		
Gün	55	180	1000	55	180	1000	55	180	1000	55	180	1000
Referans	15,24	22,20	25,03	41,56	52,54	56,33	65,85	85,04	89,14	16,97	28,83	31,44
1.Durum	13,55	18,38	22,59	41,11	49,30	58,14	48,67	62,47	74,95	15,57	25,35	29,01
2.Durum	13,32	19,86	21,47	37,15	47,10	49,18	58,56	76,20	78,32	15,33	26,13	27,47
3.Durum	13,18	19,77	21,82	37,17	47,11	49,70	58,46	76,04	78,73	15,22	25,98	27,73
4.Durum	13,32	19,87	21,82	36,29	45,98	48,39	56,38	73,46	75,79	15,08	26,01	27,66
5.Durum	15,24	22,24	25,26	41,68	52,72	56,75	64,88	84,31	88,77	16,96	28,92	31,77

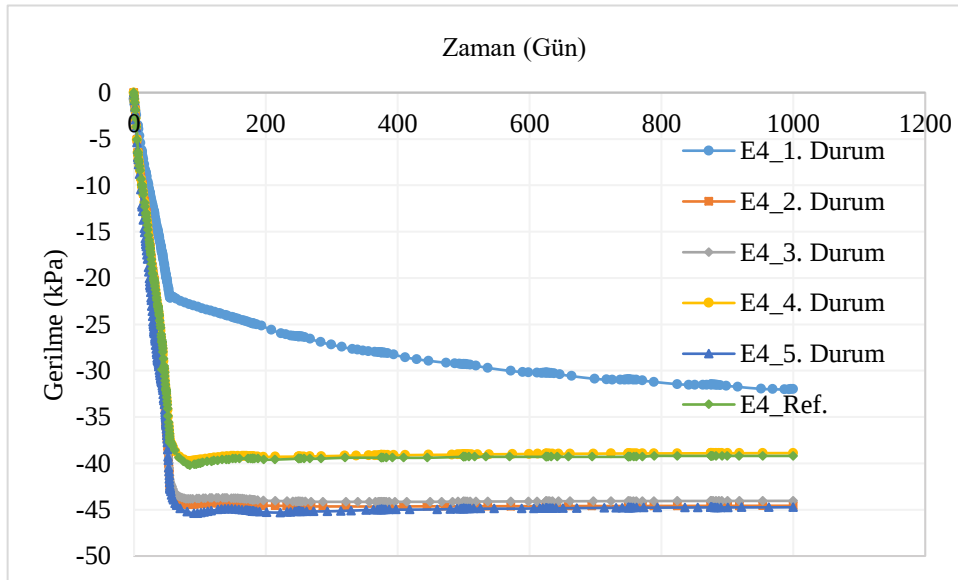
S3 noktası incelendiğinde ise tüm günler sonucunda hesaplanan en düşük oturma miktarları 48,67 mm, 62,47 mm ve 74,95 mm ile 1. durum'da hesaplanmıştır. S4 noktası incelendiği zaman ise farklı günler için hesaplanan en düşük oturma miktarları farklı durumlarda görülmüştür. 55 gün sonunda 15,08 mm ile 4. durumda, 180 gün sonunda 25,35 mm ile 1. durumda ve 1000 gün sonunda 27,47 mm ile 2. durum da oluşmuştur.

Hesaplanan en düşük oturma miktarları, referans proje ile karşılaştırıldığı zaman S1 için 55. Günde %13,50, 180. günde %17,20 ve 1000 gün sonunda %14,2'lik düşüş görülmüştür. Aynı günlerde S2 noktasındaki düşme oranları sırasıyla %12,7, %12,5 ve %14,1 olarak hesaplanmıştır. Üç katman donatı kullanıldığı zaman S3 noktasında görülen azalma miktarı 55, 180 ve 1000 gün sonunda %26,1, %26,5 ve %15,9 olarak bulunmuştur. Aynı zaman aralıklarında S4 noktasında üç katman donatıdan dolayı görülen azalma miktarı ise 55 gün sonunda %11,2, 180 gün sonunda %12,1 ve 1000 gün sonunda %12,6 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, görülen oturmalarda en yüksek

azalma oranı %26,5 ile 180 gün sonunda S3 noktasında görülmüştür. 1000 gün sonundaki en yüksek azalma oranı ise yine S3 noktasında %15,9 olarak bulunmuştur.

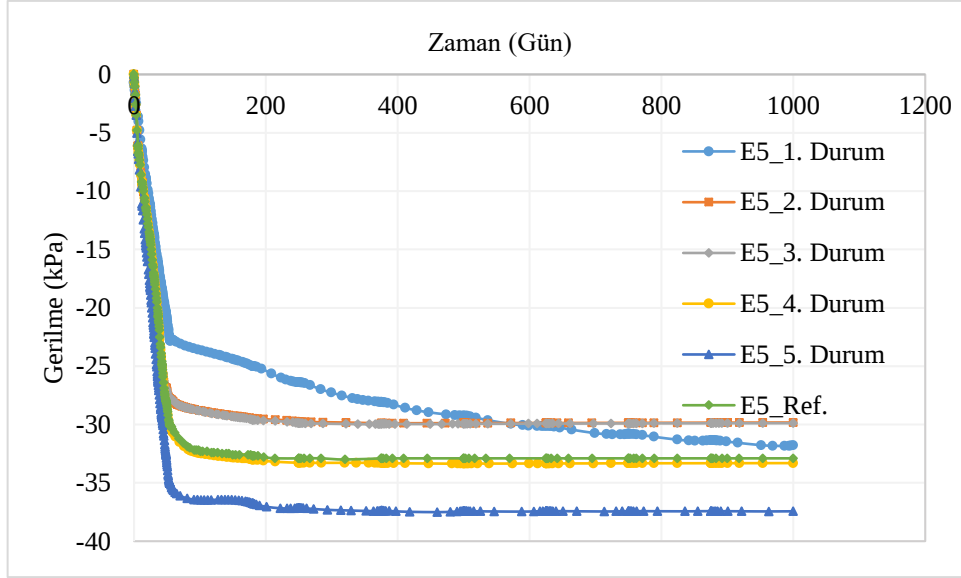
Üç katman donatı kullanıldığı zaman E4, E5 ve E9 noktalarında ölçülen gerilmelerde de farklılıklar görülmektedir. Ölçülen gerilmeler de meydana gelen azalma en belirgin olarak E4 noktasında görülmektedir. Farklı durumlar için zaman bağlı olarak E4 noktası için hesaplanan gerilmeler Şekil 6.66'da gösterilmiştir.

Şekil 6.66'dan da görülebileceği üzere 1. durum için hesaplanan gerilme miktarı en düşük iken, en yüksek gerilme 5. durum da hesaplanmıştır. Ayrıca 5. durum için hesaplanan gerilme miktarı referans projede aynı nokta için hesaplanan gerilme miktarından büyüktür. 1. durum ile referans karşılaştırıldığında zaman, 1. durumda 55 gün sonra hesaplanan gerilme miktarı referansa göre %41,4, 180 gün sonra %36,9 ve 1000 gün sonra %18,4 daha azdır.



Şekil 6.66. E4 noktası için üç katmanlı donatı ve farklı durumlar için hesaplanan gerilme

E5 noktasında hesaplanan gerilme incelendiğinde ise çok görülen davranış karmaşılaşmaktadır. E5 noktasında ilk 55 gün içerisinde hesaplanan gerilme miktarı en düşük 1. durumda iken, zaman geçtikçe burada ölçülen gerilme artmakta ve en düşük gerilme 1000 gün sonucunda 3. durum için hesaplanmıştır. E5 noktasında hesaplanan gerilmelerin zamana bağlı değişimleri Şekil 6.67'de verilmiştir.



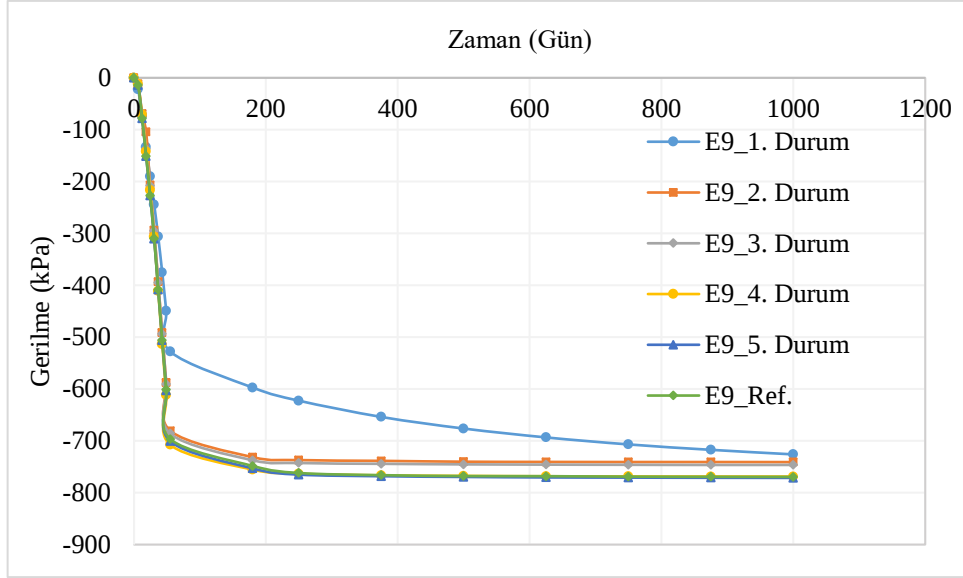
Şekil 6.67. E5 noktası için üç katmanlı donatı ve farklı durumlar için hesaplanan gerilme

E5 noktasında 1 ve 3. durumlar da zamanla meydana gelen gerilme değişimleri referans ile oranlandığı zaman 1. durum ile referans arasındaki oranlar 55, 180 ve 1000 gün sonra sırasıyla %24,2, %23,5 ve %3,4 olmaktadır. Aynı günlerde 3. durum ile referans arasındaki fark sırasıyla %7,7, %9,5 ve %9,1 olarak hesaplanmaktadır.

E9 noktasındaki gerilme farklılıkları incelendiği zaman 1000 gün sonunda tüm durumlar da yaklaşık olarak aynı değerler görülmektedir. Ancak dolgu inşasının ilk safhalarında 1. durum da ölçülen gerilme miktarı en düşüktür. 55. günde 1. durum ile referans karşılaştırıldığı zaman, 1. durum da ölçülen gerilme miktarının referansa göre %24,3 daha az olduğu görülmüştür. E9 noktasında farklı durumlar için zamana bağlı olarak hesaplanan gerilmeler Şekil 6.68'deki gibidir.

E4 ve E5 noktalarında oluşan gerilmelere bakıldığı zaman 1. durumda bu noktalar da ölçülen gerilme miktarları sırasıyla 31,99 ve 31,79 kPa'dır. Diğer durumlar da E4 noktasında ölçülen gerilme E5 noktasında ölçülen gerilmeye göre ortalama 10 kPa daha fazladır.

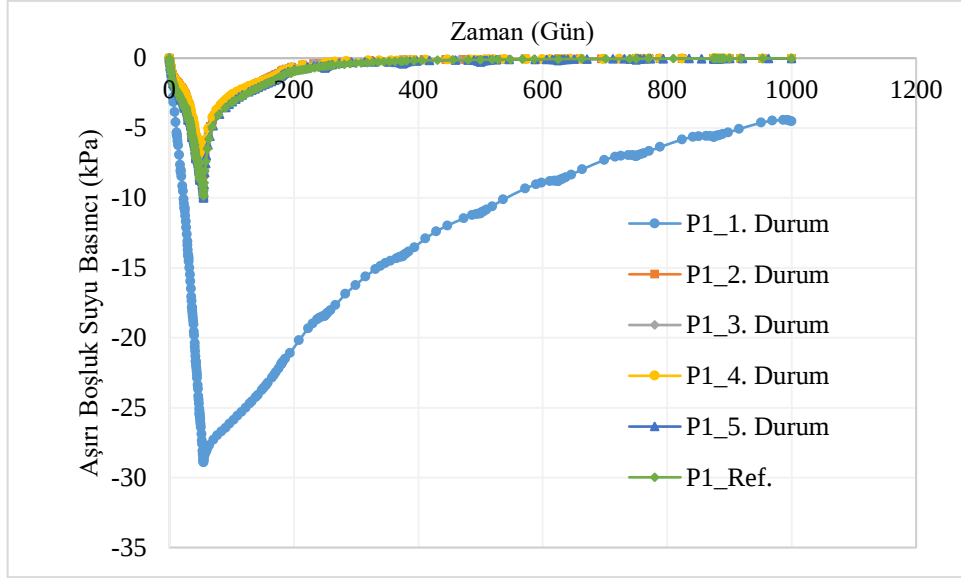
Üç adet donatı kullanılarak yapılan analizler de P1 ve P2 noktalarında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı davranışları incelendiği zaman da, 1. durumda her iki nokta da oluşan maksimum aşırı boşluk suyu basıncı sırasıyla 28,91 ve 26,13 kPa'dır. Ölçülen bu değerler ise referans ile karşılaştırıldığı zaman, bu değerlerin referans değerlere göre sırasıyla %194,3 ve %48,7 daha fazla olduğu görülmektedir.



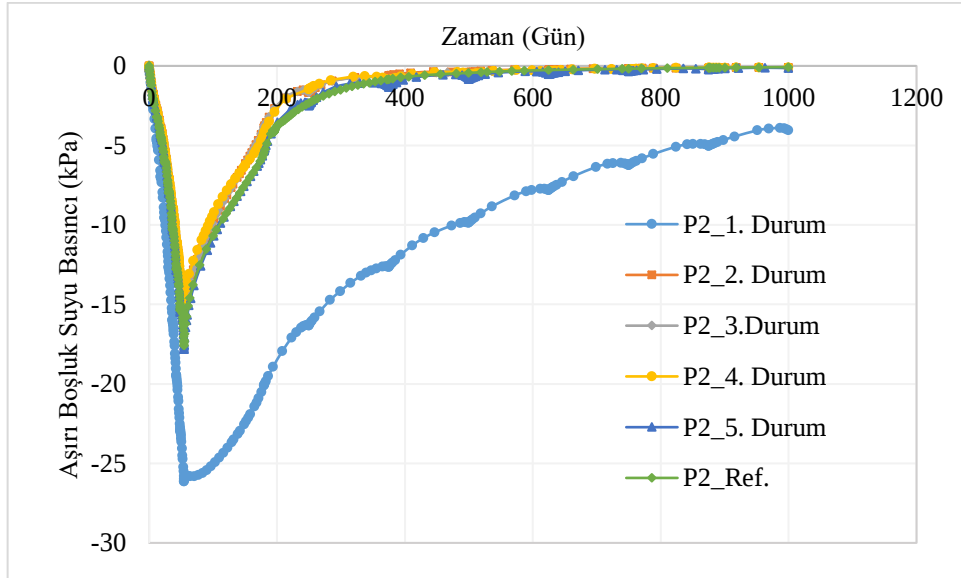
Şekil 6.68. E9 noktası için üç katmanlı donatı ve farklı durumlar için hesaplanan gerilme

Aşağıda verilen Şekil 6.69 ile P1 noktasındaki aşırı boşluk suyu basıncının farklı durumlara ve zaman göre değişimi daha iyi bir şekilde görülmektedir. P1 noktasında meydana gelen en düşük aşırı boşluk suyu basıncı 8,11 kPa ile 4. durum için hesaplanmıştır. Oluşan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 55 gün sonunda hesaplanmıştır. Daha sonra düşmeye başlamıştır. 181 gün sonun da ise sönümlenerek 1 kPa'ın altına düşmüştür. 1. durum için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı 1000 gün sonunda sönümlenmemiştir.

P2 noktasındaki aşırı boşluk suyu basıncı incelendiği zaman ise en yüksek aşırı boşluk suyu basıncının yine 1. durum'da gözlemlenmiştir. P2 noktası için hesaplanan en yüksek boşluk suyu basıncı 26,13 kPa, en düşük aşırı boşluk suyu basıncı ise 15,26 kPa olarak 3. durumda hesaplanmıştır. P2 noktasında aşırı boşluk suyu basıncının oluşumu ve sönümlenmesi Şekil 6.70'te gösterilmiştir.



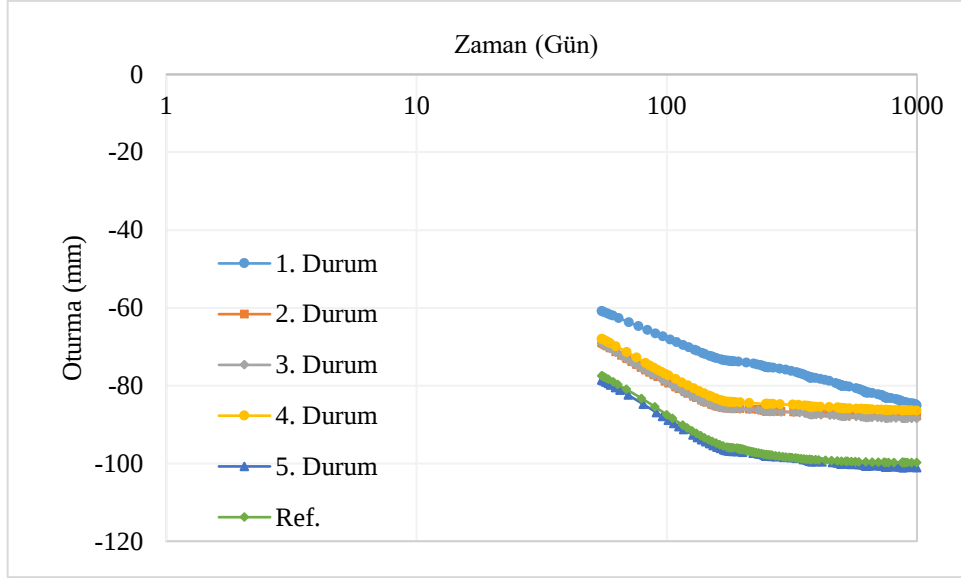
Şekil 6.69. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi



Şekil 6.70. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi

3. durum'da hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı 286 gün sonunda 1 kPa'nın altına düşerek sönmölenmektedir. 1. durum için hesaplanan boşluk suyu basıncı ise 1000 günde süre sonunda sönmölenmemektedir.

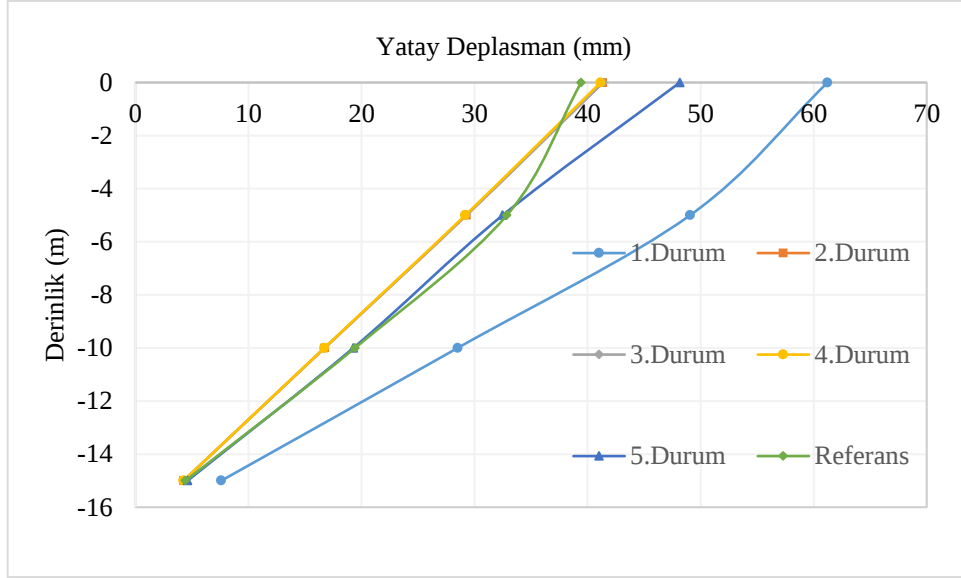
Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarına üç adet donatının etkisi ise Şekil 6.71'de gösterilmiştir.



Şekil 6.71. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı durum ve zamana bağlı değişimi

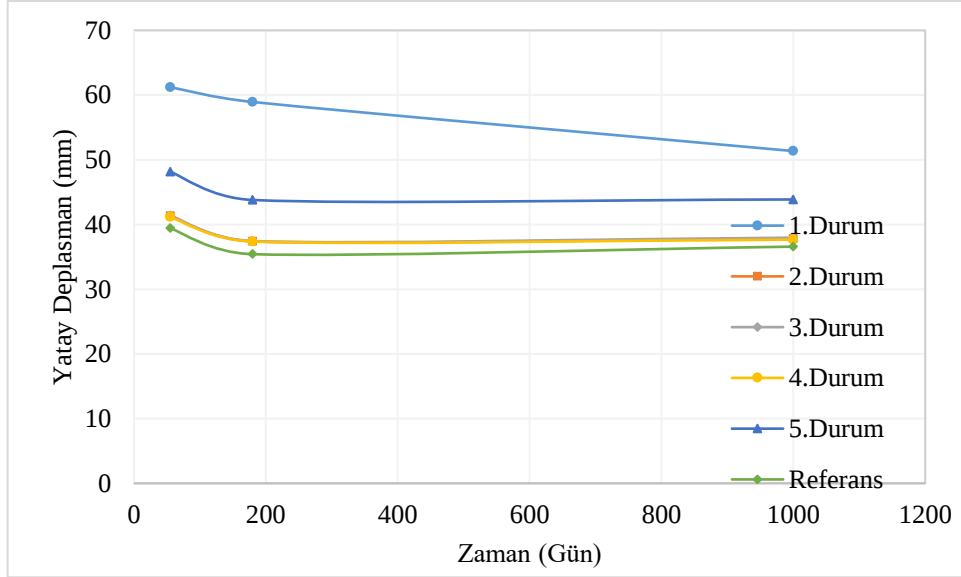
Dolgu yüzeyinde meydana gelen en yüksek oturma miktarı 1000 gün sonunda 101 mm ile 5. durumda hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinde en düşük oturma ise 85,11 mm ile 1. durum için hesaplanmıştır. Referans proje de ise hesaplanan oturma miktarı 1000 gün sonunda 99,8 mm'dir. 1. durumda olduğu gibi 3 adet donatı kullanılırsa dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı 1000 gün sonunda %15 azalmaktadır.

55 gün sonunda kazık destekli donatılı dolgunun topuk noktasından 1,5 metre uzağından ölçülen yatay deplasmanlar aşağıdaki Şekil 6.72'de görülmektedir. En yüksek yatay deplasman 1. durumda hesaplanmıştır. Tüm durumlarda, hesaplanan deplasman miktarı derinlik ile azalırken, 1. durum dışındaki tüm durumlarda 15 metre derinlikte neredeyse aynı yatay deplasman ölçülmüştür.



Şekil 6.72. Üç adet donatının ve farklı yerlerin yatay deplasmana olan etkileri

Yatay deplasmanın en çok zemin yüzeyinde görülmüştür. Daha derin noktalarda hesaplanan yatay deplasman miktarı azalmaktadır. Zemin yüzeyinde görülen yatay deplasman miktarı ayrıca zamanla da değişmektedir. Şekil 6.73'te bu değişim görülmektedir.



Şekil 6.73. Yatay deplasmanın farklı durumlar için zamanla değişimi

Şekil 6.73'te iki farklı davranış çeşidi görülmektedir. Birinci davranış şekli 1. durumda görülmektedir. Bu davranış şeklinde yüzeyde gözlemlenen deplasman miktarı zamanla neredeyse doğrusal olarak azalmaktadır. Ancak diğer durumlarda görülen

davranış şeklinde, yatay deplasman ilk aşamada oldukça keskin bir şekilde azalırken, daha sonra artma eğilimi göstermektedir.

6.3. Dolgu Özelliklerinin Davranışa Olan Etkisi

Bu bölüm de inşa edilecek olan dolgunun elastisite modülü ve içsel sürtünme açısının meydana gelen oturma miktarlarına, aşırı boşluk suyu basıncına ve yatay deplasmana olan etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

6.3.1. Elastisite modülünün etkisi

Bu bölümde farklı elastisite modülüne sahip dolgu malzemesi kullanılarak, elastisite modülünün dolgu davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Daha önceden modellenmesi yapılan ve anlatılan referans proje de kullanılan malzemenin elastisite modülü 20000 kPa'dır. Bunun dışında 28000 kPa, 33000 kPa ve 37000 kPa'lık farklı elastisite modülleri sonlu elemanlar programına uygulanarak ortaya çıkan değişim gösterilmiştir.

Farklı elastisite modülü için farklı günlerde hesaplanan oturma miktarı aşağıdaki Tablo 6.12'de verilmiştir.

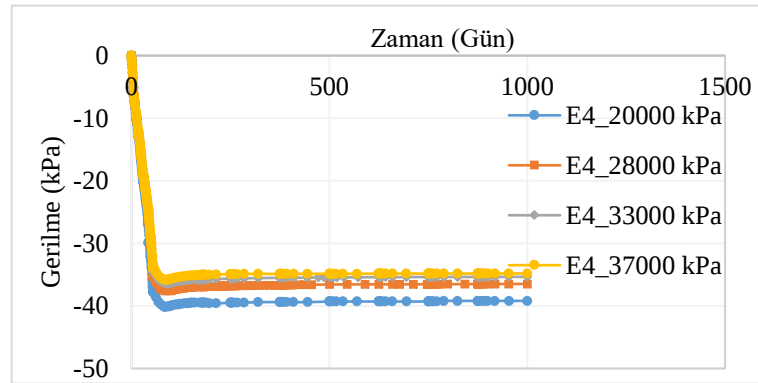
Tablo 6.12. Farklı elastisite modülü için hesaplanan oturma miktarı ve değişim oranları

		Oturma Miktarı (mm)			Değişim Miktarı (%)		
		55	180	1000	55	180	1000
S1	20000	15,24	22,20	25,03	-	-	-
	28000	13,36	20,08	22,34	12,33	9,56	10,73
	33000	13,40	20,16	21,65	12,04	9,21	13,49
	37000	13,42	20,09	21,32	11,95	9,51	14,80
S2	20000	41,56	52,54	56,33	-	-	-
	28000	45,05	46,10	47,94	-8,38	12,27	14,90
	33000	34,83	44,83	46,66	16,20	14,67	17,17
	37000	34,61	44,43	45,98	16,73	15,43	18,37
S3	20000	65,85	85,04	89,14	-	-	-
	28000	73,10	73,80	75,74	-11,02	13,21	15,04
	33000	54,95	73,26	74,70	16,56	13,85	16,20
	37000	54,79	72,55	73,88	16,80	14,69	17,12
S4	20000	16,97	28,83	31,44	-	-	-
	28000	14,98	25,91	27,83	11,77	10,13	11,49
	33000	14,94	25,93	26,93	11,97	10,06	14,35
	37000	14,91	25,70	26,50	12,16	10,86	15,70

Tablo 6.12’de ayrıca 28000 kPa, 33000 kPa, 37000 kPa için hesaplanan oturma miktarlarının 20000 kPa elastisite modülüne göre meydana getirdikleri değişimler yüzdelik olarak gösterilmiştir. Değişim miktarının negatif olduğu durum, o durum için hesaplanan oturma miktarının 20000 kPa için hesaplanan oturma miktarından büyük olduğunu göstermektedir.

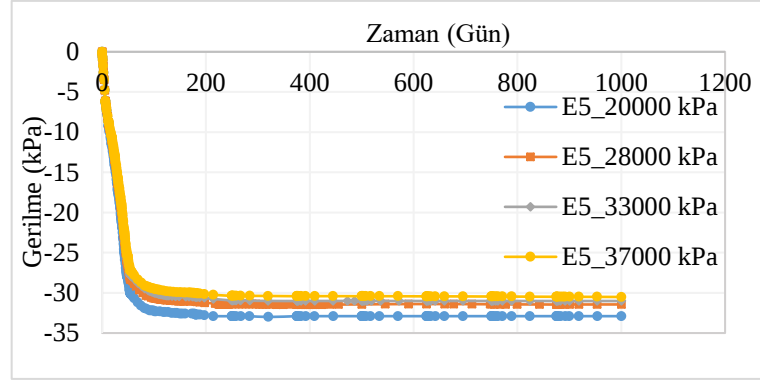
Yukarıdaki Tablo 6.12’den görülebileceği üzere 1000 gün sonucunda hesaplanan oturma miktarında artan elastisite modülü ile birlikte %10 ile %18 arasında azalma gözlemlenmiştir. Ancak inşa başladıktan 55 gün sonra, S2 ve S3 noktalarında hesaplanan oturma miktarları sırasıyla %8,38 ve %11,02 daha fazladır. Ancak zaman geçtikçe, 28000 kPa’lık dolgu malzemesi kullanıldığı zaman oturma artış miktarı 20000 kPa’lık dolgu malzemesine göre oldukça yavaşlamaktadır. 1000 gün sonucunda görülen oturma miktarı bu nedenle 28000 kPa’lık dolgu malzemesi kullanıldığı zaman S2 ve S3 noktaların %14,90 ve %15,04 azalmaktadır. Diğer durumlarda ise 55, 180 ve 1000 gün sonucunda görülen oturma miktarı elastisite modülü arttıkça azalmaktadır.

Aşağıdaki Şekil 6.74’te ise E4 noktasında farklı dolgu elastisite modülü değerleri için hesaplanan gerilmeler görülmektedir. Bu grafikten görülebileceği üzere elastisite modülü arttıkça E4 noktasında hesaplanan gerilmeler azalmaktadır.



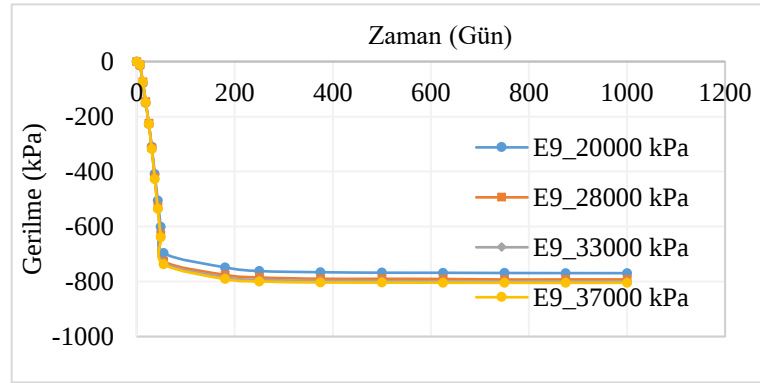
Şekil 6.74. E4 noktasında farklı elastisite modülü değerleri için hesaplanan gerilme miktarı

Ancak E4 noktasında hesaplanan gerilme miktarındaki düşüş elastisite modülü arttıkça azalmaktadır. E5 noktasında gözlemlenen gerilme miktarı da elastisite modülü arttıkça azalmaktadır. Şekil 6.75’te farklı elastisite modülü değerleri için hesaplanan gerilme miktarları gösterilmiştir.



Şekil 6.75. E5 noktasında farklı elastisite modülü değerleri için hesaplanan gerilme miktarı

E5 noktası için hesaplanan gerilmelerdeki azalış miktarı da E4 noktasındaki gibi elastisite modülü arttıkça azalmaktadır. Bu iki noktada zemin üzerine gelen gerilmeleri göstermektedir. Dolgunun elastisite modülünün artması zemine gelen basıncı azaltmaktadır. Ancak kazık üzerine gelen gerilme miktarı E9 noktasında incelendiği zaman, kazık üzerine gelen basınç miktarı artmıştır. Şekil 6.76’da elastisite modülüne göre kazık üzerine gelen basınçtaki değişim görülmektedir.



Şekil 6.76. E9 noktasında farklı elastisite modülü değerleri için hesaplanan gerilme miktarı

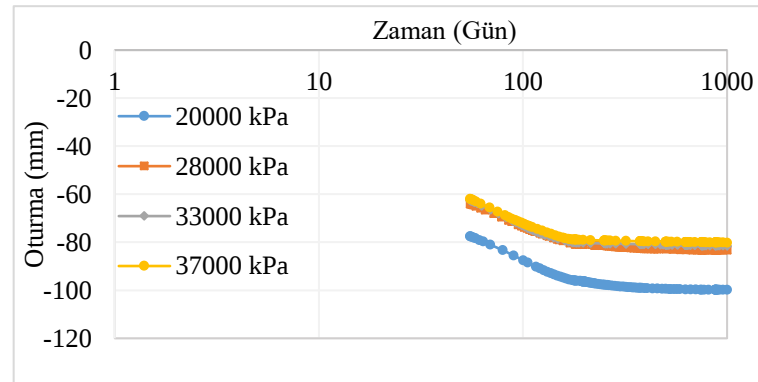
E9 noktasında ölçülen gerilme miktarı elastisite modülünün 20000 kPa’dan 37000 kPa’ya çıkmasıyla birlikte, hesaplanan gerilme 769,52 kPa’dan 804,65 kPa’ya çıkmıştır. Aradaki değişim ise %4,6 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.13. Farklı elastisite modülleri farklı günlerde oluşan aşırı boşluk suyu basıncı

Nokta	P1			P2		
Zaman	55	180	1000	55	180	1000
20000	9,85	1,30	0,02	17,57	5,45	0,08
28000	7,68	1,21	0,02	14,92	4,78	0,07
33000	7,58	1,02	0,02	14,82	4,22	0,09
37000	7,52	0,97	0,03	14,80	4,01	0,11

Tablo 6.13'ten görülebileceği üzere elastisite modülünün 20000 kPa'dan 28000 kPa'ya çıkması P1 noktasında 55. Günde oluşan aşırı boşluk suyu basıncını 9,85 kPa'dan 7,68 kPa'ya düşürmüştür. Elastisite modülü 37000 kPa'ya çıktığında ise hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı 7,52 kPa'dır. Burada oluşan değişim yüzdelik olarak sırasıyla %22 ve %23,7 olmuştur. P2 noktasında da benzer bir davranış görülmektedir. Bu noktada da aşırı boşluk suyu basıncı elastisite modülü 28000 kPa'ya çıkarıldığı zaman oluşan aşırı boşluk suyu basıncı 17,57 kPa'dan 14,92 kPa'ya düşmekte, elastisite modülü 37000 kPa'ya çıktığı zaman ise aşırı boşluk suyu basıncı 14,80 kPa olmaktadır. 20000 kPa elastisite modülüne göre ise ortaya çıkan değişim sırasıyla %15,1 ve %15,8 olmaktadır.

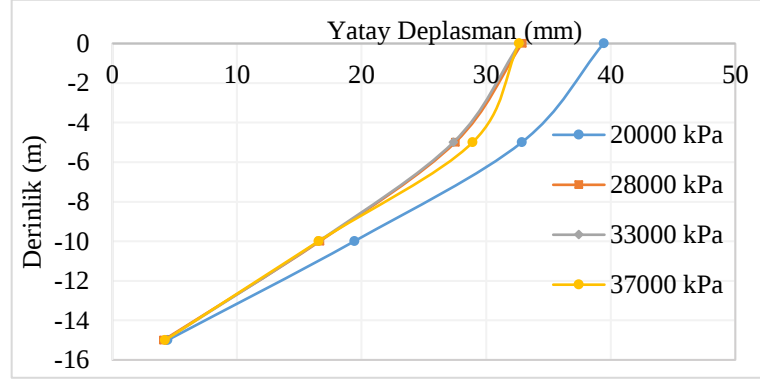
Aşağıdaki Şekil 6.77'de ise dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarının zamanla değişimi gözükmemektedir. En yüksek oturma miktarı 20000 kPa'lık elastisite modülüne sahip dolguda meydana gelirken, en düşük oturma miktarı 37000 kPa'lık elastisite modülüne sahip dolguda oluşmuştur.



Şekil 6.77. Farklı elastisite modülleri için dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı

20000 kPa'lık elastisite modülünde 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı 100 mm iken 37000 kPa'lık elastisite modülünde 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı yaklaşık olarak 80 mm'dir. Görülen değişim ise %20'dir.

Şekil 6.78’de verilen grafikten görülebileceği üzere elastisite modülünün 20000 kPa’dan 28000 kPa’ya çıkması görülen yatay deplasmanı bir miktar düşüşe yol açmaktadır. Ancak elastisite modülünün daha fazla artması yatay deplasmanda bir fark yaratmamaktadır.

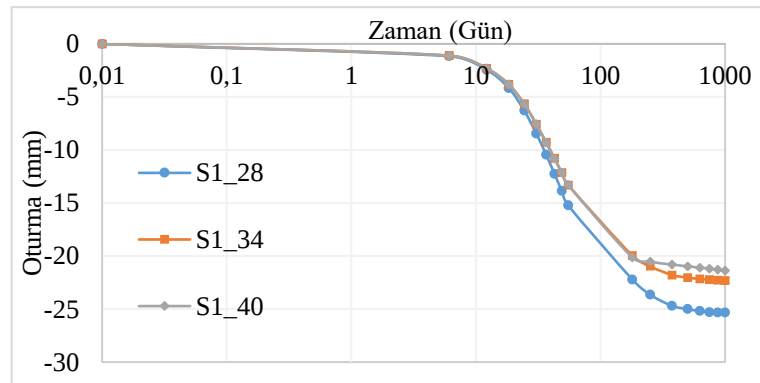


Şekil 6.78. Farklı elastisite modülü için 55. gün sonunda hesaplanan yatay deplasman miktarı

Şekil 6.78’de görülen bu davranış zamanla değişmemektedir. Geçen zamanla birlikte tüm elastisite modülü durumları için aynı davranış gözlemlenmektedir.

6.3.2. İçsel sürtünme açısının etkisi

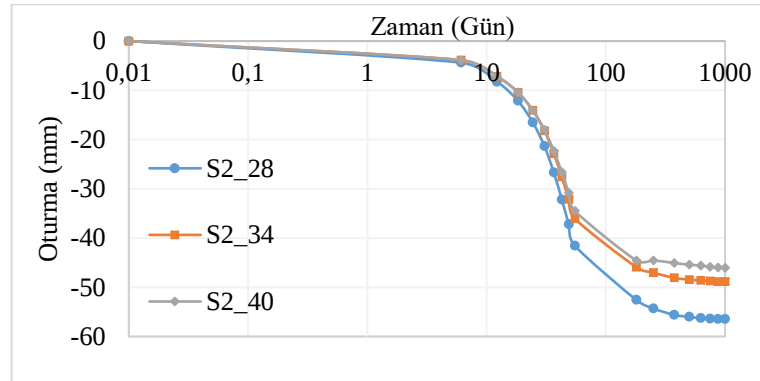
Bu bölümde dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının kazık, dolgu oturması, yumuşak zeminde meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı ile yatay deplasmana olan etkisi gösterilmiştir. Dolgunun içsel sürtünme açısı 28, 34 ve 40 derece olarak uygulanarak, davranışa olan etkileri aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.79. Farklı içsel sürtünme açısı için S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı

Şekil 6.79’da farklı içsel sürtünme açısı için S1 noktası için hesaplanan oturma miktarı gösterilmiştir. Buradan görülebileceği üzere en yüksek oturma miktarı en düşük içsel sürtünme açısı için gözlemlenmiştir.

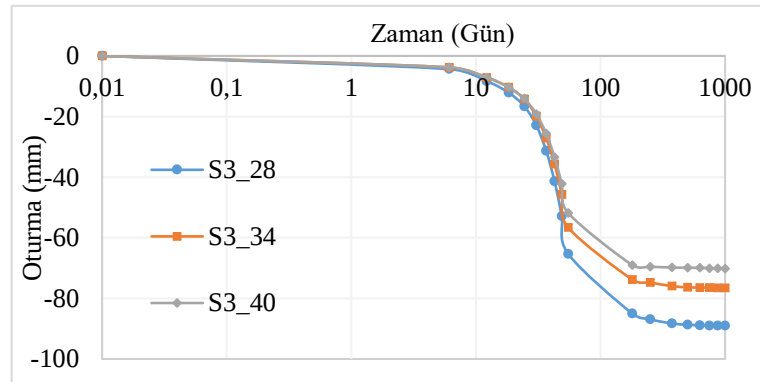
S2 noktasında farklı içsel sürtünme açısı için hesaplanmış olan oturma miktarları Şekil 6.80’de verilmiştir.



Şekil 6.80. Farklı içsel sürtünme açısı için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı

S2 noktasında da S1 noktasına benzer bir davranış görülmüştür. Bu noktada da hesaplanan en yüksek oturma miktarı içsel sürtünme açısının 28 derece olduğu durum iken en düşük oturma miktarı 40 derece için hesaplanmıştır.

S3 noktasında görülen en yüksek oturma miktarı 89,07 mm ile içsel sürtünme açısı 28 derece olan durumda, en düşük oturma ise 70,18 mm ile içsel sürtünme açısı 40 derece olan durumda gözlenmiştir. Şekil 6.81’de oturma miktarının zamanla değişimi görülmektedir.

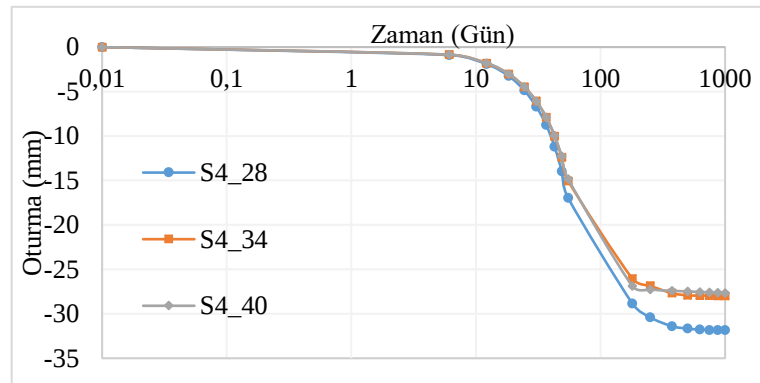


Şekil 6.81. Farklı içsel sürtünme açısı için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı

S4 noktasında hesaplanan davranış da diğer durumlara benzerdir. Ancak S1 noktasında 34 derecelik içsel sürtünme açısı ile 40 derecelik durum arasında hemen hemen hiç fark bulunmamaktadır. S4 noktasındaki oturma miktarının zamana göre değişimi aşağıdaki Şekil 6.82’de gösterilmiştir. S4 noktasında ölçülen oturma miktarı 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı en yüksek 31,83 mm en düşük 27,68 mm olarak hesaplanmıştır.

E4, E5 ve E9 noktaları için hesaplanan gerilme miktarı aşağıda verilmiştir. Hesaplanan gerilme miktarları E4 ve E5 noktalarında içsel sürtünme açısı arttıkça azalmakta iken E9 noktasında artmaktadır. Ancak içsel sürtünme açısının 28 derece olduğu durum ile 34 derece olduğu durum için hesaplanan değerler E4 ve E5 noktalarında aynıdır. E9 noktasında ise tüm durumlarda ölçülen gerilme artmıştır. Bu noktada ki ölçülen gerilmeler içsel sürtünme açısı 28, 34 ve 40 derece için 1000 gün sonrasında sırasıyla 766,11 kPa, 772,75 kPa ve 797,82 kPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.14'te P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncının farklı durumlar ve günler için değişimi görülmektedir.



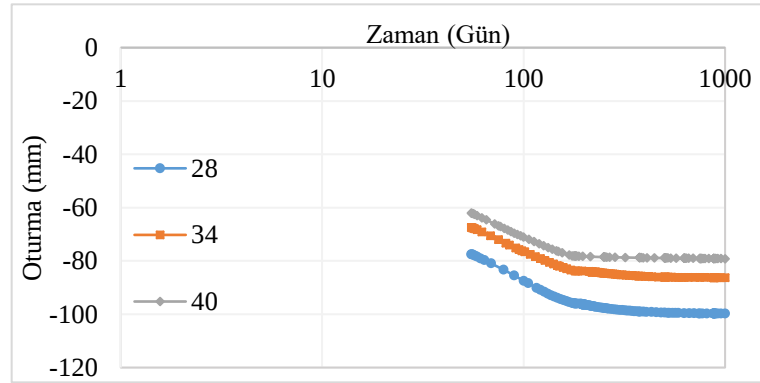
Şekil 6.82. Farklı içsel sürtünme açısı için S4 noktasında hesaplanan oturma miktarı

Tablo 6.14. Farklı içsel sürtünme açısı için P1 ve P2 noktalarında farklı günler de hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı

	P1			P2		
	55	180	1000	55	180	1000
28	9,85	1,30	0,02	17,57	5,45	0,08
34	7,93	1,17	0,02	15,08	4,66	0,07
40	7,79	1,13	0,02	15,67	4,56	0,09

Tablo 6.14'ten görülebileceği üzere dolgu içsel sürtünme açısının artması, yumuşak kil tabakasında daha düşük aşırı boşluk suyu basıncı meydana gelmesine sebep olmaktadır. İçsel sürtünme açısı 34 derece olduğu zaman 55. gün sonunda hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı P2 noktası için 15,08 kPa iken aynı zaman sonunda içsel sürtünme açısı 40 derece olduğu zaman hesaplanan içsel sürtünme basıncı 15,67 kPa'dır. Ancak ilerleyen zamanlarda 40 derecelik içsel sürtünme açısı için aynı noktada hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı daha küçük olarak hesaplanmıştır.

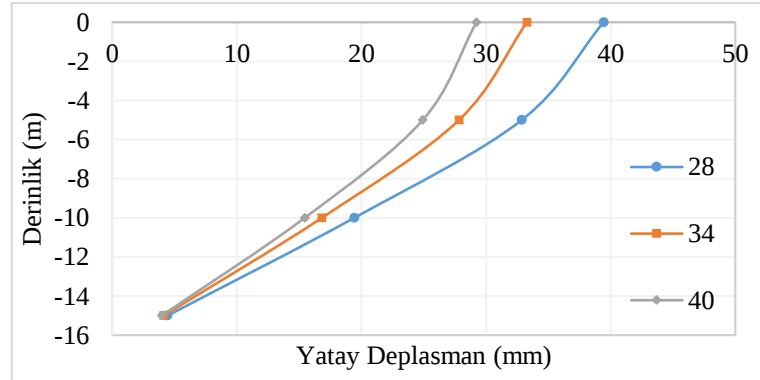
Şekil 6.83'te dolgu yüzeyinde farklı dolgu içsel sürtünme açısı için zaman bağlı olarak hesaplanmış olan oturma miktarı görülmektedir.



Şekil 6.83. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı durum ve zamana bağlı değişimi

Dolgu yüzeyi için 28, 34 ve 40 derecelik içsel sürtünme açısı durumları için hesaplanan oturma miktarı 1000 gün sonunda sırasıyla 99,82 mm, 86,31 mm ve 79,21 mm'dir. İçsel sürtünme açısının 28 dereceden 40 dereceye çıkmasıyla birlikte dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarı yaklaşık %21 azalmıştır.

Dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta ve doğal zemin yüzeyinde meydana gelen yatay deplasman incelendiğinde, en yüksek yatay deplasman içsel sürtünme açısı 28 derece olan durumda, en düşük yatay deplasman 40 derece olan durum da hesaplanmıştır.

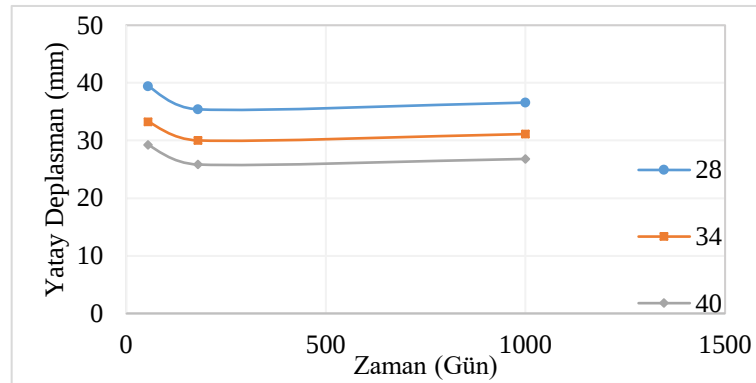


Şekil 6.84. Farklı dolgu içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi

Şekil 6.84'ten de görülebileceği üzere derinlik arttıkça meydana gelen yatay deplasman miktarı azalmakta ve her durum için aradaki fark azalmaktadır. Örneğin 40 derece içsel sürtünme açısına sahip dolgu da 0 metrede 55. Günde hesaplanan yatay deplasman 29,22 mm iken 28 derece için hesaplanan yatay deplasman ise 39,43 mm'dir. Ancak 15 metre derinlikte hesaplanan yatay deplasmanlar sırasıyla 3,97 mm ve 4,43 mm

olmaktadır. Aradaki yüzde cinsinden değişim ise yüzeyde %25,89'dan %10,38'e düşmektedir.

Tüm durumlar için hesaplanan yatay deplasmanın zamanla değişimi ise Şekil 6.85'te gösterilmiştir. Şekil 6.85'e göre meydana gelen yatay deplasman 55 ile 180. günler arasında azalırken daha sonra artma eğilimine girmişlerdir.



Şekil 6.85. Farklı dolgu içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasmanın zaman bağlı değişimi

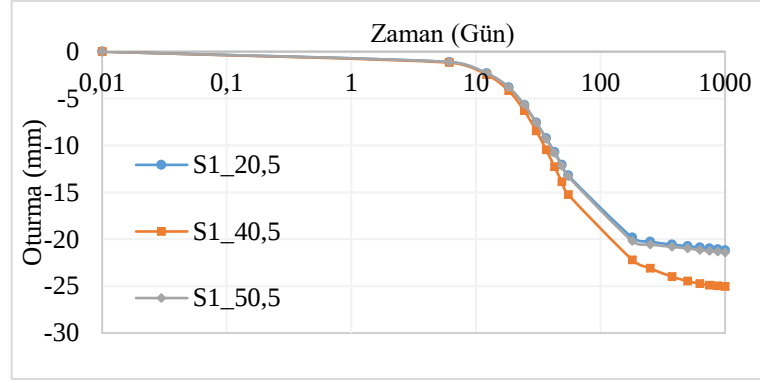
6.4. Granuler Malzemenin Etkisi

Granuler malzeme kazık başlıkları ile dolgu malzemesi arasında kullanılan, donatının yerleştirildiği tabakadır. Bu tabaka literatürde çalışma platformu olarakta adlandırılmaktadır. Bu bölümde ise çalışma tabakasının içsel sürtünme açısı ile bu tabakanın kalınlığının oturma, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu, hesaplanan gerilmelere ve yatay deplasmana olan etkisi ele alınmıştır.

6.4.1. İçsel sürtünme açısının etkisi

Dolgudan gelen yükler öncelikle çalışma platformunda donatıya aktarılır. Daha sonra ise bu yükler donatı aracılığı ile kazıklara aktarılmaktadır. Bu nedenle çalışma platformu içsel sürtünme açısının önemini göstermek açısından 20,5, 40,5 ve 50,5 olmak üzere üç farklı içsel sürtünme açısı seçilerek meydana gelen değişiklikler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Aşağıdaki Şekil 6.86'da S1 noktasında meydana oturma miktarının içsel sürtünme açısının değişimiyle nasıl değiştiği görülmektedir. Şekilden de anlaşılabileceği üzere bu noktada görülen oturma miktarı ile içsel sürtünme açısı arasında bir bağlantı görülmemektedir.



Şekil 6.86. Farklı içsel sürtünme açısı için S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı

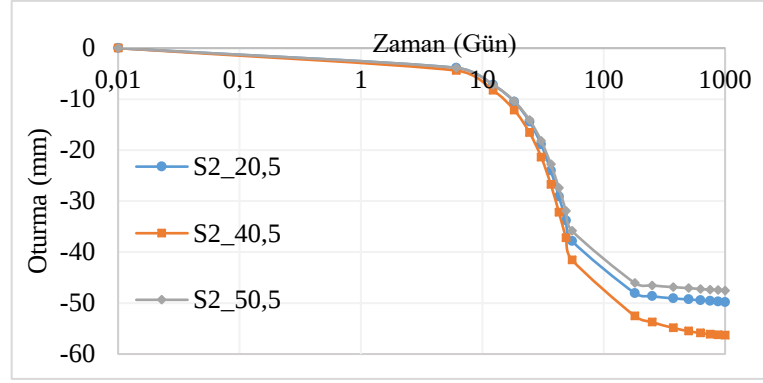
İçsel sürtünme açısı 20,5 dereceden 40,5 dereceye çıktığında bu noktada görülen oturma miktarı artarken, içsel sürtünme açısı 50,5 dereceye çıktığı zaman S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı azalmaktadır.

S2 noktası için hesaplanan oturma davranışı da S1 noktasındaki davranış ile benzerlik göstermektedir. Aynı şekilde çalışma platformunun içsel sürtünme açısı 40,5 dereceye çıktığı zaman hesaplanan oturma miktarı 1000 gün sonunda 49,83 mm'den 56,33 mm'ye çıkarken, içsel sürtünme açısı 50,5 dereceye çıktığı zaman 47,55 mm'ye düşmektedir. Şekil 6.87'de S2 noktasındaki oturma davranışının farklı içsel sürtünme açısına göre ve zamana bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.

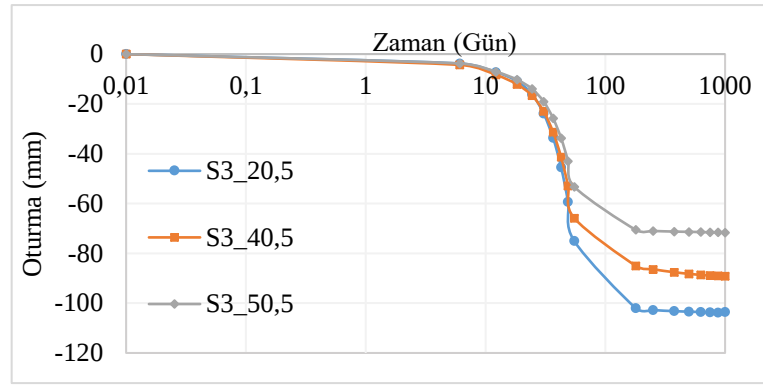
S3 noktasında ise görülen oturma miktarı ise içsel sürtünme açısıyla ters orantılı olarak değişmektedir. Granüler malzemenin içsel sürtünme açısı arttıkça hesaplanan oturma miktarı S3 noktasında azalmaktadır. Şekil 6.88'de hesaplanan oturma davranışının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir.

S3 noktasında dolgu inşa başlangıcından 1000 gün sonra gözlemlenen oturma miktarı, içsel sürtünme açısı 20,5 derece iken 103,49 mm iken, içsel sürtünme açısı 40,5 derece olduğunda 89,14 mm ve içsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman hesaplanan oturma miktarı 71,63 mm olmuştur. Bu noktada meydana gelen oturma değişimi yüzdelik olarak karşılaştırıldığı zaman ise, içsel sürtünme açısı 20,5 dereceden 50,5 dereceye çıktığı zaman meydana gelen değişim %30,79 olarak hesaplanmıştır.

S4 noktasında görülen davranış ise genel olarak S1 ve S2 noktasıyla benzerlik göstermektedir. Bu noktada en yüksek oturma miktarı içsel sürtünme açısı 40,5 derece de hesaplanırken, en düşük oturma miktarı içsel sürtünme açısının 20,5 derece olduğu zaman görülmüştür. Bu noktada görülen oturma davranışının zamana bağlı değişimi Şekil 6.89'da gösterilmiştir.



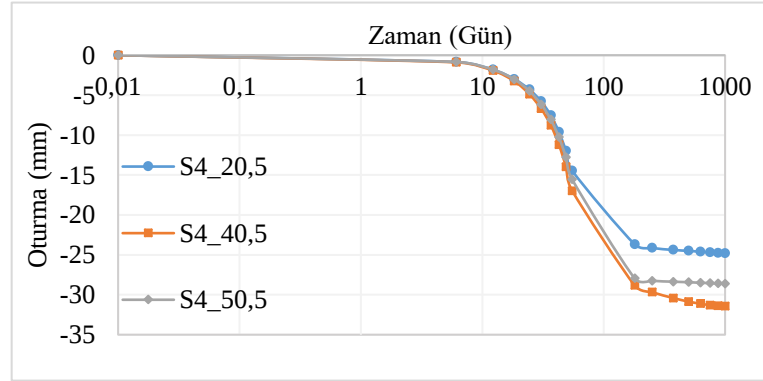
Şekil 6.87. Farklı içsel sürtünme açısı için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı



Şekil 6.88. Farklı içsel sürtünme açısı için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı

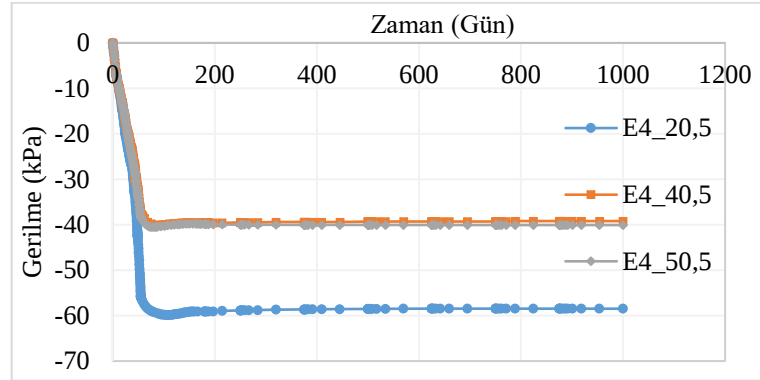
S4 noktasında en düşük oturma miktarı ile en yüksek oturma miktarı arasındaki yüzdelik olarak değişimi ise %21,06 olarak hesaplanmıştır.

Dolgu davranışını etkileyen en önemli parametrelerden biri de kazık ve zemin yüzeyinde dolgudan dolayı oluşan gerilmelerdir. Zemin yüzeyinde oluşan gerilmeler E4 ve E5 noktasında kazık başlığında oluşan gerilme ise E9 noktası için hesaplanmış ve aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6.89. Farklı içsel sürtünme açısı için S4 noktasında hesaplanan oturma miktarı

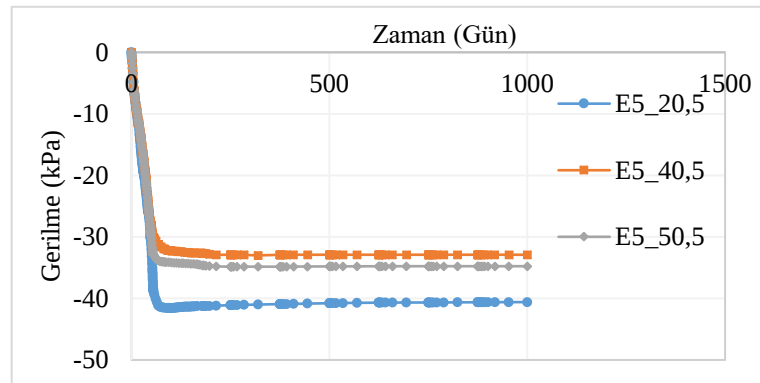
E4 noktasında farklı granuler dolgu içsel sürtünme açısı için hesaplanan gerilme ve zamana bağlı değişimi Şekil 6.90’da verilmiştir.



Şekil 6.90. E4 noktasında farklı içsel sürtünme açısı için hesaplanan gerilme miktarı

Şekil 6.90’dan görülebileceği üzere en yüksek gerilme miktarı en düşük içsel sürtünme açısı olan 20,5 derece için hesaplanmıştır. Bu noktada hesaplanan en düşük gerilme ise içsel sürtünme açısının 40,5 derece olduğu durumda gözlemlenmiştir. İçsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğunda ise, hesaplanan gerilme miktarı, içsel sürtünme açısı 40,5 derecelik durumdan çok az olsa da daha yüksektir. İçsel sürtünme açısı 40,5 derecelik durumda 1000 gün sonunda hesaplanmış olan gerilme miktarı 39,2 kPa iken, içsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman hesaplanan gerilme miktarı 40,8 kPa’dır.

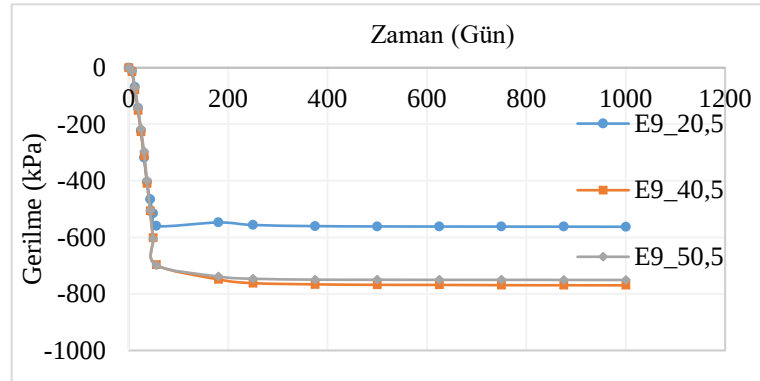
Aşağıdaki Şekil 6.91’de E5 noktası için hesaplanan gerilme miktarının zamana bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.



Şekil 6.91. E5 noktasında farklı içsel sürtünme açısı için hesaplanan gerilme miktarı

E5 noktasında gözlemlenen davranış E4 noktasına paralellik göstermektedir. En yüksek gerilme en düşük içsel sürtünme açısı olan 20,5 derece için hesaplanmıştır. Hesaplanan en yüksek gerilme 40,60 kPa iken en düşük gerilme 32,9 kPa’dır. En düşük gerilme içsel sürtünme açısının 40,5 derece olduğu zaman görülmüştür.

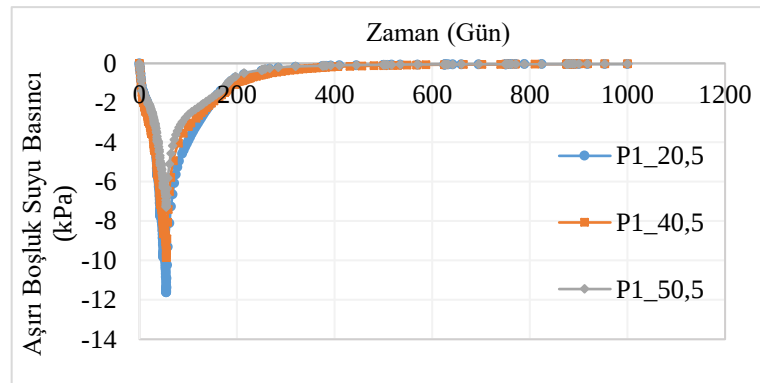
E9 noktasında gözlemlenen gerilmeler ise kazık başlığı için hesaplanan gerilmelerdir. Bu nokta için hesaplanan gerilmeler Şekil 6.92’de gösterilmiştir.



Şekil 6.92. E9 noktasında farklı içsel sürtünme açısı için hesaplanan gerilme miktarı

E9 noktası için hesaplanan gerilme miktarı ise en düşük içsel sürtünme açısı olan 20,5 derecelik çalışma platformu durumunda en düşük iken, içsel sürtünme açısı 40,5 olan çalışma platformunda en yüksek düzeye ulaşmıştır. İçsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman ise E9 noktasında hesaplanan gerilme miktarı 40,5 derecelik duruma göre daha az olarak hesaplanmıştır. Tüm durumlar için 1000 gün sonunda hesaplanan gerilme miktarları 20,5, 40,5 ve 50,5 dereceler için sırasıyla 562,39 kPa, 769,52 kPa ve 750,49 kPa olarak hesaplanmıştır.

Zemin yüzeyinden 4 metre ve 8 metre derinlikteki aşırı boşluk suyu basınçları P1 ve P2 noktası olarak incelenmiştir. P1 noktası için hesaplanan en yüksek boşluk suyu basıncı içsel sürtünme açısı 20,5 derece olan durumda görülmüştür. P1 noktasında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının zamana bağlı olarak değişimi aşağıdaki Şekil 6.93’te gösterilmiştir.

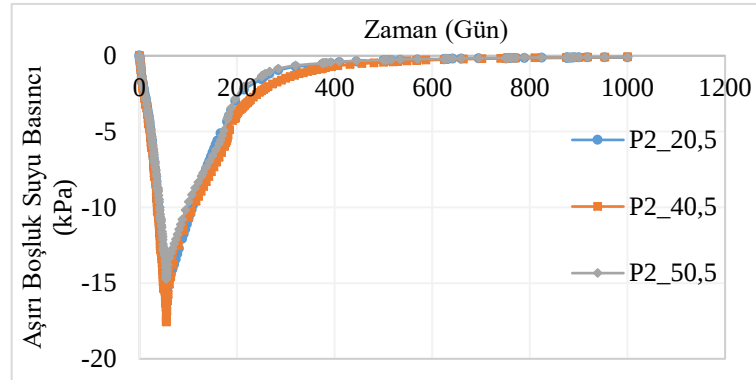


Şekil 6.93. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi

İçsel sürtünme açısının 20,5, 40,5 ve 50,5 derece olduğu durumlar için hesaplanan en yüksek boşluk suyu basınçları sırasıyla 11,62 kPa, 9,85 kPa ve 7,28 kPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı yine sırasıyla 183, 197 ve 181 gün sonunda sönümlenmiştir.

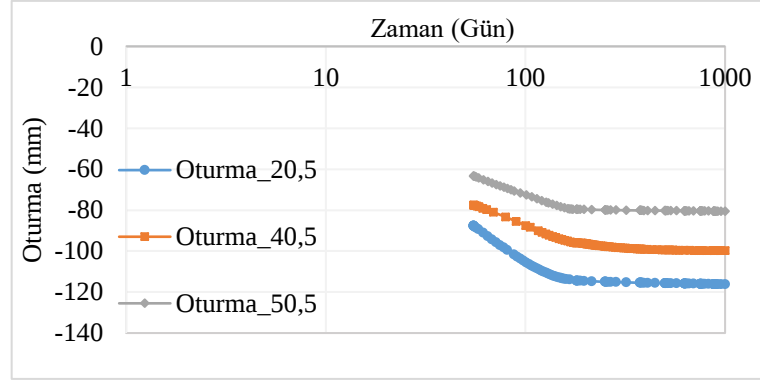
P2 noktası için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı ve değişimi Şekil 6.94'te gösterilmiştir. Bu noktada hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 17,57 kPa olarak içsel sürtünme açısı 40,5 derece olan durumda gözlemlenmiştir. İçsel sürtünme açısı 20,5 ve 50,5 derece olan durumlarda hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı sırasıyla 16,45 ve 14,73 kPa olarak hesaplanmıştır. Aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi ise içsel sürtünme açısı 20,5, 40,5 ve 50,5 olduğu durumlar için sırasıyla 284, 353 ve 284 gün olarak belirlenmiştir.

Hesaplanan tüm en yüksek aşırı boşluk suyu basınçları inşa başladıktan sonra 55. gün sonunda görülmüştür. Bu günden sonra aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenmeye başlamaktadır.



Şekil 6.94. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi

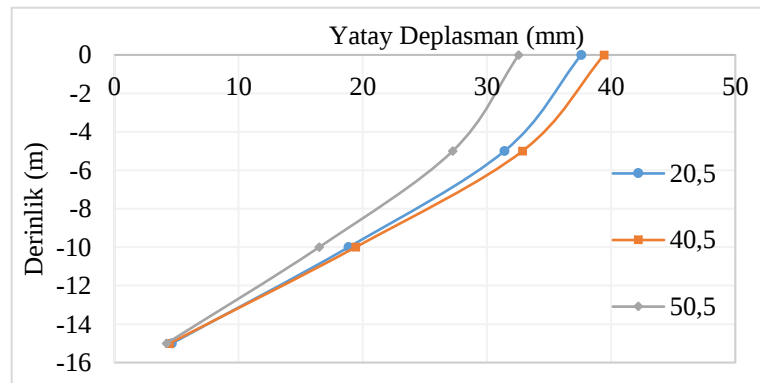
Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı ise Şekil 6.95'te gösterilmiştir. Şekil 6.95'ten görülebileceği üzere dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı en az, granüler dolgu içsel sürtünme açısının 50,5 derece olduğu zaman, görülen en yüksek oturma miktarı ise, içsel sürtünme açısının 20,5 derece olduğu zaman görülmüştür.



Şekil 6.95. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı durum ve zamana bağlı değişimi

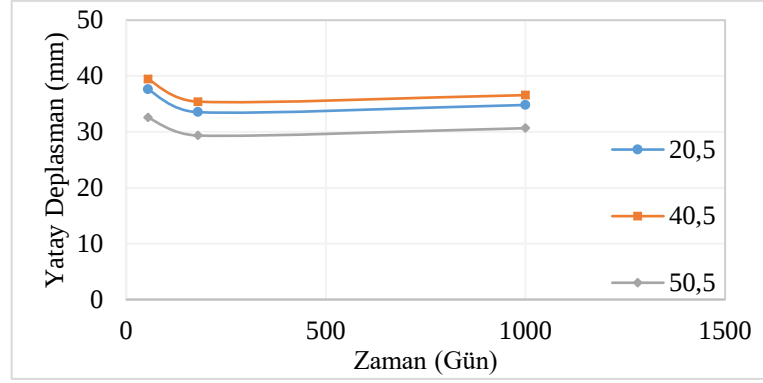
20,5, 40,5 ve 50,5 derecelik içsel sürtünme açısına sahip çalışma platformları için 1000 gün sonunda hesaplanan dolgu yüzeyi oturma miktarı sırasıyla 116,24 mm, 99,82 mm ve 80,52 mm'dir. En yüksek oturma miktarı ile en düşük oturma miktarı arasındaki fark yüzdelik olarak %30,73 olarak hesaplanmıştır.

Bu bölümde son olarak çalışma platformunun içsel sürtünme açısının dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta meydana getirdiği yatay deplasman miktarı incelenmiştir. Yatay deplasman miktarındaki içsel sürtünme açısına bağlı olarak meydana gelen değişimler aşağıdaki Şekil 6.96'da gösterilmiştir. Şekil 6.96'dan da görülebileceği üzere en yüksek yatay deplasman zemin yüzeyinde 40,5 derecelik içsel sürtünme açısında hesaplanmıştır. Bu durumda hesaplanan en yüksek yatay deplasman miktarı 39,43 mm'dir. En düşük yatay deplasman ise 32,56 mm olarak içsel sürtünme açısı 50,5 derece olan durum için hesaplanmıştır.



Şekil 6.96. Farklı içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi

Şekil 6.97'de ise yüzeyde ölçülen yatay deplasmanın zamana bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 6.97. Farklı dolgu içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasmanın zaman bağlı değişimi

Yatay deplasman 55. ile 180. günler arasında azalma eğilimi gösterirken, daha sonraki günlerde artmaya başlamaktadır. Hesaplanan en yüksek yatay deplasman yine 40,5 derecelik içsel sürtünme açısında gözlemlenirken, en düşük 50,5 derecelik içsel sürtünme açısında hesaplanmıştır.

6.4.2. Çalışma platformu kalınlığının etkisi

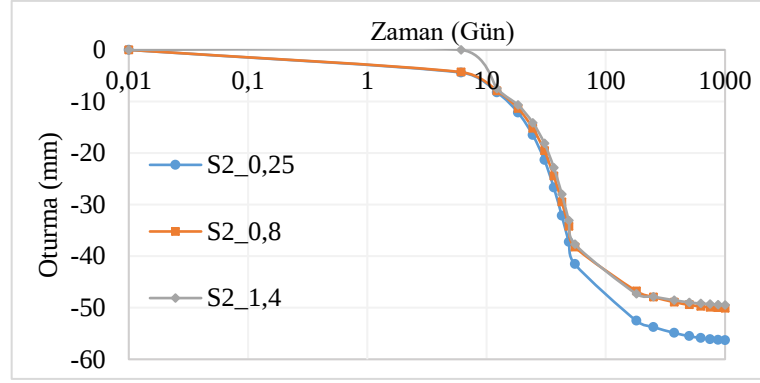
Çalışma platformu kalınlığının dolgu davranışına olan etkisini gösterebilmek amacıyla, tabaka kalınlığı 0,25 metre 0,80 metre ve 1,40 metre olarak değiştirilip, farklı yerlerde meydana gelen oturma miktarına, aşırı boşluk suyu basıncı ve yatay deplasmana olan etkisi gösterilmiştir.

S1 noktası için hesaplanan en düşük oturma miktarı, granüler dolgu kalınlığının 0,8 metre olduğu durumdadır. Bu durum için S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı 1000 gün sonunda 22,45 mm'dir. 1000 gün sonunda aynı noktada hesaplanan en yüksek gerilme ise 25,02 mm olarak referans, yani 0,25 metre tabaka kalınlığı için hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 6.15'te S1 noktası için farklı günler için hesaplanmış oturma miktarları gösterilmiştir.

Tablo 6.15. S1 noktasında farklı durumlar için farklı günlerde hesaplanan oturma miktarı

	0.25 m	0.8 m	1.4 m
55	15,24	14,74	14,57
180	22,20	20,41	21,43
1000	25,03	22,45	23,20

S2 noktası için hesaplanan oturma miktarının hem tabaka kalınlığına göre hem de zamana bağlı değişimi aşağıdaki Şekil 6.98'de gösterilmiştir.



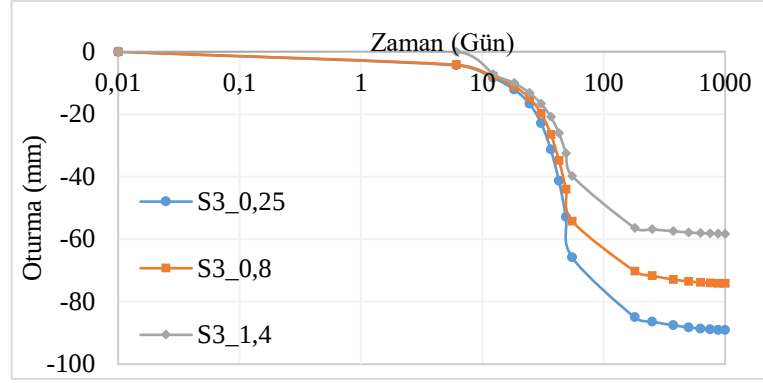
Şekil 6.98. Farklı tabaka kalınlığı için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı

Bu noktada görülen en yüksek oturma miktarı tabaka kalınlığının 0,25 metre olduğu referans modelde görülmüşken, en düşük oturma 1,4 metrelik granuler dolguya sahip model de hesaplanmıştır. Çalışma platformu kalınlığı 0,25 metre, 0,8 metre ve 1,4 metre olduğu durumlar da 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı sırasıyla 56,33 mm, 50,08 mm ve 49,47 mm'dir. S2 noktası için hesaplanan oturma miktarları 55 ve 180 ve 1000. günler için Tablo 6.16'da verilmiştir.

Tablo 6.16. S2 noktasında farklı durumlar için farklı günlerde hesaplanan oturma miktarı

	0,25 m	0,8 m	1,4 m
55	41,56	38,24	37,71
180	52,54	46,79	47,32
1000	56,33	50,08	49,47

S3 noktası için hesaplanan oturma miktarı farklı çalışma platformu kalınlığı ve zaman ile değişimi Şekil 6.99'da gösterilmektedir. S3 noktasında hesaplanan en düşük oturma miktarı 58,34 mm ile çalışma platformu kalınlığının 1,4 metre olduğu model için hesaplanmıştır. Çalışma platformu kalınlığının 0,25 metre ile 0,8 metre olduğu durumlar da hesaplanan oturma miktarı ise sırası ile 89,14 mm ve 74,16 mm'dir. S3 noktası için hesaplanan oturma miktarı S2 noktasın da olduğu gibi, çalışma tabakasının kalınlığı arttıkça azalmıştır.



Şekil 6.99. Farklı tabaka kalınlığı için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı

S4 noktası için hesaplanan oturma miktarı ise en düşük olarak tabaka kalınlığının 0,8 metre olduğu modelde hesaplanmıştır. En yüksek oturma miktarı ise tabaka kalınlığının 1,4 metre olduğu durum için hesaplanmıştır. Tabaka kalınlığının 1,4 metre olduğu durumda 55, 180 ve 1000 gün sonunda S4 noktası için hesaplanan oturma miktarı aşağıdaki Tablo 6.17’de verilmiştir.

Tablo 6.17. S4 noktasında farklı durumlar için farklı günlerde hesaplanan oturma miktarı

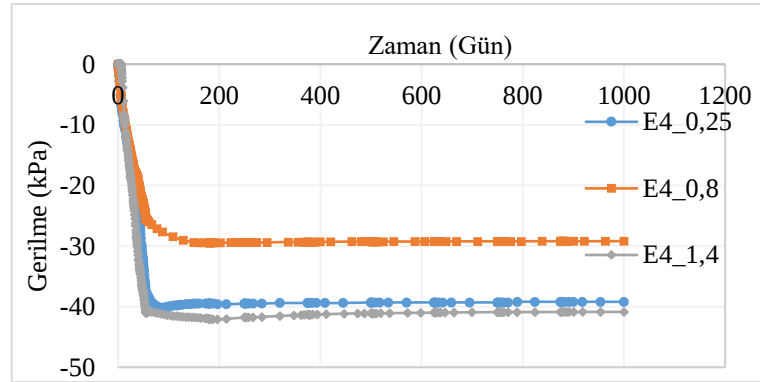
	0,25 m	0,8 m	1,4 m
55	16,97	17,41	19,82
180	28,83	26,26	35,02
1000	31,44	29,34	36,52

Farklı granüler dolgu kalınlıklarının E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelere olan etkileri bu kısımda incelenmiştir. Farklı çalışma platformu kalınlığı oturma miktarını etkilediği gibi bu noktalar için hesaplanan gerilme miktarında da önemli değişimlere neden olmuştur.

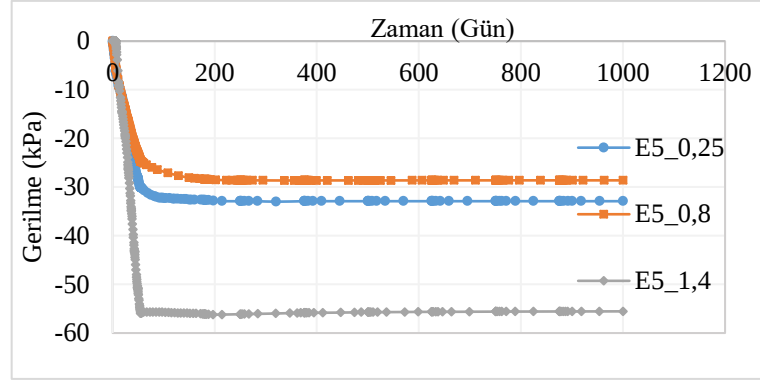
E4 noktasında hesaplanan en düşük gerilme, granüler dolgu kalınlığının 0,8 metre olduğu durumda hesaplanmıştır. En yüksek gerilme ise granüler dolgu kalınlığının 1,4 metre olduğu durumda hesaplanmıştır. Çalışma platformu kalınlığının 0,25 metre olduğu referans modelde E4 noktasında hesaplanan gerilme miktarı ise, tabaka kalınlığının 1,4 metre olduğu modele daha yakın olarak hesaplanmıştır. Bu noktada 0,25 metre, 0,8 metre ve 1,4 metre tabaka kalınlığı için 1000 gün sonunda hesaplanan gerilme miktarı sırasıyla 39,2 kPa, 29,20 kPa ve 40,86 kPa’dır. Hesaplanan bu gerilmelerin zamana bağlı değişimi ise Şekil 6.100’de verilmiştir.

E5 noktasında ölçülen en yüksek gerilme miktarı çalışma platformu kalınlığı 1,4 metre olduğu modelde, en düşük ise çalışma platformu kalınlığı 0,8 metre olduğu durum da hesaplanmıştır. E5 noktasında tabaka kalınlığı 0,25 metre olan referans model için hesaplanan gerilme miktarı ise bu defa daha düşük gerilme miktarının hesaplandığı modele daha yakındır. 1000 gün sonunda 0,25 metre, 0,8 metre ve 1,4 metre çalışma platformları için sırasıyla 32,9 kPa, 28,61 kPa ve 55,54 kPa olarak hesaplanmıştır. E5 noktasında farklı çalışma platformu kalınlığı için hesaplanan gerilmelerin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 6.101’de gösterilmiştir.

E9 noktası için hesaplanan en yüksek gerilme miktarı çalışma platformu kalınlığının 0,25 metre olan durumda iken, en düşük gerilme miktarı çalışma platform kalınlığının 1,4 metre olduğu durum için hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda farklı çalışma platformu tabaka kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı 0,25 metre, 0,8 metre ve 1,4 metre tabaka kalınlığı için sırasıyla 769,52 kPa, 752,69 kPa ve 728,07 kPa olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere tabaka kalınlığı arttıkça kazık başlığına gelen yük azalmaktadır. Kazık üzerine gelen gerilmelerin zamanla değişimi Şekil 6.102’de gösterilmiştir.

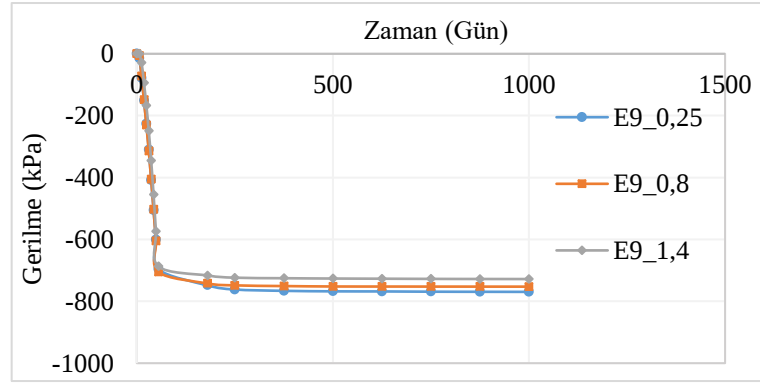


Şekil 6.100. E4 noktasında farklı çalışma platformu kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı



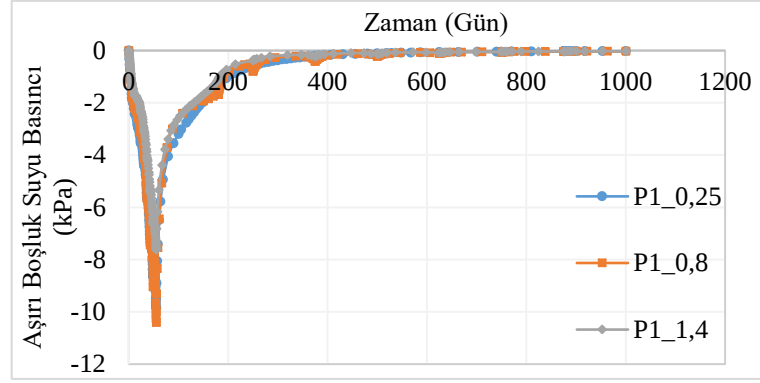
Şekil 6.101. E5 noktasında farklı çalışma platformu kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı

Dolgu davranışına etki eden önemli parametrelerden biri olan yumuşak zeminde meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncıdır. Bu kısımda farklı granüler dolgu kalınlığı için yumuşak zeminde oluşan aşırı boşluk suyu basıncının oluşumu ve sönümlenmesi incelenmiştir. P1 noktasında oluşan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 10,41 kPa olarak 55. günde tabaka kalınlığının 0,8 metre olduğu durumda hesaplanmıştır. Tabaka kalınlığının 0,25 metre ve 1,4 metre olduğu durumlarda P1 noktasında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı sırasıyla 9,85 kPa ve 7,62 kPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu en yüksek aşırı boşluk suyu basınçları inşa başladıktan sonra 55. günde ölçülmüştür. Daha sonra azalmaya başlamıştır.



Şekil 6.102. E9 noktasında farklı çalışma platformu kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı

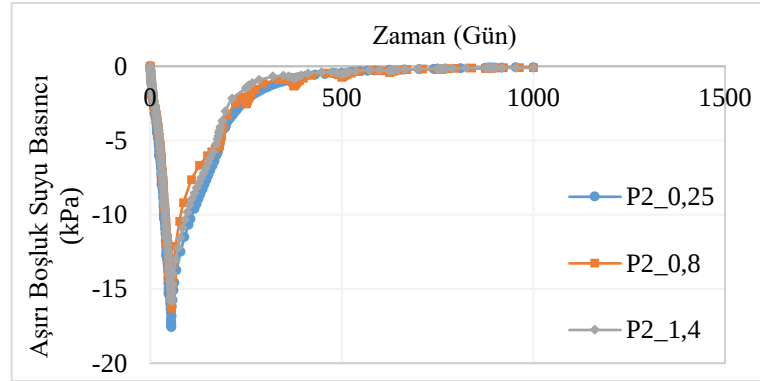
P1 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının çalışma platformu kalınlığı ve zamana bağlı değişimi Şekil 6.103'te gösterilmiştir.



Şekil 6.103. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi

P1 noktasında oluşan aşırı boşluk suyunun sönmülmesi için 0,25 metre, 0,8 metre ve 1,4 metre çalışma platformu kalınlığı için geçen süreler sırasıyla 197 gün, 191 gün ve 181 gün olarak hesaplanmıştır.

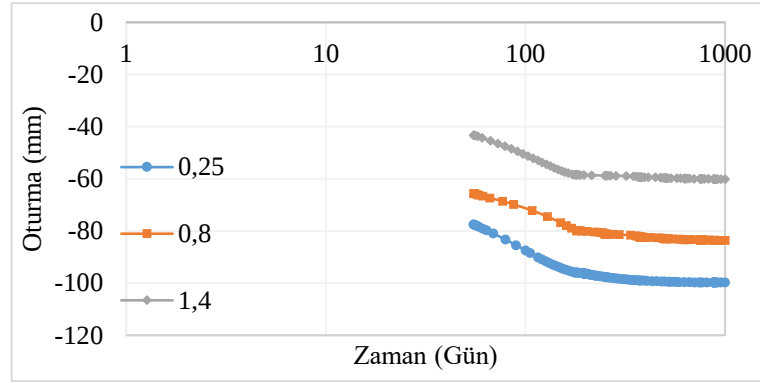
P2 noktası için 0,25 metre, 0,8 metre ve 1,40 metre çalışma platformu için hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı sırasıyla 17,57 kPa, 16,30 kPa ve 15,84 kPa olarak hesaplanmıştır. P2 noktasında ölçülen aşırı boşluk suyu basıncı çalışma platformu kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Dolgu inşasından dolayı oluşan aşırı boşluk suyu basıncı en yüksek değerine 55 gün sonunda ulaşmıştır. P2 noktası için hesaplanan bu aşırı boşluk suyu basıncının gelişimi ve sönmülmesi Şekil 6.104'te gösterilmiştir.



Şekil 6.104. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi

Oluşan bu aşırı boşluk suyu basıncının sönmülmesi için geçen süre ise 0,25 metre, 0,8 metre ve 1,4 metre granüler dolgu kalınlığı için sırasıyla 353 gün, 389 gün ve 284 gündür.

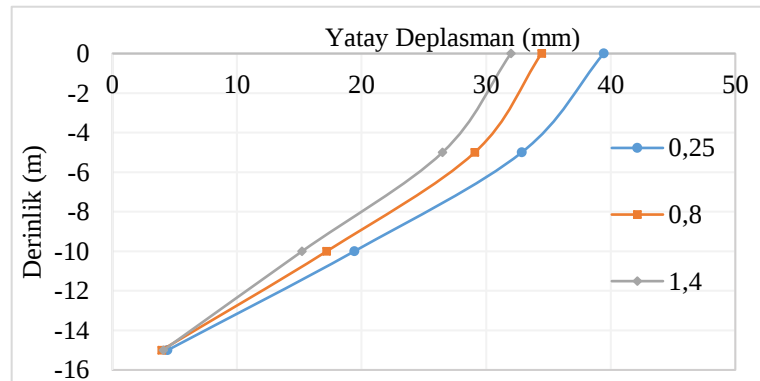
Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı ile çalışma platformu kalınlığı arasında ters orantı olduğu yapılan modellemeler ile ortaya konulmuştur. Ortaya çıkan davranış Şekil 6.105'te görülmektedir.



Şekil 6.105. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı çalışma platformu kalınlığı ve zamana bağlı değişimi

Şekil 6.105'ten de görülebileceği üzere dolgu yüzeyinde görülen en düşük oturma miktarı çalışma platformu kalınlığının 1,4 metre olduğu durumda, en yüksekte çalışma platformu kalınlığının 0,25 metre olduğu durumda gözlemlenmiştir. Çalışma platformu kalınlığı 0,25 metre, 0,8 metre ve 1,4 metre için hesaplanan dolgu yüzeyi oturma miktarı 1000 sonunda sırasıyla, 99,82 mm, 83,60 mm ve 60,15 mm'dir. Tabaka kalınlığının 0,25 metre'den 1,4 metreye çıkmasıyla birlikte görülen oturma miktarı yaklaşık %40 azalmıştır.

Kullanılan çalışma platformu kalınlığının artması gözlemlenen yatay deplasman miktarında da azalmaya neden olmuştur. Şekil 6.106'da dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta, zemin yüzeyinde ve 55. gün için hesaplanmış yatay deplasman miktarı görülmektedir.

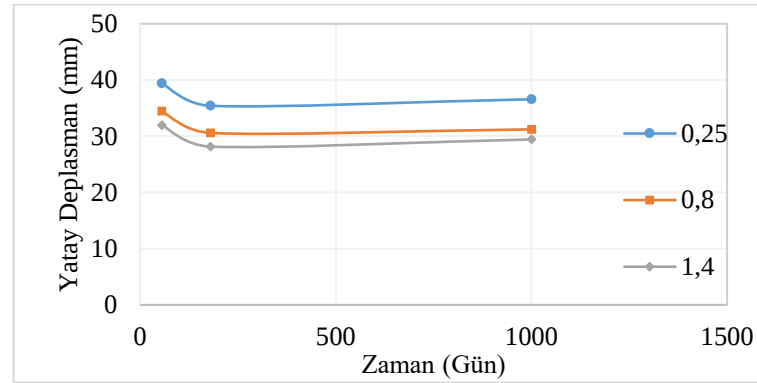


Şekil 6.106. Farklı granüler tabaka kalınlığı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi

Şekil 6.106'dan görülebileceği üzere, çalışma platformu kalınlığının artması, doğal zemin yüzeyindeki oturma miktarını belirgin bir şekilde azaltırken, artan derinlikle

birlikte görülen etki de azalmaktadır. 55 gün sonunda doğal zemin yüzeyinde hesaplanan yatay deplasman miktarı 0,25 metre, 0,8 metre ve 1,4 metre çalışma platformu kalınlığı için sırasıyla 39,43 mm, 34,44 mm ve 31,98 mm iken, 15 metre derinlik için hesaplanan yatay deplasman miktarları sırasıyla, 4,43 mm, 3,95 mm ve 4,09 mm olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.107’te ise farklı tabaka kalınlığı için doğal zemin yüzeyinde hesaplanan yatay deplasmanın zamanla değişimi verilmiştir. Şekil 6.107’den de görülebileceği üzere 55 ile 180 günler arasında hesaplanan yatay deplasman miktarı azalmaktadır. Ancak daha sonrada, hesaplanan yatay deplasman miktarı artmaktadır.



Şekil 6.107. Farklı granüler tabaka kalınlığı için hesaplanmış yatay deplasmanın zaman bağlı değişimi

6.5. Yumuşak Kil Tabakası Özelliklerinin Davranışa Olan Etkisi

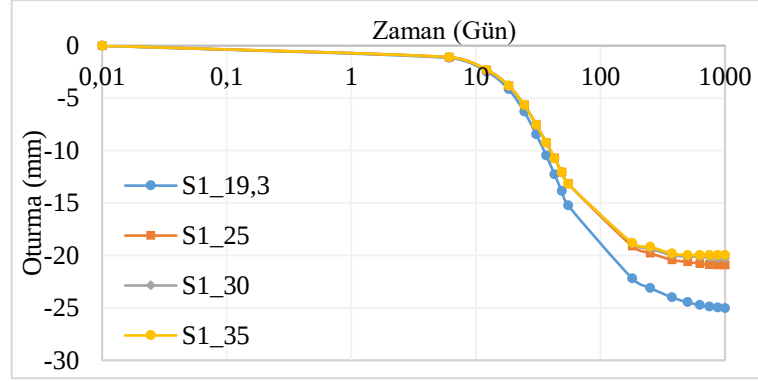
İnşa edilen dolguların davranışı alt tabakada bulunan yumuşak zemin ve parametreleriyle doğrudan ilgilidir. Bu nedenle bu çalışmada, yumuşak kil tabakasının içsel sürtünme açısı, kohezyon değeri, rijitlik parametresi ve tabaka kalınlığı değiştirilerek bu parametrelerin, dolgu oturma miktarına, kazıklarda gözlemlenen oturma ve gerilme miktarına, yumuşak kil tabakasında görülen aşırı boşluk suyu basıncına ve yatay deplasman miktarına olan etkileri incelenmiştir.

6.5.1. İçsel sürtünme açısının etkisi

Bu bölümde yumuşak kil tabakasının sahip olduğu içsel sürtünme açısının genel davranışa etkisi incelenecektir. Bu nedenle referans proje de deneysel olarak belirlenmiş 19,3 derecelik içsel sürtünme açısına ek olarak 25, 30 ve 35 derecelik içsel sürtünme açıları sonlu elemanlar programına girilerek dolgu davranışına etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır.

Bu nedenle ilk olarak S1, S2, S3 ve S4 noktaları için hesaplanan oturma miktarları incelenecektir. Daha önce de açıklandığı üzere S1 ve S4 noktaları kazık üzerinde meydana gelen oturma miktarını gösterirken S3 ve S4 doğal zeminde meydana gelen oturma miktarını göstermektedir.

Aşağıdaki Şekil 6.108’de S1 noktasında farklı içsel sürtünme açıları için hesaplanmış olan oturma miktarının zamana bağlı değişimi görülmektedir.



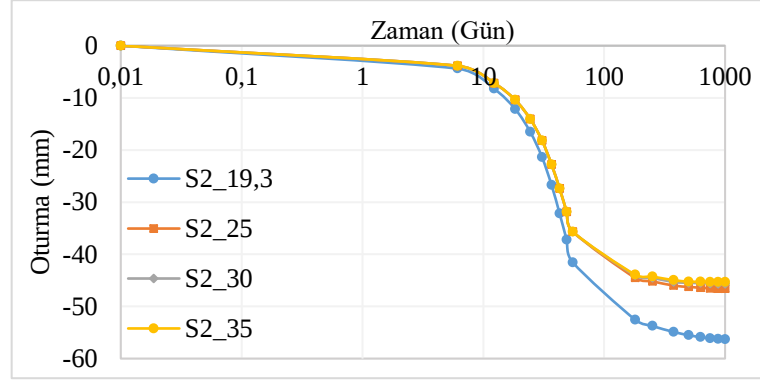
Şekil 6.108. Farklı içsel sürtünme açıları için S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı

Şekil 6.108’den görülebileceği gibi içsel sürtünme açısı arttığı zaman görülen oturma miktarı azalmaktadır. Ancak içsel sürtünme açısının 19,3 dereceden 25 dereceye çıktığı zaman görülen azalma miktarı ile içsel sürtünme açısı 25 dereceden 30 dereceye çıktığı zaman görülen azalma miktarı aynı değildir. İçsel sürtünme açısı arttıkça oturma miktarında gözlemlenen oturma miktarı azalmaktadır.

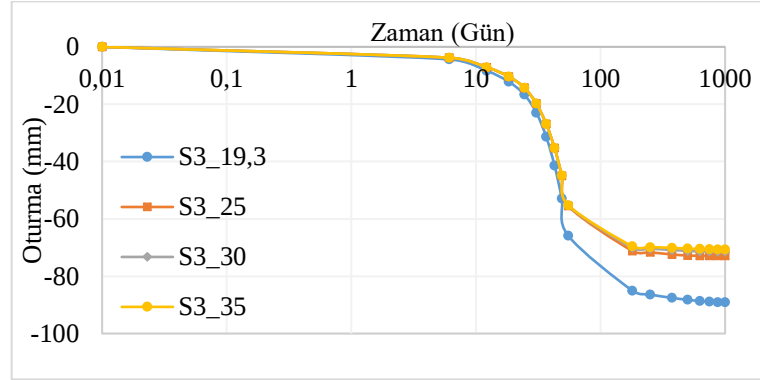
Şekil 6.109’da ise S2 noktası için hesaplanan oturma miktarı görülmektedir. Bu noktada da görülen davranış S1 noktasına benzemektedir. İçsel sürtünme açısı 19,3 dereceden 25 dereceye çıktığı zaman görülen oturma miktarı 56 mm’den 46 mm’ye düşerken, içsel sürtünme açısı 30 dereceye çıktığı zaman hesaplanan oturma miktarı 45 mm olarak hesaplanmaktadır.

S3 noktası için hesaplanan oturma miktarının zamanla değişimi Şekil 6.110’da görülmektedir. Bu nokta için hesaplanan oturma miktarı da S1 ve S2 noktasındaki davranışa benzemektedir. S3 noktasında 1000 gün sonunda 19,3 derecelik içsel sürtünme açısı için 89,14 mm olarak hesaplanırken 35 derecelik içsel sürtünme açısı için hesaplanan oturma miktarı 70,65 mm’dir. Yapılan analizler sonucunda S3 noktasında gözlemlenen oturma miktarında azalma içsel sürtünme basıncında meydana gelen artışla azalmaktadır. Bu durum Şekil 6.110’da da görülmektedir.

S4 noktasında farklı yumuşak zemin içsel sürtünme açısı için hesaplanmış olan oturma miktarının zamanla değişimi Şekil 6.111’de gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucu bu noktada gözlemlenen oturma davranışı ile diğer noktalarda gözlemlenen oturma davranışının birbirlerine benzediği görülmektedir. S4 noktasında 19,3, 25, 30 ve 35 derecelik yumuşak kil içsel sürtünme açıları için 1000 gün sonunda oturma miktarı 31,44 mm, 26,62 mm, 25,84 mm ve 25,38 mm olarak hesaplanmıştır.

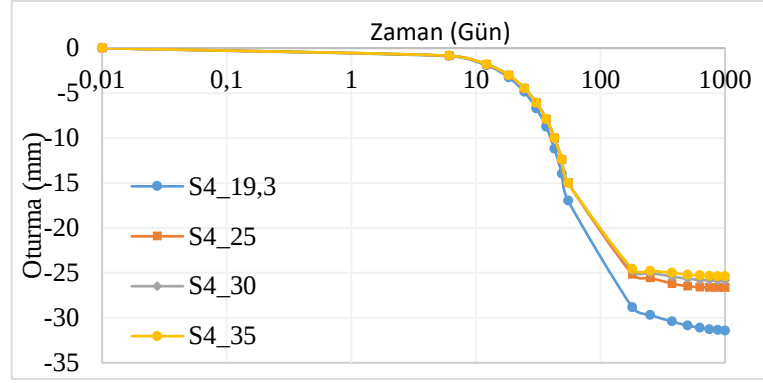


Şekil 6.109. Farklı içsel sürtünme açıları için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı



Şekil 6.110. Farklı içsel sürtünme açıları için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı

E4, E5 ve E9 noktaları için farklı yumuşak kil içsel sürtünme açısı için yapılan analizler sonucunda, yumuşak kil içsel sürtünme açısının bu noktalarda hesaplanan gerilme miktarına etkisinin oldukça az olduğu görülmüştür. Bu noktalarda 55, 180 ve 1000 gün için hesaplanan gerilme miktarı aşağıdaki Tablo 6.18’de görülmektedir.



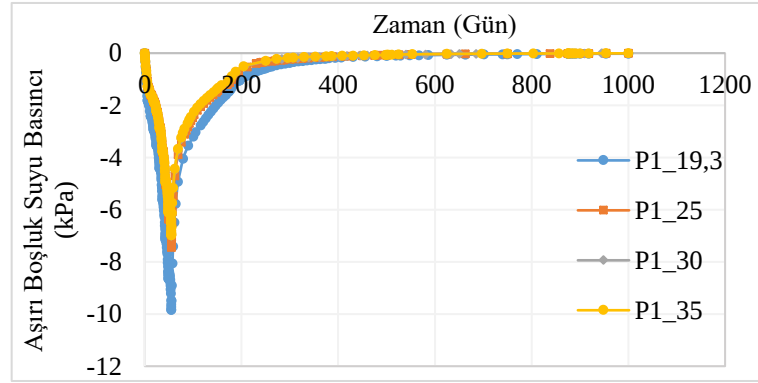
Şekil 6.111. Farklı içsel sürtünme açıları için S4 noktasında hesaplanan oturma miktarı

Tablo 6.18. E4 E5 ve E9 noktalarında farklı içsel sürtünme açıları için hesaplanan gerilmeler

Nokta	İçsel Sürtünme Açısı	55	180	1000
E4	19,3	37,8	39,5	39,2
	25	37,42	39,06	38,94
	30	37,34	38,69	38,56
	35	37,37	38,61	38,45
E5	19,3	30,1	32,7	32,9
	25	30,26	32,48	32,88
	30	30,37	32,40	32,65
	35	30,47	32,48	32,79
E9	19,3	696,56	748,37	769,52
	25	708,36	750,78	763,42
	30	707,83	748,05	759,52
	35	707,39	746,48	756

Yumuşak zemin tabakasının farklı içsel sürtünme açıları için P1 ve P2 noktalarında gelişen aşırı boşluk suyu basıncı gelişimi ve sönümlenmesi de hesaplanmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre tüm durumlarda P1 noktası için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı P2 noktasına göre daha düşüktür. Her iki noktada da hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı dolgu inşası başladıktan 55 gün sonra görülmüştür. Dolgu inşası 55. günde bittiği için bu günden sonra tüm durumlarda ve hem P1 hem de P2 noktasında azalmaya başlamıştır. P1 noktası için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı gelişimi ve sönümlenmesi aşağıdaki Şekil 6.112’de gösterilmiştir.

P1 noktasında görülen en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 19,3, 25, 30 ve 35 derecelik içsel sürtünme açıları için sırasıyla 9,85, 7,44, 7 ve 6,99 kPa olarak hesaplanmıştır.



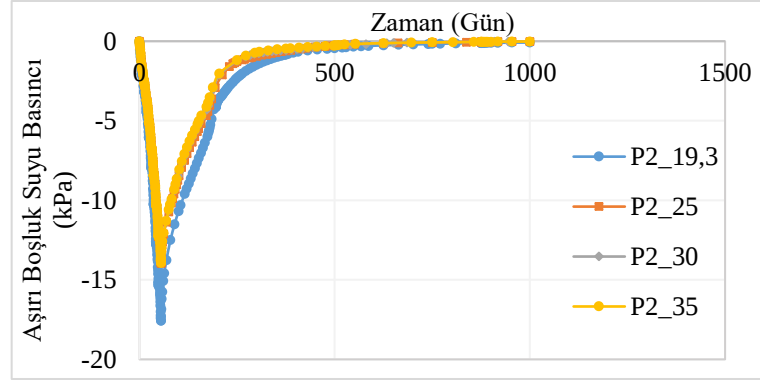
Şekil 6.112. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi

Hem Şekil 6.112'den hem de bir önceki sayfada verilen bilgilere göre içsel sürtünme basıncı arttıkça hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı azalmaktadır. Ancak meydana gelen bu azalmanın miktarı yüksek içsel sürtünme açıları arasında geçiş yaparken oldukça azalmaktadır. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenme süresi de farklı içsel sürtünme açılarına göre değişmektedir. 19,3, 25, 30 ve 35 derece içsel sürtünme basıncı için sönümlenme süreleri sırasıyla 198, 180, 176 ve 175 gün olarak hesaplanmıştır. Aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenme süresi içsel sürtünme açısı yükseldikçe birbirine yaklaşmaktadır.

Şekil 6.113'te P2 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı ve sönümlenmesi görülmektedir. P2 noktasında 55 gün sonunda hesaplanan en yüksek boşluk suyu basıncı 19,3, 25, 30 ve 35 derece içsel sürtünme açısı için sırasıyla 17,57, 13,95, 13,95 ve 13,93 kPa'dır. P2 noktasında da yüksek içsel sürtünme açıları arasında geçiş yapıldığı zaman hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncında neredeyse değişiklik olmamaktadır. Aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenme süresi ise içsel sürtünme basıncı 19,3 dereceden 30 dereceye kadar azalırken, 30 dereceden 35 dereceye çıktığı zaman değişmemektedir. Sönümlenme süresi 19,3, 25, 30 ve 35 derecelik içsel sürtünme açısı için sırasıyla 353, 300, 272 ve 272 gün olarak hesaplanmıştır.

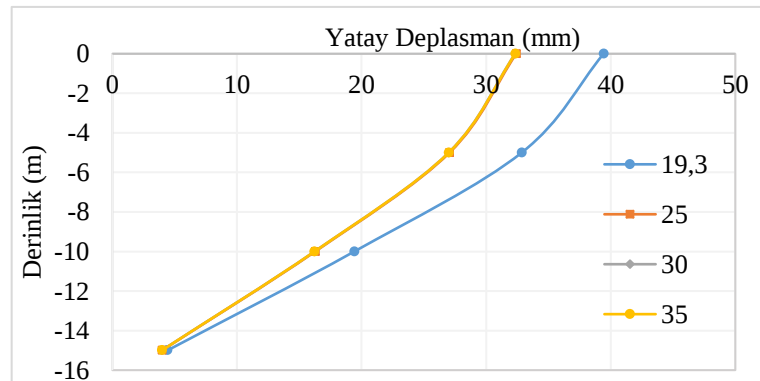
Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı ve davranışı incelendiği zaman davranışın S2 ve S3 noktası için gözlemlenen oturma davranışına oldukça benzemektedir.

Dolgu tepe noktasında en yüksek oturma miktarı 19,3 derecelik yumuşak zemin içsel sürtünme açısı ile oluşurken en düşük oturma miktarı yumuşak zemin içsel sürtünme açısının 35 derece olduğu durum için hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda 19,3, 25, 30 ve 35 derecelik yumuşak zemin içsel sürtünme açısı için hesaplanan oturma miktarı sırasıyla 99,82 mm, 82,59 mm, 81,06 mm ve 80,33 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.113. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi

Dolgu inşasından dolayı dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta hesaplanan yatay deplasmanlar da yumuşak zeminin içsel sürtünme açısından çok az etkilenmektedir. İçsel sürtünme açısı 19,3 dereceden 25 dereceye çıktığı zaman, doğal zemin yüzeyinde 55 gün sonra görülen yatay deplasman 39 mm'den 32 mm'ye düşerken, içsel sürtünme açısının daha fazla artması aynı noktada görülen yatay deplasman miktarını etkilememektedir. Benzer durum 180 ve 1000. günler için de geçerlidir. Açıklanan bu durumun daha iyi anlaşılabilmesi için yatay deplasmanın 55. günlük durumunun derinlik ile değişimi aşağıdaki Şekil 6.114'te gösterilmiştir.



Şekil 6.114. Farklı yumuşak zemin içsel sürtünme açısı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi

6.5.2. Kohezyonun etkisi

Bu bölümde yumuşak zeminin kohezyonunun dolgu davranışına olan etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu nedenle her farklı analiz için kohezyon miktarı bir miktar arttırılmıştır. Referans projede yumuşak zemin tabakası normal konsolide olduğu için kohezyon miktarı 1 kPa olarak seçilmiştir. Kohezyon etkisini ortaya koyabilmek amacıyla bu değer sırayla 4, 9 ve 13 kPa olarak kabul edilip farklı analizler yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucu, yumuşak kilin kohezyonunun artması S1, S2, S3 ve S4 noktaları için hesaplanan oturma miktarlarının azalmasına yol açmıştır. 1000 gün sonunda S1 noktasında görülen oturma miktarı 1 kPa, 4 kPa, 9 kPa ve 13 kPa kohezyon için sırasıyla 25,03, 21,86, 21,29 ve 21,02 mm olarak hesaplanmıştır. Aynı süre sonunda S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı tekrardan sırasıyla 56,33, 47,96, 46,87 ve 46,61 mm'dir. Tüm noktalar için dolgu inşasından 55, 180 ve 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarı Tablo 6.19'da verilmiştir.

Tablo 6.19. S1 S2 S3 ve S4 noktalarında 55 180 ve 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarı

	Kohezyon (kPa)	55	180	1000
S1	1	15,24	22,20	25,03
	4	13,13	19,68	21,86
	9	12,96	19,29	21,29
	13	12,87	19,56	21,02
S2	1	41,56	52,54	56,33
	4	35,69	45,38	47,96
	9	35,27	44,60	46,87
	13	35,03	45,15	46,61
S3	1	65,85	85,04	89,14
	4	55,75	72,72	75,14
	9	54,61	71,26	73,13
	13	53,87	72,28	72,86
S4	1	16,97	28,83	31,44
	4	14,95	25,99	27,94
	9	14,80	25,85	27,45
	13	14,69	27,03	27,43

Farklı kohezyon değerleri için E4, E5 ve E9 noktalarında oluşan gerilmeler incelendiği zaman yumuşak kil tabakasının kohezyon miktarı arttığı zaman, bu noktalarda hesaplanan gerilmelerin hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmeler aşağıdaki Tablo 6.20'de görülebilmektedir.

Tablo 6.20. E4 E5 ve E9 noktalarında 55 180 ve 1000 gün sonra hesaplanan gerilmeler

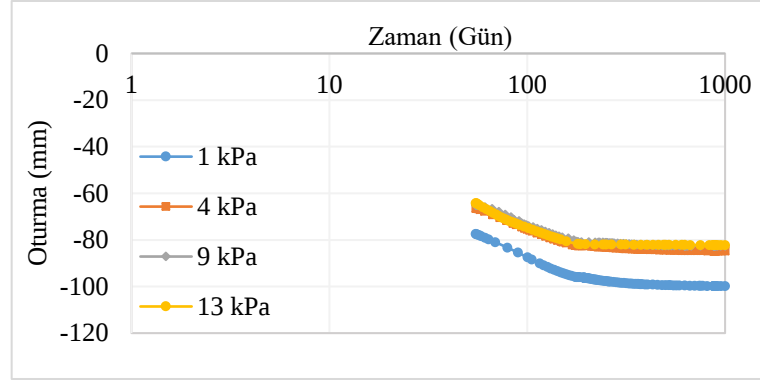
	Kohezyon (kPa)	55	180	1000
E4	1	37,7	39,5	39,2
	4	37,31	39,13	38,88
	9	36,94	38,42	38,24
	13	37,08	37,98	37,92
E5	1	30,1	32,7	32,9
	4	30,13	32,69	32,93
	9	30,48	32,71	33,05
	13	31,04	32,75	33,19
E9	1	696,56	748,37	769,52
	4	710,56	754,79	769,63
	9	709,48	751,14	762,85
	13	707,82	747,36	757,97

Tablo 6.20’den görülebileceği üzere tüm farklı kohezyon değerlerinde E4 noktasında 1000 gün sonunda ortalama olarak 38,56 kPa iken, aynı süre sonunda E5 noktasında ortalama 33,02 kPa ve E9 noktasında 765 kPa’dır.

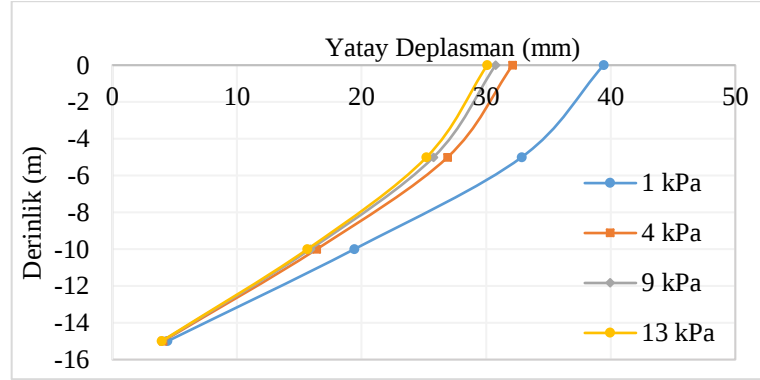
Kohezyon miktarının yumuşak zeminde meydana getirdiği boşluk suyu basıncı incelendiği zaman, kohezyon artışının ilk aşamasında boşluk suyu basıncında hem P1 hem de P2 noktasında azalma meydana gelirken, kohezyon değeri daha fazla arttığı zaman meydana gelen değişim miktarı oldukça düşüktür. P1 noktasında 55 gün sonunda görülen en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 1, 4, 9 ve 13 kPa kohezyon için sırasıyla 9,85 kPa, 7,71 kPa, 7,48 kPa ve 7,30 kPa olarak hesaplanırken, P2 noktasında aynı süre sonunda sırasıyla 17,57 kPa, 14,82 kPa, 14,27 kPa ve 14,32 kPa olarak hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinin orta noktasında meydana gelen oturma miktarı farklı kohezyon değerleri için incelendiği zaman davranış biçimi boşluk suyu basıncında görülenle benzer olduğu ortaya konulmuştur. Kohezyonda meydana gelen ilk artış oturma miktarını belirgin ölçüde azaltır iken, kohezyon miktarının daha fazla artırılması sonrası görülen fark oldukça azdır. Bu durum aşağıdaki Şekil 6.115’ten görülebilmektedir. 1 kPa, 4 kPa, 9 kPa ve 13 kPa kohezyon değeri için 1000 gün sonunda hesaplanan yüzey oturma miktarı sırasıyla 99,82, 84,71, 82,52 ve 82,22 mm’dir.

Yumuşak kil tabakasında meydana gelen kohezyon artışının, dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta meydana gelen yatay deplasmana etkisine bakıldığı zaman, artan kohezyon değerlerinin hesaplanan yatay deplasman değerlerini özellikle zemin

yüzeyinde azalmasına neden olduğu görülmüştür. Hesaplanan yatay deplasmanın 55 gün sonunda derinliğe bağlı değişimi aşağıdaki Şekil 6.116’da görülmektedir. 55 gün sonunda zemin yüzeyinde 1 kPa, 4 kPa, 9 kPa ve 13 kPa kohezyon değerleri için hesaplanan yatay deplasman sırasıyla 39,43, 32,13, 30,76 ve 30,08 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu yatay deplasman miktarı derinlik ile birlikte azalmaktadır.



Şekil 6.115. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı kohezyon değerine ve zamana bağlı değişimi



Şekil 6.116. Farklı yumuşak zemin kohezyon değeri için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi

6.5.3. Yumuşak zemin rijitliğinin davranışa olan etkisi

Bu bölümde oturmanın asıl kaynaklandığı tabaka olan yumuşak kil tabakasının rijitliğinin genel davranışa olan etkisi araştırılmıştır. Bu nedenle bu tabakanın oturma davranışını sonlu elemanlar programında kontrol eden üç farklı rijitlik katsayısı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile çözümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan rijitlik katsayıları 0,025, 0,05 ve 0,069'tir. Bu katsayının büyümesi yumuşak zeminin katılaştığı anlamına gelmemektedir. Aksine bu katsayı büyüdükçe zemin yumuşaklığı artmaktadır.

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında farklı yumuşak zemin rijitliği için meydana gelen değişimler incelendiği zaman, zemin rijitliği arttıkça görülen oturma miktarı hem kazıklarda hemde zemin yüzeyinde azalmıştır. 1000 gün sonunda 0,025, 0,05 ve 0,069 rijitlik katsayısı için S1 noktasında görülen oturma miktarı sırasıyla, 19,99, 21,46 ve 25,03 mm olarak hesaplanmıştır. Diğer noktalar ile birlikte 55, 180 ve 1000 günler sonunda hesaplanan oturma miktarı aşağıdaki Tablo 6.21’de görülmektedir.

Tablo 6.21. S1 S2 S3 ve S4 noktalarında 55 180 ve 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarı

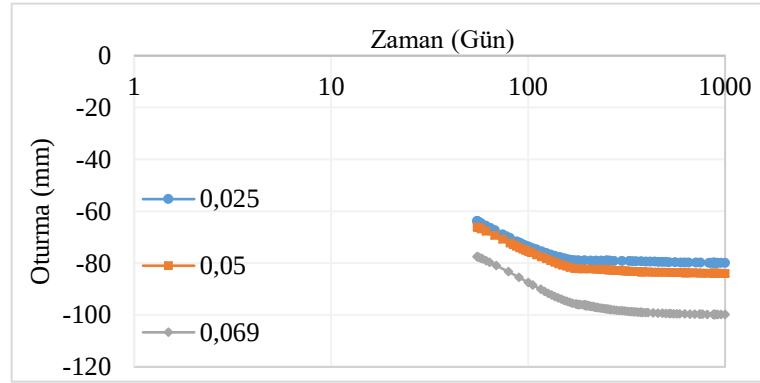
	Rijitlik Katsayısı	55	180	1000
S1	0,025	12,22	18,53	19,99
	0,05	12,92	19,53	21,46
	0,065	15,24	22,20	25,03
S2	0,025	34,61	43,62	45,20
	0,05	35,57	45,24	47,52
	0,065	41,56	52,54	56,33
S3	0,025	53,54	69,41	70,35
	0,05	55,49	72,41	74,30
	0,065	65,85	85,04	89,14
S4	0,025	14,01	24,58	25,34
	0,05	14,67	25,71	27,11
	0,065	16,97	28,83	31,44

E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelere bakıldığında zaman, zemin rijitliğinin bu noktalara gelen gerilmelere bir etkisi olmadığı görülmektedir. E4 noktasında 1000 gün sonunda hesaplanan gerilmeler 37,52, 38,36 ve 39,2 kPa iken E5 noktasında 33,53, 33,14 ve 32,9 kPa, E9 noktasında 763,05, 769,64 ve 769,52 kPa’dır. Hesaplanan gerilmeler arasında çok küçük farklar olmasına rağmen, görülen en büyük fark %4,29 olarak hesaplanmıştır. Bu değer ise oldukça düşük olduğu için ihmal edilebilir bir yüzdendir.

P1 noktasında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı üç farklı durum için 0,025, 0,05 ve 0,069 rijitlik katsayısı için sırasıyla 7,20, 7,64 ve 9,85 kPa olarak hesaplanmıştır. P2 noktasında aynı rijitlik katsayısı için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı ise sırasıyla 14,31 kPa, 14,81 kPa ve 17,57 kPa olarak bulunmuştur. Oluşan bu aşırı boşluk suyu basıncının sönmelenmesi için geçen süreler ise yine sırasıyla P1 noktasında yaklaşık olarak 173 gün, 180 gün ve 197 gün olarak hesaplanırken, P2 noktasında 260 gün, 303 gün ve 353 gün olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan görülmektedir ki, zemin

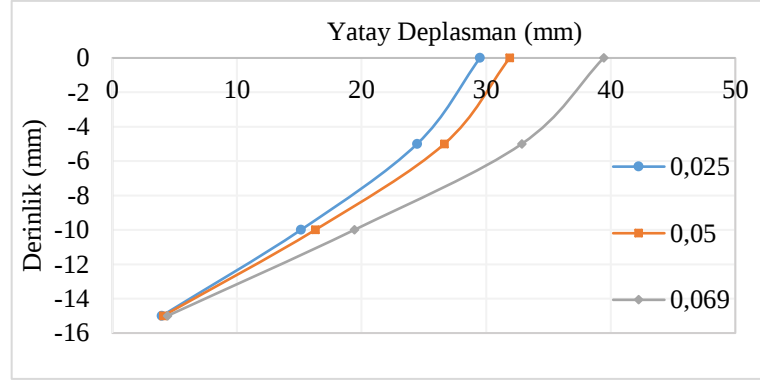
yumuşaklığı arttıkça hem oluşan aşırı boşluk suyu basıncı hem de aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için geçen süre artmaktadır.

Dolgu yüzeyindeki meydana gelen oturma miktarları incelendiği zaman görülmektedir ki yumuşak zemin katılığı arttıkça, dolgu yüzeyinde görülen oturma miktarının azalmaktadır. 0,025, 0,05 ve 0,069 rijitlik katsayısı için 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı sırasıyla 79,91, 83,97 ve 99,82 mm olarak hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı ve zamanla değişimi aşağıdaki Şekil 6.117’de görülmektedir.



Şekil 6.117. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı rijitlik değerine ve zamana bağlı değişimi

Farklı yumuşak zemin katsayılarından dolayı, dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta hesaplanan yatay deplasman miktarı incelendiği zaman görülmektedir ki, oluşan yatay deplasman miktarı, değişen rijitlik katsayısıyla birlikte artmakta veya azalmaktadır. Aşağıdaki Şekil 6.118’de yatay deplasmanın derinliğe bağlı olarak değişimi görülmektedir. 0,069 rijitlik katsayısı için yüzeyde 55 gün sonununda hesaplanan yatay deplasman miktarı 39,43 mm iken, 0,025 rijitlik katsayısı için hesaplanan yatay deplasman miktarı 29,51 mm’dir. Hesaplanan yatay deplasman miktarı Şekil 6.118’den de görülebileceği üzere derinlikle birlikte azalmaktadır. 15 metre derinlikte 0,069 katsayısı için hesaplanan yatay deplasman miktarı 4,43mm iken 0,025 rijitlik katsayısı için hesaplanan yatay deplasman miktarı 3,97 mm’dir.



Şekil 6.118. Farklı yumuşak zemin rijitlik katsayısı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi

6.5.4. Yumuşak zemin tabaka kalınlığının davranışa olan etkisi

Bu bölümde yumuşak zemin tabaka kalınlığı değişiminin kazıkla desteklenmiş donatılı dolgunun davranışına olan etkisi incelenmiştir. Bu nedenle yumuşak zemin tabakasının kalınlığı değiştirilirken kazık boyu 16 metre olarak sabit tutulmuştur. Çalışma sırasında tabaka kalınlığı 6, 10,2, 13,2 ve 20,2 metre olarak değiştirilmiştir. Tabaka kalınlığı yukarıdaki değerler arasında değiştirilip kazık boyu sabit tutulduğu için, kullanılan kazıklar kimi zaman sürtünme kazığı olarak çalışırken, kimi zaman da uç kazığı olarak çalışmıştır. Bu nedenle tabaka kalınlığına bağlı olarak görülen en yüksek oturma, gerilme ve boşluk suyu basıncı ile yatay deplasmanın oluşumu ve zamanla değişiminde büyük farklılıklar gözlemlenmiştir.

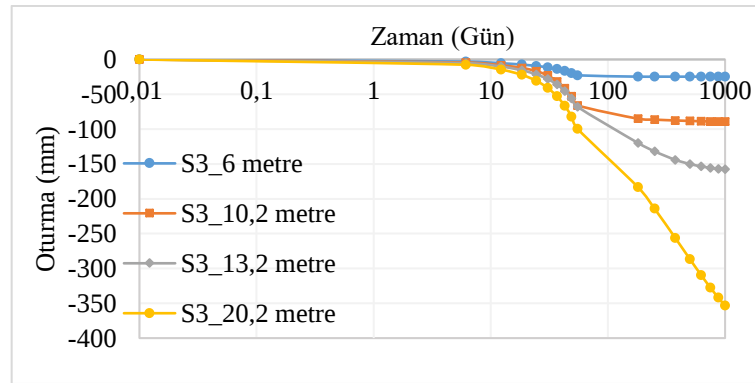
Aşağıda ki Tablo 6.22’de S1, S2, S3 ve S4 noktalarında farklı yumuşak zemin tabaka kalınlıkları ve günler için hesaplanan oturma miktarları verilmiştir. Tablo 6.22’den görülebileceği üzere en yüksek oturma miktarı 1000 gün sonunda S3 noktasında 353,46 mm olarak hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük oturma miktarı ise 3,17 mm ile S1 noktasında hesaplanmıştır. Hesaplanan en yüksek oturma tabaka kalınlığının 20,2 metre olduğu durumda hesaplanırken, en düşük oturma ise tabaka kalınlığının 6 metre olduğu durumda hesaplanmıştır.

Tabaka kalınlığının artıp kazıkların uç kazığından sürtünme kazığı durumuna geçtiği zaman görülen oturma miktarı oldukça artmaktadır. Ayrıca kazıklar uç kazığı olarak kullanıldığı zaman bile, kazıkların sağlam tabakaya girme miktarına göre hesaplanan oturma miktarı oldukça değişmektedir. Bu durum aşağıdaki Şekil 6.119’da görülmektedir. Şekil 6.119’dan görülebileceği üzere, tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman oturma eğrisinin eğimi tabaka kalınlığı 6 metre olduğu durumdaki gibi sıfır

değildir. Bu nedenle bu noktada 1000 gün sonunda oturmanın henüz tamamlanmadığı söylenebilmektedir.

Tablo 6.22. S1 S2 S3 ve S4 noktalarında 55 180 ve 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarları

Oturma Noktası	Tabaka Kalınlığı	55	180	1000
S1	6 metre	3,04	3,15	3,17
	10,2 metre	15,24	22,20	25,03
	13,2 metre	31,78	58,11	90,55
	20,2 metre	43,27	79,37	193,33
S2	6 metre	25,83	27,89	27,98
	10,2 metre	41,56	52,54	56,33
	13,2 metre	54,65	86,61	120,85
	20,2 metre	75,12	120,89	247,96
S3	6 metre	22,80	24,67	24,70
	10,2 metre	65,85	85,04	89,14
	13,2 metre	68,07	119,75	157,64
	20,2 metre	99,56	183,17	353,46
S4	6 metre	3,45	3,77	3,77
	10,2 metre	16,97	28,83	31,44
	13,2 metre	44,36	95,35	131,84
	20,2 metre	72,36	156,21	326,09



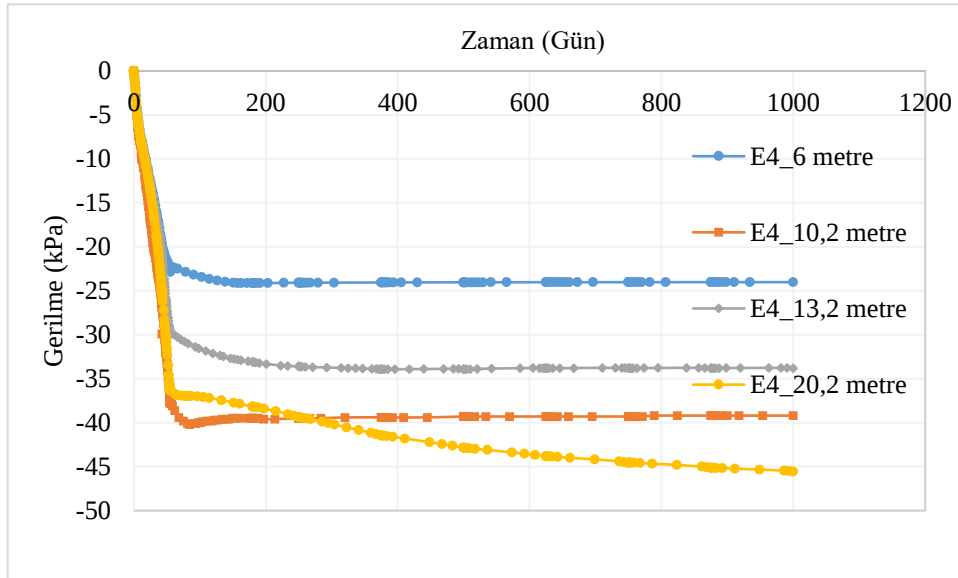
Şekil 6.119. Farklı tabaka kalınlıkları için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı

Farklı tabaka kalınlığının E4 noktasında ölçülen gerilme miktarına olan etkisi incelendiği zaman Şekil 6.120'deki grafik elde edilmektedir. Bu grafikten görülebileceği üzere, yumuşak zemin tabaka kalınlığı arttıkça, E4 noktası için hesaplanan gerilme miktarı artmaktadır. Ayrıca, tabaka kalınlığının 20,2 metre olduğu durumda gerilme artışı diğer durumların aksine 180 günden sonra da devam etmektedir.

E5 noktası için hesaplanan gerilme davranışı incelendiği zaman ise tabaka kalınlığı artarken bu noktada hesaplanan gerilme miktarının da arttığı görülmektedir. Ancak

tabaka kalınlığının 20,2 metre olduğu durumda hesaplanan gerilme miktarı en düşük gerilme durumuna düşmektedir. E5 noktasında gözlemlenen bu gerilme davranışı aşağıdaki Şekil 6.121’de görülmektedir.

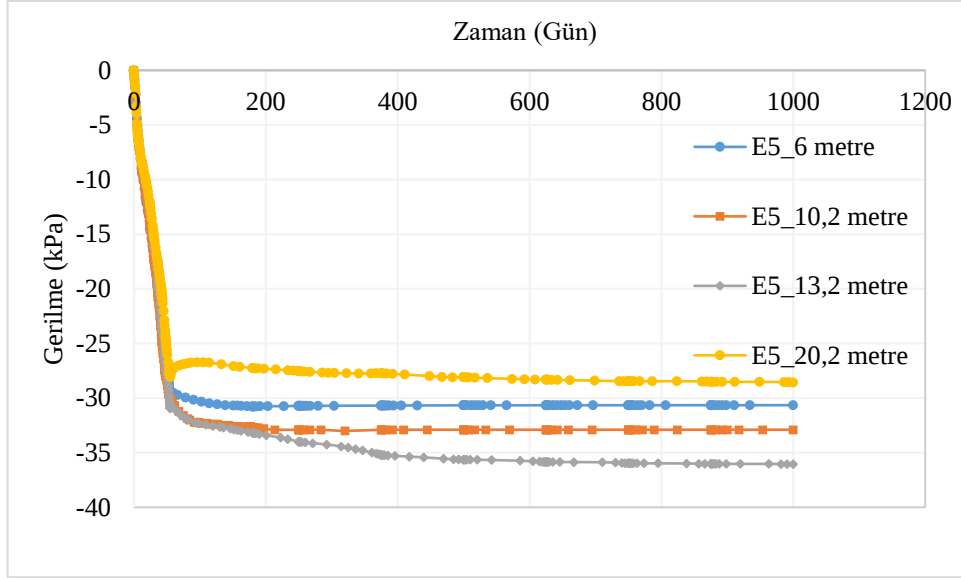
E9 noktasında farklı tabaka kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı en düşük gerilme miktarı 769,52 kPa en yüksek gerilme miktarı ise 812,74 kPa’dır. Bu noktada hesaplanan gerilme büyüklüğü uç kazığı ile sürtünme kazığı için farklı olmaktadır. Uç kazığında görülen en yüksek gerilme 783,49 kPa iken sürtünme kazığında görülen en büyük gerilme 812 kPa’dır. Hesaplanan bu gerilmeler yumuşak tabaka kalınlığının 6 metre ve 13,2 metre olduğu durumlarda hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre, yumuşak tabaka kalınlığı arttıkça, iki tip kazık çalışma mekanizmasında da hesaplanan gerilme azalmaktadır.



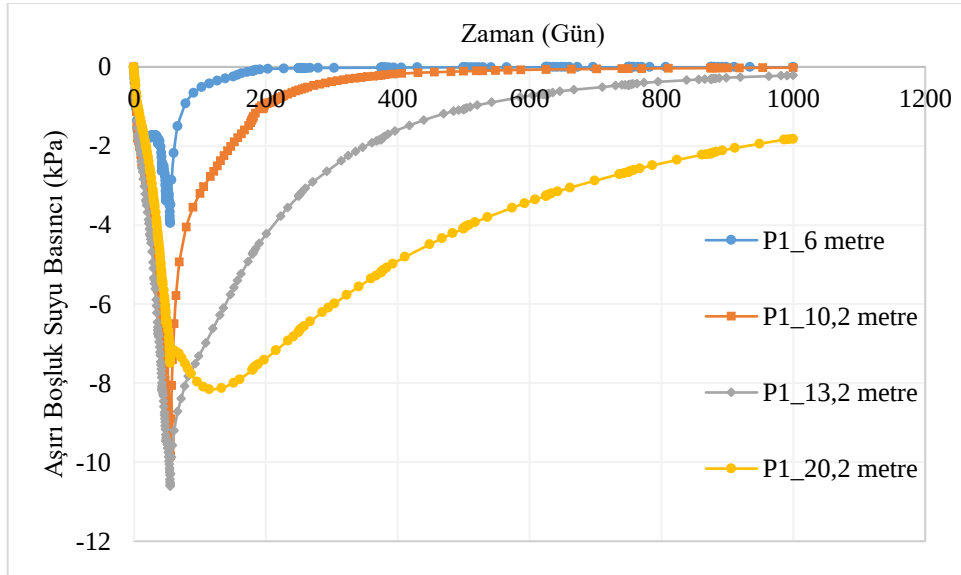
Şekil 6.120. E4 noktasında farklı yumuşak zemin kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı

P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı incelendiği zaman, bu noktalarda görülen aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu ve sönümlenmesi yumuşak zemin tabaka kalınlığının değişmesi ile birlikte değişmektedir. P1 noktası için hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 10,61 kPa ile yumuşak zemin kalınlığının 13,2 metre olduğu durumda hesaplanırken, en düşük aşırı boşluk suyu basıncı 3,95 kPa olarak yumuşak zemin tabaka kalınlığının 6 metre olduğu durum için hesaplanmıştır. Aşırı boşluk suyu basıncının en yüksek olması beklenen yumuşak zemin tabaka kalınlığının 20,2 metre olduğu durumda P1 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı 7,48 kPa olarak ölçülmüştür. Bu değer tabaka kalınlığının 13,2 metre olduğu duruma göre daha

düşük olmasına rağmen, bu aşırı boşluk suyu basınçlarının sönümlenme süreleri oldukça farklıdır. P1 noktasında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının davranışı aşağıdaki Şekil 6.122’de görülmektedir. P1 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi incelendiği zaman görülmektedir, en uzun sönümlenme süresi 1000 günden fazla olarak yumuşak tabaka kalınlığının 20,2 metre olduğu durumdur.



Şekil 6.121. E5 noktasında farklı yumuşak zemin kalınlığı için hesaplanan gerilme miktarı

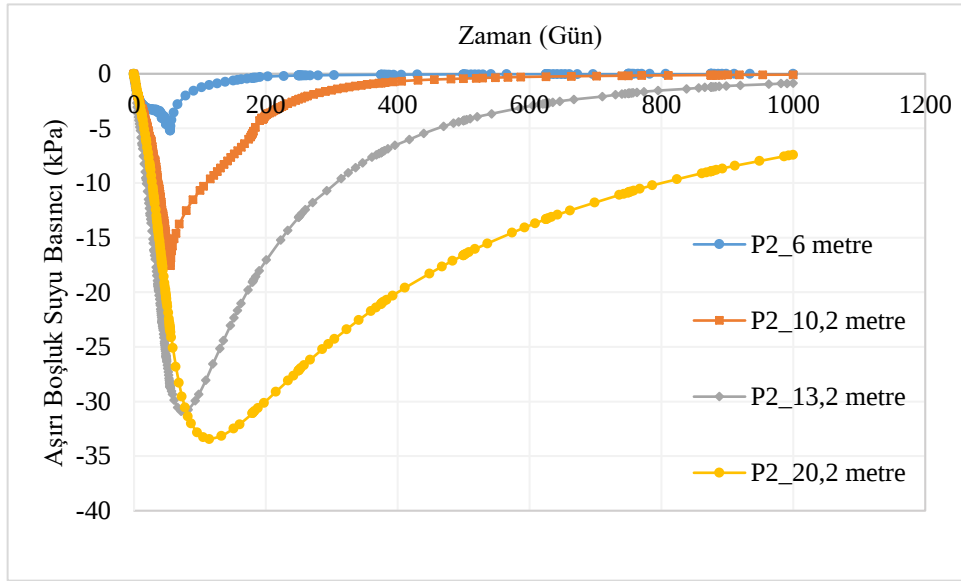


Şekil 6.122. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi

Yumuşak tabaka kalınlığının 20,2 metre olduğu durumda sönümlenme süresinin tam olarak hesaplanamamasının sebebi, yapılan analiz süresinin 1000 gün ile

sınırlandırılmasından kaynaklanmaktadır. Yumuşak zemin tabaka kalınlığının 6 metre, 10,2 metre ve 13,2 metre olduğu durumlarda oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için geçmesi gereken süreler sırasıyla yaklaşık olarak 78, 193 ve 510 gün olarak hesaplanmıştır.

P2 noktasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı ve sönümlenme davranışı Şekil 6.123'te görülmektedir.



Şekil 6.123. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi

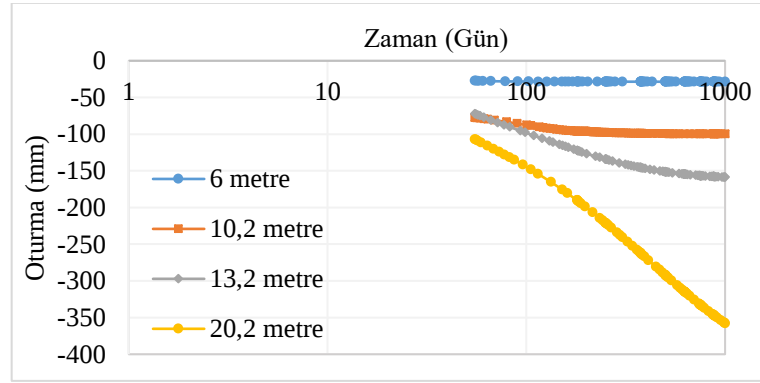
P2 noktasında oluşan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 33,44 kPa ile yumuşak zemin tabakasının 20,2 metre olduğu durumda hesaplanmıştır. En düşük aşırı boşluk suyu basıncı ise 5,18 kPa ile yumuşak zemin tabakasının 6 metre olduğu durumda hesaplanmıştır. Oluşan bu aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için geçmesi gereken süre ise yumuşak zemin tabakasının 6 metre, 10,2 metre ve 13,2 metre olduğu durumlar için sırasıyla 114, 353 ve 962 gün olarak hesaplanmıştır. Yumuşak zemin tabakasının 20,2 metre olduğu durumda aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için geçmesi gereken süre analiz süresi 1000 gün ile sınırlı olduğu için hesaplanamamıştır.

Tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman, hem P1 noktasında hem de P2 noktasında oluşan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı diğer durumlarda olduğu gibi 55. günde değil 114. günde görülmüştür.

Dolgu yüzeyinde görülen oturma miktarı incelendiği zaman, en yüksek oturma miktarının 357,89 mm ile yumuşak zemin tabakasının 20,2 metre olduğu zaman

hesaplanırken, en düşük oturma miktarı 28,54 mm ile yumuşak zemin tabakasının 6 metre olduğu durumda hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinde görülen oturma davranışı aşağıdaki Şekil 6.124'te görülmektedir.

Hem aşırı boşluk suyu basıncı davranışından, hemde Şekil 6.122'den görülebileceği üzere, yumuşak zemin tabaka kalınlığının 20,2 metre olduğu zaman oturma miktarının henüz tamamlanmadığı görülebilmektedir.

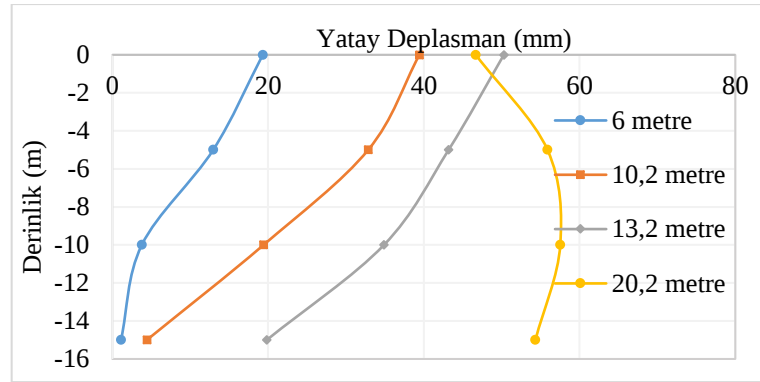


Şekil 6.124. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı yumuşak zemin kalınlığı ve zamana bağlı değişimi

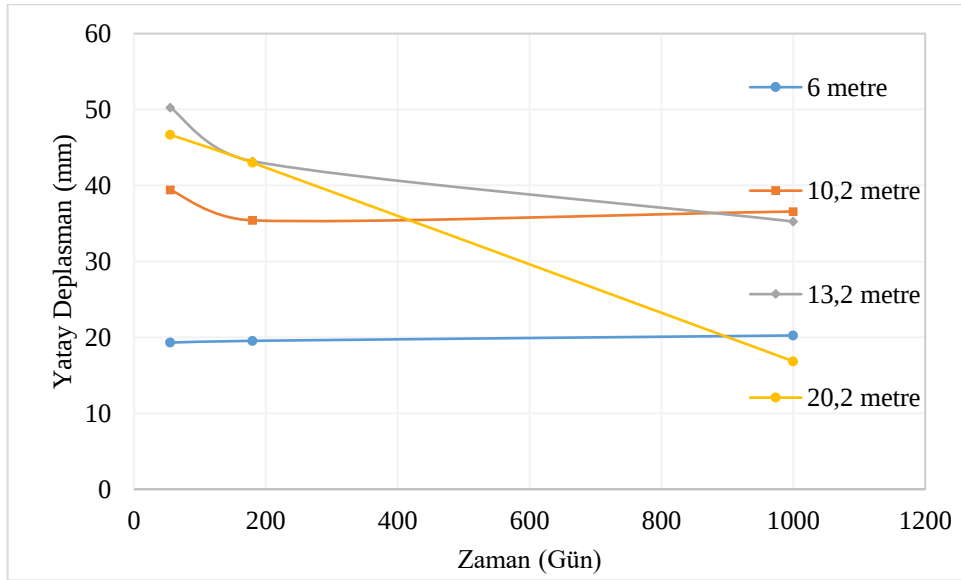
Yumuşak zemin tabaka kalınlığının, dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta meydana gelen yatay deplasmanların değişimine etkisi aşağıdaki Şekil 6.125'te görülmektedir. Şekil 6.125'ten yumuşak zemin tabaka kalınlığına bağlı olarak iki farklı davranış şekli görülmektedir. Birinci tip davranış şekli yumuşak zemin tabaka kalınlığının 6, 10,2 ve 13,2 metre olduğu durumlarda görülürken, ikinci tip davranış yumuşak zemin tabaka kalınlığının 20,2 metre olduğu durumda görülmüştür. Birinci tip davranışta, bu noktada görülen yatay deplasman artan derinlik ile azalırken, ikinci tip davranışta, yatay deplasman derinlik ile öncelikle artarken 10 metre derinlikten sonra azalmıştır.

Doğal zemin yüzeyinde 55 gün sonunda görülen en yüksek yatay deplasman 50,28 mm ile yumuşak zemin tabaka kalınlığı 13,2 metre olduğu zaman görülürken, en düşük yatay deplasman 19,32 mm ile yumuşak zemin tabaka kalınlığı 6 metre olduğu zaman görülmektedir. Bu tabaka kalınlıkları için hesaplanan en düşük yatay deplasman miktarı 15 metre derinlikte ve sırasıyla 19,83 mm ve 1,11 mm'dir. Ancak yumuşak zemin tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman -15 metrede hesaplanan yatay deplasman miktarı 55 gün sonunda 54,33 mm'dir.

Doğal zemin yüzeyinde hesaplanan yatay deplasmanın zamanla değişiminde de dört farklı davranış şekli görülmektedir. Birinci tip davranış yumuşak zemin tabaka kalınlığının 6 metre olduğu durumda, ikinci tip davranış yumuşak zemin tabaka kalınlığının 10,2 metre olduğu zaman, üçüncü tip davranış yumuşak zemin tabaka kalınlığının 13,2 metre olduğu zaman, dördüncü tip davranış tabaka kalınlığının 20,2 metre olduğu zaman görülmektedir. Bu davranış şekli aşağıdaki Şekil 6.126'da görülmektedir.



Şekil 6.125. Farklı yumuşak zemin tabaka kalınlığı için hesaplanmış yatay deplasman ve derinlik ile değişimi



Şekil 6.126. Farklı yumuşak zemin tabaka kalınlığı için hesaplanmış yatay deplasmanın zaman bağlı değişimi

Birinci tip davranışta, hesaplanan yatay deplasman miktarı zamanla artmaktadır. İkinci tip davranışta ise, hesaplanan yatay deplasman miktarı 55 ile 180 günler arasında

azalırken geçen günler sonucunda artması, üçüncü tip davranışta ise hesaplanan yatay deplasman miktarı 55 ile 180 günler arasında hızla azalırken, 180 günden sonra yatay deplasman miktarının azalma hızı yavaşlamaktadır. Dördüncü tip davranışta ise yatay deplasmanda görülen azalma geçen zamanla birlikte neredeyse doğrusal olmasıdır.

6.6. Dolgu Üzerine Etkiyen Trafik Yükünün Davranışa Olan Etkisi

Karayolu ve demiryolu dolguları inşa edildikten bir süre sonra kullanıma açılmaktadır. Karayolu dolgusunda, dolgu üzerine ek olarak etkiyen yük literatürde standart olarak 12 kPa olarak kabul edilmiştir. Bu değer Bousinesq gerilme dağılımı teoremi ile hesaplanmıştır. Bu nedenle farklı dingil ağırlıkları için Bousinesq gerilme dağılımı teoremleri kullanılarak farklı ilave trafik yükleri hesaplanabilir. Bu çalışmada literatürde standart olarak kabul edilen 12 kPa'lık trafik yükü dolgu üst yüzeyine uygulanmıştır. Uygulanan bu yük, kazık destekli donatılı dolgu inşasının bittiği 180. gün sonunda etkililmiş ve 1000 sonuna kadar olan etkisi incelenmiştir. Farklı kazık boyu ve benzeri gibi parametrelerin etkilerini gözlemlemek için trafik yükü altında da parametrik çalışma yapılmıştır. Parametrik çalışmada değiştirilen parametreler aşağıdaki Tablo 6.23'te verilmiştir.

Bu parametreler değiştirilerek yapılan sonlu eleman analizleri ile kazık ve zemin yüzeyinde meydana gelen oturma miktarlarının değişimi, kazık ve zemin üzerinde hesaplanan gerilme miktarındaki farklılıklar, yumuşak zemin tabakasının farklı noktalarında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı, dolgu üst yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı ile birlikte yatay deplasman miktarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Daha sonra ise, elde edilen sonuçlar, trafik yükünün yarattığı etkiyi görebilmek açısından, aynı parametrelerin kullanıldığı trafik yükünün uygulanmadığı sonlu elemanlar analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Bu bölüm için yapılan analizler Plaxis v.8'de 18 adımda modellenmiştir. Bu adımlardan ilk 9 adedi dolgu inşasının modellenmesi için kullanılmıştır. Daha sonraki adımlar ise inşa süresi 55 gün olan dolgu'yu bu çalışmadaki sınır olan 1000 güne taşıyabilmek için eklenmiştir. 18 adımdan 17 tanesinin hesaplama şekli konsolidasyon olarak seçilmiştir. Geriye kalan bir adımda ise plastik analiz yapılmıştır. Plastik analiz kullanılan adım 180. günde trafik yükünü uygulayabilmek için yapılmıştır. Bu şekilde etkiyen trafik yükünün aynı gün içerisinde dolguya uygulanması sağlanmıştır.

Tablo 6.23. Parametrik çalışma için kullanılan parametreler

Kazık	Elastisite Modülü	5 Gpa
		20 Gpa
		35 Gpa
	Çap	0,5 Metre
		1 Metre
		1,5 Metre
	Boy	12 Metre
		16 Metre
		20 Metre
Donatı	Donatı Sayısı	2 Adet
		3 Adet
	Donatı Rijitliği	1180 kN/m
		4000 kN/m
		10000 kN/m
Granuler Malzeme	İçsel Sürtünme Açısı	43 Derece
		50,5 Derece
Dolgu	İçsel Sürtünme Açısı	28 Derece
		40 Derece
	Elastisite Modülü	20000 kN/m
		33000 kN/m
		37000 kN/m
Yumuşak Kil	İçsel Sürtünme Açısı	19,3 Derece
		30 Derece
		35 Derece
	Kohezyon	1 kPa
		4 kPa
		13 kPa
	Rijitlik Katsayısı	0,025
		0,069
	Tabaka Kalınlığı	6 Metre
		10,2 Metre
		20,2 Metre

6.6.1. Kazık özelliklerinin etkisi

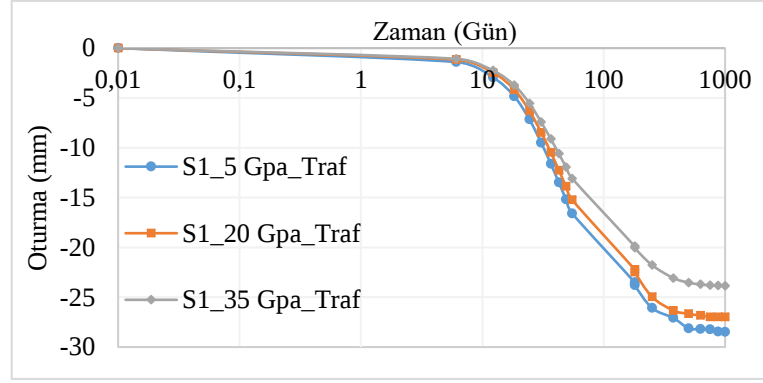
Bu bölümde farklı kazık elastisite modülü, farklı kazık çapı ve boyunun dolgu davranışına etkisi incelenmiştir. Bu bölümde kazık elastisite modülü olarak 5 GPa, 20 GPa ve 35 GPa göz önüne alınırken, 0,5 metre 1 metre ve 1,5 metre kazık çapları göz önüne alınmıştır. Kazık boyu ise 12 metre, 16 metre ve 20 metre olarak modellenip davranış şekli incelenmiştir.

6.6.1.1. *Farklı kazık elastisite modülünün etkisi*

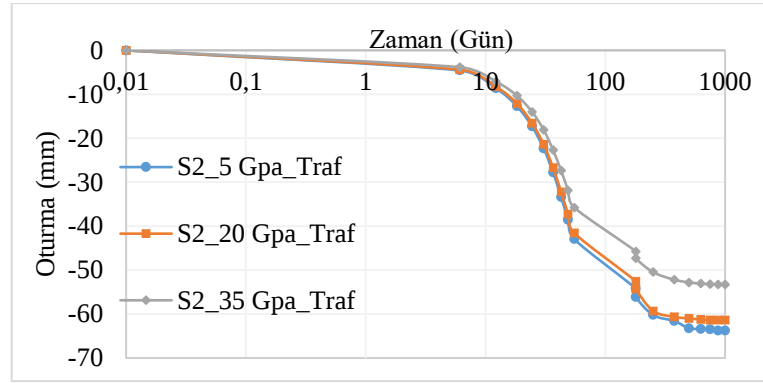
Farklı elastisite modüllerinin dolgu davranışına etkisi incelenirken ilk olarak S1, S2, S3 ve S4 noktaları için hesaplanan oturma miktarlarına bakılacaktır. Bu noktalar için hesaplanan oturma miktarı her bir elastisite modülü için grafiksel olarak incelenecektir. İlk olarak S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı aşağıdaki Şekil 6.127’de görülmektedir.

Şekil 6.127’den de görülebileceği üzere en yüksek oturma miktarı, göz önüne alınan en düşük elastisite modülü olan 5 GPa için hesaplanmışken, en düşük oturma miktarı göz önüne alınan en yüksek elastisite modülü olan 35 GPa için hesaplanmıştır. Dolgu inşası 55 gün sonunda bittikten hesaplanan oturma miktarı 5 GPa, 20 GPa ve 35 GPa için sırasıyla 16,59 mm, 15,23 mm ve 13,09 mm’dir. Ancak zaman geçtikçe hesaplanan oturma miktarı artmaktadır. 180 güne gelindiği zaman ancak henüz trafik yükü etkimeydiği zaman hesaplanan oturma miktarı aynı sıralamayla, 23,51 mm, 22,22 mm ve 19,88 mm olarak hesaplanmıştır. Trafik yükünün etkimesinin hemen ardından hesaplanan oturma miktarı 23,78 mm, 22,47 mm ve 20,05 mm’ye yükselmiştir. 1000 gün sonunda S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı ise sırasıyla 28,48 mm, 26,97 mm ve 23,85 mm olarak hesaplanmıştır.

S2 noktasındaki davranış incelendiği zaman ise görülmektedir ki 55 gün sonunda 5 GPa, 20 GPa ve 35 GPa için sırasıyla 42,96 mm, 41,57 mm ve 35,77 mm olarak ölçülmüştür. 180 gün sonunda ise hesaplanan oturma miktarları tekrar aynı sıralamayla, 54,25 mm, 52,58 mm ve 45,78 mm olarak hesaplanmıştır. S2 noktasındaki genel davranış ise Şekil 6.128’de görülmektedir.

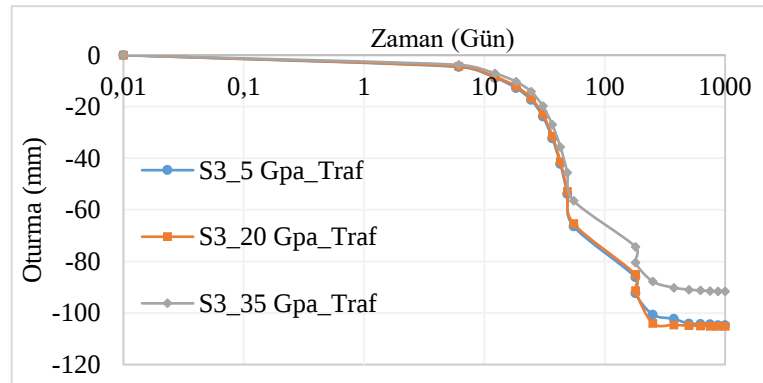


Şekil 6.127. Trafik yükü altında farklı elastisite modülleri için S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı ve zamanla değişimi



Şekil 6.128. Trafik yükü altında farklı elastisite modülleri için S2 noktasında hesaplanan oturma miktarı ve zamanla değişimi

180. günde trafik yükünün etkimesiyle birlikte hesaplanan oturma miktarları 5 GPa, 20 GPa ve 35 GPa için 56,11 mm, 54,28 mm ve 47,28 mm'ye çıkmaktadır. 1000 gün sonunda ise hesaplanan oturma miktarları sırasıyla 63,79 mm, 61,40 mm ve 53,29 mm olmaktadır.

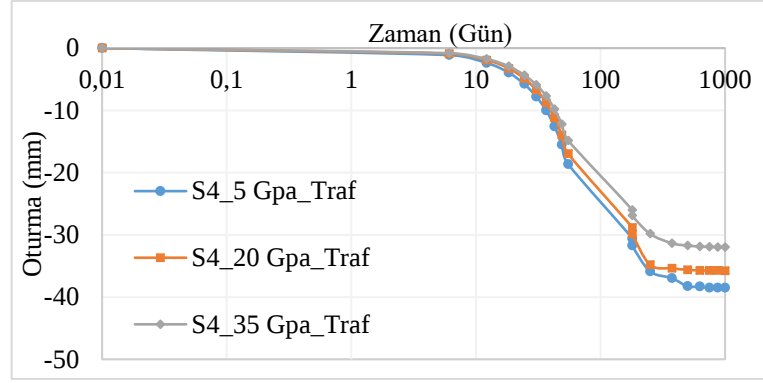


Şekil 6.129. Trafik yükü altında farklı elastisite modülleri için S3 noktasında hesaplanan oturma miktarı ve zamanla değişimi

S3 noktası incelendiği zaman ise görülen oturma miktarı S2 noktasına göre artmaktadır. Bunun sebebi ise S3 noktasının dolgu merkezine daha yakın iken, S2 noktası dolgu topuğuna daha yakındır. S3 noktasında görülen oturma miktarının zaman ve farklı elastisite modülü ile birlikte değişimi yukarıdaki Şekil 6.129’da görülmektedir. Şekil 6.129 incelendiği zaman, S3 noktasında trafik yükünden dolayı 180. günde ortaya çıkan oturma miktarındaki artışın belirginleştiği görülmektedir. S3 noktasında 55 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı 5 GPa, 20 GPa ve 35 GPa için sırasıyla, 66,34 mm, 65,32 mm ve 56,43 mm’dir. Dolgu inşası bittikten hemen sonra bu oturma miktarları 86,15 mm, 85,04 mm ve 74,32 mm olmaktadır. Trafik yükü dolguya etkideğinde ise hesaplanan oturma miktarı 92,4 mm, 91,31 mm ve 80,48 mm olmaktadır. 1000 gün sonunda ise oturma miktarları 5 GPa, 20 GPa ve 35 GPa için 104,75 mm, 105,14 mm ve 91,57 mm olmaktadır.

S4 noktasında gözlemlenen oturma miktarı ve zamanla değişimi aşağıdaki Şekil 6.130’da verilmiştir. Bu noktada 55 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı 5 GPa, 20 GPa ve 35 GPa için sırasıyla 18,64 mm, 16,97 mm ve 14,83 mm’dir. 180 günde hesaplanan oturma miktarı aynı sırayla 30,58 mm, 28,83 mm ve 26,01 mm’dir. Aynı gün içerisinde, trafik yükü etkidikten sonra hesaplanan oturma miktarları 31,71 mm, 29,84 ve 26,86 mm’ye çıkmaktadır. S4 noktasında trafik yüküyle birlikte 1000 gün sonunda oturma miktarı 38,52 mm, 35,76 mm ve 31,96 mm olarak hesaplanmıştır.

Aşağıdaki Tablo 6.24’te ise 180 gün sonunda ancak trafik yükü etkmeden önce hesaplanan oturma miktarı baz alınarak, oturma miktarının zamanla değişiminin yüzdelik değişimi görülmektedir. Bu tabloya göre S1 noktasında aynı gün içerisinde yüzdelik olarak meydana gelen en yüksek değişim elastisite modülünün 5 GPa olduğu durumda, 180 – 1000 gün aralığında meydana gelen en yüksek değişim ise %21,41 olarak elastisite modülünün 20 GPa olduğu durumda meydana gelmiştir. S2 noktasında meydana gelen değişimler incelendiğinde ise hem 180. gün sonunda hem de 180 ve 1000 gün sonunda meydana gelen en yüksek değişim elastisite modülünün 5 GPa olduğu durumda gözlemlenmiştir. S3 noktası incelendiği zaman ise aynı gün içerisinde meydana gelen en yüksek değişim %8,29 ile elastisite modülünün 35 GPa olan durumda, 180 ile 1000 gün arasında meydana gelen en büyük değişim ise %23,63 olarak elastisite modülünün 20 GPa olduğu durumda görülmektedir. S4 noktasında meydana gelen değişim incelendiği zaman ise her iki zaman aralığında elastisite modülünün 5 GPa olduğu durumda ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.130. Trafik yükü altında farklı elastisite modülleri için S4 noktasında hesaplanan oturma miktarı ve zamanla değişimi

Tablo 6.24. S1, S2, S3 ve S4 noktaları için hesaplanan oturma miktarının zamanla yüzdelik olarak değişimi

		5 Gpa	20 Gpa	35 Gpa
S1	180	-	-	-
	180	1,17	1,13	0,86
	1000	21,15	21,41	19,94
S2	180	-	-	-
	180	3,43	3,23	3,28
	1000	17,58	16,76	16,41
S3	180	-	-	-
	180	7,25	7,36	8,29
	1000	21,59	23,63	23,21
S4	180	-	-	-
	180	3,69	3,50	3,41
	1000	25,96	24,03	22,88

Tablo 6.25'te ise her bir durum için 180, 250, 500 ve 1000 günler için hem trafiksiz hem de trafik yüklemeli analizler için hesaplanan oturma miktarı karşılaştırılmış ve belirtilen günler için ortaya çıkan farklar yüzdelik olarak gösterilmiştir.

S1, S2, S3 ve S4 noktaları için 1000 gün sonunda meydana gelen fark her zaman için elastisite modülünün 35 GPa olduğu durumda gözlemlenmiştir. 1000 gün sonunda 35 GPa elastisite modülü için görülen değişimler, S1 ve S2 noktaları için %13 civarında olduğu görülürken S3 ve S4 noktaları için %20 civarında olduğu görülmektedir.

Tablo 6.25. Farklı günler ve elastisite modülü için trafik yükünün etkisi

		Normal			Trafik			Yüzdesel Değişim		
		5 GPa	20 GPa	35 GPa	5 GPa	20 GPa	35 GPa	5 GPa	20 GPa	35 GPa
S1	180	23,51	22,204	19,88	23,78	22,47	20,05	1,17	1,18	0,86
	250	24,52	23,098	20,26	26,09	24,97	21,78	6,41	8,08	7,50
	500	26,00	24,461	20,68	28,13	26,67	23,53	8,18	9,03	13,80
	1000	26,60	25,027	21,04	28,48	26,97	23,85	7,07	7,77	13,35
S2	180	54,25	52,54	45,78	56,11	54,28	47,28	3,42	3,31	3,28
	250	55,62	53,75	46,29	60,23	59,29	50,46	8,28	10,31	8,99
	500	57,64	55,51	46,77	63,23	61,01	52,80	9,69	9,90	12,90
	1000	58,56	56,33	47,20	63,79	61,40	53,29	8,93	8,99	12,89
S3	180	86,15	85,04	74,32	92,4	91,31	80,48	7,25	7,37	8,29
	250	87,67	86,39	74,90	100,61	103,99	87,74	14,76	20,36	17,15
	500	89,75	88,23	75,20	104,14	104,89	90,92	16,03	18,88	20,90
	1000	90,69	89,14	75,47	104,75	105,14	91,57	15,50	17,95	21,33
S4	180	30,58	28,83	26,01	31,71	29,84	26,89	3,69	3,52	3,41
	250	31,62	29,67	26,39	35,87	34,83	29,84	13,44	17,38	13,08
	500	33,10	30,85	26,61	38,28	35,62	31,73	15,65	15,44	19,23
	1000	33,71	31,44	26,81	38,52	35,76	31,96	14,27	13,75	19,19

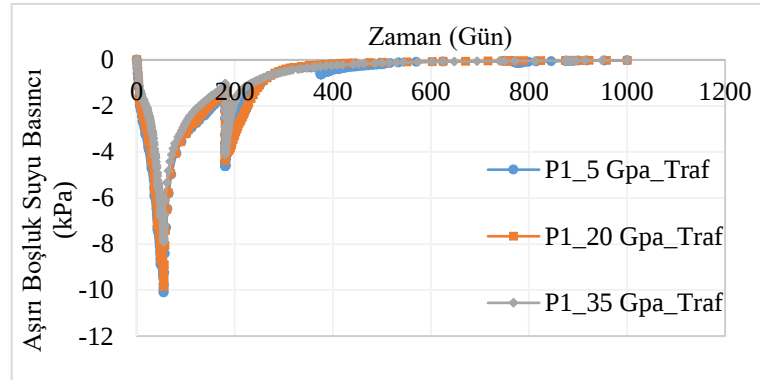
E9 noktası için hesaplanan gerilmeler incelendiği zaman görülmektedir ki dolgu üzerine trafik yükü etkidikten hemen sonra elastisite modülü 5 GPa olan kazık üzerine gelen yük 194,78 kN'dan 219,68 kN'a yükselmektedir. Hesaplanan gerilme miktarı ise 743,45 kPa'dan 838,47 kPa'ya yükselmektedir. 1000 gün sonunda ise hesaplanan yük 229,34 kN olurken gerilme ise 875,35 kPa olmaktadır. Kazık elastisite modülü 20 GPa olduğu zaman, trafik yükünün etkimesinden hemen sonra hesaplanan yük miktarı 196,08 kN'dan 220,72 kN'a çıkarken, hesaplanan gerilme ise 748,41 kPa'dan 842,42 kPa'ya çıkmaktadır. 1000 gün sonunda ölçülen yük miktarı ise 231,91 kN olurken, gerilme ise 885,14 kPa olmaktadır. Kazık elastisite modülü 35 GPa olduğu zaman hesaplanan yük miktarı 198,96 kN'dan 227,33 kN'a, 1000 gün sonunda ise 232,77 kN'a çıkmaktadır. Hesaplanan gerilme miktarı ise, 759,38 kPa'dan, 867,68 kPa'ya ve 888,44 kPa'ya çıkmaktadır. 5 GPa, 20 GPa, 35 GPa için trafik yükünün etkimesinden hemen sonra meydana gelen değişim miktarı sırasıyla %12,79, %12,56 ve %14,26 olarak hesaplanmış iken 1000 sonunda meydana gelen değişim aynı sıralamayla %17,75, %18,27 ve %17 olmaktadır.

E4 noktasındaki gerilme değişimi incelendiği zaman trafik yükünün dolguya etkimesinin bu noktalar için hesaplanan gerilme miktarında büyük değişimlere neden olmadığı görülmüştür. E4 noktası için 5 GPa'lık elastisite modülü olan modelde trafik yükü etkmeden önce hesaplanan gerilme büyüklüğü 45,97 kPa iken trafik yükünün uygulanmasından hemen sonra 46,96 kPa olur iken 1000 gün sonunda 46,10 kPa olmaktadır. Benzer şekilde 20 GPa'lık kazık kullanıldığı zaman trafik yükü etkmeden önceki gerilme miktarı 39,5 kPa iken trafik yükünün etkimesinden hemen sonra 41,91

kPa olurken, 1000 gün sonunda 41,71 kPa olmaktadır. Elastisite modülü 35 GPa olan kazık kullanıldığı zaman E4 noktasındaki gerilme trafik yükünün etkimesiyle 39,64 kPa'dan 41,78 kPa'ya çıkarken, 1000 gün sonunda 41,60 kPa olarak hesaplanmaktadır.

E5 noktasında hesaplanan gerilme değerleri de incelendiği zaman E4 noktasına benzer davranış görülmektedir. Elastik modülü 5 GPa'lık modelde trafik yükünün etkimesinden önce hesaplanan gerilme miktarı 22,36 kPa iken 1000 gün sonunda 22,08 kPa olarak hesaplanmıştır. 20 GPa elastisite modülüne sahip kazık kullanılan modelde E5 noktasındaki gerilme 32,7 kPa'dan, 36,13 kPa'ya çıkmaktadır. Elastisite modülü 35 GPa elastisite modülüne sahip kazık kullanılarak yapılan analizde E5 noktasındaki gerilme 32,30 kPa'dan 36,08 kPa'ya çıkmaktadır.

Aşırı boşluk suyu basıncındaki değişimler incelendiği zaman görülmektedir ki, tüm durumlarda trafik yükü etkidiği anda, aşırı boşluk suyu basıncında artma meydana gelmektedir. P1 noktasındaki aşırı boşluk suyu basıncı değişimi Şekil 6.131'de verilmiştir.



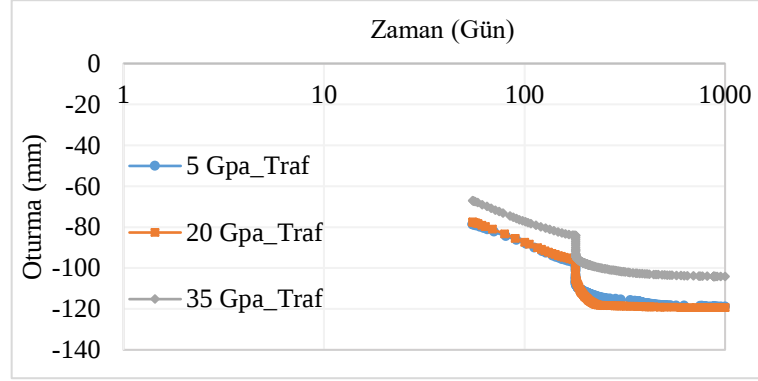
Şekil 6.131. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla ve kazık elastisite modülü ile değişimi

P1 noktasında trafik yükü uygulanmadan hemen önce hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı 5GPa için 1,50 kPa, 20 GPa için 1,30 kPa, 35 GPa için 1,03 kPa iken trafik yükünün uygulanmasından sonra aşırı boşluk suyu basınçları sırasıyla 4,62 kPa, 4,36 kPa ve 4,11 kPa'ya çıkmaktadır. Meydana gelen bu artış miktarı yüzdelik olarak %208, %235 ve %299,03'tür.

P2 noktasındaki aşırı boşluk suyu basıncı trafik yükü uygulanmadan önce 5 GPa, 20 GPa ve 35 GPa elastisite modülü için sırasıyla 5,89 kPa, 5,45 kPa ve 4,22 kPa iken, trafik yükü uygulandıktan hemen sonra 8,44 kPa, 7,98 kPa ve 6,26 kPa olarak

hesaplanmıştır. P2 noktasında meydana gelen yüzdelik değişim ise sırasıyla %43,29, %46,42 ve %48,34 olmuştur.

Farklı kazık elastisite modülü için oluşturulan modeller incelendiği zaman hem trafik yüklemesinden önce hem de trafik yüklemesinden sonra en düşük dolgu yüzeyi oturması elastisite modülünün 35 GPa olduğu durumda hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinde meydana gelen davranış aşağıdaki Şekil 6.132’de görülebilir.



Şekil 6.132. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı kazık elastisite modülü, trafik yüküne ve zamana bağlı değişimi

Kazık elastisite modülünün 5 GPa olduğu durumda, 180 gün sonunda ki oturma miktarı 97,42 mm iken aynı gün içerisinde, trafik yükü etkidikten sonra hesaplanan oturma miktarı 106,95 mm olmuştur. 1000 gün sonunda ise hesaplanan oturma miktarı 118,869 mm’dir. Diğer durumlar için hesaplanan oturma miktarı ile trafiksiz yükleme ile trafik yüklemesi sonucu oluşan fark aşağıdaki Tablo 6.26’dan görülebilir.

Tablo 6.26. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi

		5 GPa	20 GPa	35 GPa
Normal	180	97,42	95,99	84,06
	1000	101,70	99,82	85,15
Trafik	180	106,95	105,54	93,50
	1000	118,87	119,43	104,14
Değişim (%)	180	9,78	9,94	11,23
	1000	16,88	19,64	22,30

Trafik yükünün yatay deplasmana olan etkisi incelendiği zaman görülmektedir ki 1000 gün sonunda en yüksek yatay deplasman 41,55 mm ile kazık elastisite modülünün 5 GPa olduğu durumda görülmüştür. Elastisite modülü 35 GPa olduğu zaman hesaplanan yanıl

deplasman miktarı 34,78 mm olarak hesaplanmıştır. 180 ve 1000 gün sonunda trafik yükünden dolayı oluşan farklılıklar ise aşağıdaki Tablo 6.27’den görülebilmektedir.

Tablo 6.27. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		5 GPa	20 GPa	35 GPa
Normal	180	36,07	35,41	29,57
	1000	37,03	36,58	31,11
Trafik	180	40,71	39,83	33,78
	1000	41,55	41,13	34,78
Değişim (%)	180	12,84	12,48	14,23
	1000	12,23	12,46	11,78

6.6.1.2. Farklı kazık çapının etkisi

Bu bölümde, doğal zemin, kazık ve dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı ile birlikte belli noktalar için hesaplanan gerilme, oluşan aşırı boşluk suyu basıncı ve hesaplanan yatay deplasmanın kazık çapına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Dolgu inşasının başlagıcından 180 gün sonra trafik yükü uygulanmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analizi toplamda 1000 gün sürmüştür. Kazık çapı olarak 0,5 metre, 1 metre ve 1,5 metre seçilmiştir. Kazıklar arası mesafe her bir modelde kazık çapının 3 katı olacak şekilde seçilmiştir.

S1, S2, S3 ve S4 noktalarındaki oturma davranışı incelendiği zaman; kazık çapı 0,5 metre olduğu zaman en az oturmanın hesaplandığı görülmüştür. Bu noktalarda 0,5 metre kazık çapı için trafik yükü uygulandığı zaman hesaplanan oturma miktarı sırası ile 9,07 mm, 9,57 mm, 14,07 mm ve 11,46 mm’dir. 1 metre kazık çapı için 1000 gün sonunda trafik yükü uygulandığı durum için hesaplanan oturma miktarı ise, 26,97 mm, 61, 40 mm, 105,14 mm ve 35,76 mm’dir. Aşağıdaki Tablo 6.28’de, trafik yükü uygulandıktan sonra, hesaplanan oturmalar miktarında meydana gelen değişim yüzdeler olarak gösterilmiştir. Yüzdelerik değişim hesaplanırken 180. günde henüz trafik yükü uygulanmadan önceki oturma miktarı baz alınmıştır.

Tablo 6.28’den de görülebileceği üzere oturma miktarında 1000 gün sonunda meydana gelen değişim kazık çapı yükseldikçe artmaktadır. En yüksek değişim %16,70 ile S4 noktasında 1 metre kazıkçapı ile görülürken, en düşük değişim ise %3,79 ile S1 noktasın 0,5 metre kazık çapından gözlemlenmiştir.

Trafik yüklemesinin, farklı kazık çapına sahip modellerdeki etkisini daha iyi gösterebilmek için aşağıdaki Tablo 6.29 verilmiştir. Tablo 6.29’da 0,5 metre ve 1 metre kazık çapına sahip normal ve trafik yüklemesine sahip modeller de 180, 250, 500 ve 1000 gün sonunda meydana gelen oturma miktarları ile trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim yüzdelik olarak gösterilmiştir.

Tablo 6.28. *Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim*

		0.5 metre	1 metre
S1	180	-	-
	180	2,36	1,13
	1000	3,79	11,12
S2	180	-	-
	180	4,03	3,23
	1000	5,33	9,23
S3	180	-	-
	180	7,76	7,36
	1000	9,71	13,89
S4	180	-	-
	180	5,17	3,50
	1000	10,42	16,70

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında 0.5 kazık çapında meydana gelen değişim miktarı sırasıyla %6,96, %10,64, %19,64 ve %17,42’dir. Aynı noktalarda 1 metre kazık çapı için meydana gelen değişim miktarları ise %7,75, %9, %17,95 ve %13,74 olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre kazık çapı küçüldükçe gözlemlenen değişim miktarı yüzdelik olarak artmaktadır. Ayrıca en yüksek değişim S4 noktasında 0,5 metre kazık çapına sahip modellerin karşılaştırılmasıyla ortaya çıkmıştır.

Tablo 6.29. Farklı günler ve kazık çapları için trafik yükünün etkisi

		Normal		Trafik		Yüzdesel Değişim	
		0.5 metre	1 metre	0.5 metre	1 metre	0.5 metre	1 metre
S1	180	8,34	22,2	8,53	22,47	2,28	1,22
	250	8,4	23,1	8,86	24,97	5,48	8,10
	500	8,44	24,46	9,01	26,67	6,75	9,04
	1000	8,48	25,03	9,07	26,97	6,96	7,75
S2	180	8,53	52,54	8,87	54,28	3,99	3,31
	250	8,57	53,75	9,34	59,29	8,98	10,31
	500	8,62	55,51	9,5	61,01	10,21	9,91
	1000	8,65	56,33	9,57	61,4	10,64	9,00
S3	180	11,7	85,04	12,61	91,31	7,78	7,37
	250	11,74	86,39	13,84	103,99	17,89	20,37
	500	11,75	88,23	14,05	104,89	19,57	18,88
	1000	11,76	89,14	14,07	105,14	19,64	17,95
S4	180	9,7	28,83	10,2	29,84	5,15	3,50
	250	9,75	29,67	11,26	34,83	15,49	17,39
	500	9,76	30,85	11,39	35,62	16,70	15,46
	1000	9,76	31,44	11,46	35,76	17,42	13,74

E4 noktası için hesaplanan gerilme miktarı incelendiği zaman görülmektedir ki, trafik yükü uygulanma ile birlikte tüm durumlarda bir gerilme artışı görülmektedir. Bu noktada hesaplanan gerilme miktarı 180. günde ve trafik yükü uygulanmadan önce 0,5 metre, 1 metre ve 1,5 metre kazık çapı için sırasıyla 16,58 kPa, 39,5 kPa ve 40,87 kPa olarak hesaplanmıştır. Trafik yükü uygulandıktan sonra ise bu aynı nokta için hesaplanan gerilme miktarları tekrardan aynı sıralama ile 17,28 kPa, 41,91 kPa ve 40,95 kPa olmaktadır. Verilen bu rakamlardan da anlaşılabileceği üzere trafik yükü 12 kPa olmasına rağmen bu E4 noktasındaki gerilme artışı bu değere göre oldukça düşük kalmaktadır. E5 noktasında da benzer bir davranış görülür iken, E9 noktasında, trafik yükü uygulandıktan sonra adeta bir sıçrama görülmektedir. Aşağıdaki Tablo 6.30'da E4, E5 ve E9 noktaları için 180 ve 1000 günleri için hem normal hem de trafik yükü altında hesaplanan gerilmeler görülmektedir. Karşılaştırma yapılabilmesi amacı ile aradaki farklar tabloda yüzdelik olarakta ifade edilmiştir.

Tablo 6.30. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

Kazık Çapı	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim
0.5 metre	E4	180	16,58	17,28	4,22
		1000	16,43	17,1	4,08
	E5	180	19,02	21,27	11,83
		1000	18,9	21,66	14,60
	E9	180	652,12	746,21	14,43
		1000	652,82	748,38	14,64
1 metre	E4	180	39,5	41,91	6,10
		1000	39,2	41,71	6,40
	E5	180	32,7	34,5	5,50
		1000	32,9	36,13	9,82
	E9	180	748,37	842,42	12,57
		1000	769,52	885,14	15,02
1.5 metre	E4	180	40,87	40,95	0,20
		1000	41	43,13	5,20
	E5	180	38,76	40,14	3,56
		1000	38,66	41,66	7,76
	E9	180	668,28	691,65	3,50
		1000	705,06	743,32	5,43

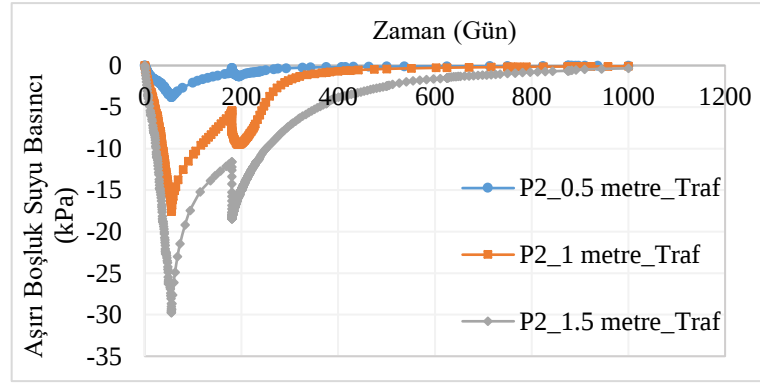
Tablo 6.30'dan görülebileceği üzere kazık çapı 1,5 metre olduğu zaman E9 noktasında meydana gelen değişimin diğer durumların neredeyse %30'u olduğu görülmektedir. Bu noktada görülen gerilme artışı kazık çapı 0,5 metre ve 1 metre olduğu zaman ortalama %15 iken, kazık çapı 1,5 metre olduğu zaman %4,5'dir.

P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı incelendiği zaman görülmektedir ki trafik yükü etkidiği anda her iki noktada da aşırı boşluk suyu basıncında ani bir artış meydana gelmektedir. Bu artıştan sonra aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenmeye devam etmektedir. 1000 gün sonunda, görülen artışa rağmen, tüm durumlarda aşırı boşluk suyu basıncı 1 kPa'ın altına düşerek sönümlenmektedir. Tablo 6.31'de her bir durum için P1 ve P2 noktasında aşırı boşluk suyu basıncında meydana gelen değişim görülmektedir.

Tablo 6.31. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı

		0.5 metre	1 metre	1.5 metre
P1	Normal	0,25	1,30	3,30
	Trafik	0,41	4,36	9,77
P2	Normal	0,85	5,85	11,60
	Trafik	0,32	7,98	17,68

Tablo 6.31 sayısal olarak incelendiği zaman görülecektir ki, P1 noktasında en az artış kazık çapının 0,5 metre olduğu durumda görülecektir. En yüksek artış ise aşırı boşluk suyu basıncının 3,30 kPa'dan 9,77 kPa'la çıktığı kazık çapının 1,5 metre olduğu durumdur. P2 noktası incelendiği zaman görülecektir ki, kazık çapının 0,5 metre olduğu durumda bu noktada aşırı boşluk suyu basıncı azalmaya devam etmiştir. Ancak, aradan bir süre geçtikten sonra bir artış gözlemlenmiştir. P2 noktasındaki aşırı boşluk suyu davranışı Şekil 6.133'ten daha iyi incelenebilecektir.



Şekil 6.133. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla ve kazık çapı ile değişimi

Meydana gelen bu artış 195. güne kadar devam etmiştir. 195. gün sonunda aşırı boşluk suyu basıncı 1,30 kPa'la çıkmış ve sönümlenmeye başlamıştır. Bu duruma benzer bir davranış kazık çapının 1,5 metre olduğu durumda P1 noktasında da görülmüştür. Kazık çapı 1,5 metre ve P1 noktasında aşırı boşluk suyu basıncı 180,22 gün sonunda maksimum değeri olan 10,34 kPa değerine ulaşmış ve sönümlenmeye başlamıştır. Aynı kazık çapının P2 noktasında ise aşırı boşluk suyu basıncı 180,21 gün sonunda maksimum değeri olan 18,44 kPa'ya ulaşmış ve sönümlenmeye başlamıştır.

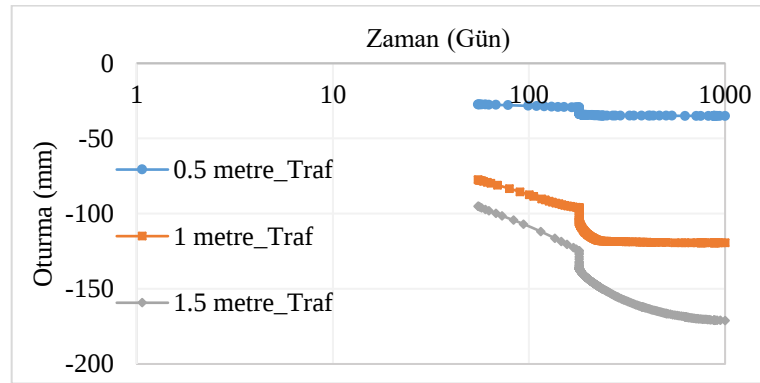
Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı incelendiği zaman trafik yükü uygulandıktan sonra tüm kazık çapları için oturma miktarında ani bir artış görülmüştür. Bu artışa rağmen hesaplanan en düşük oturma miktarı 35 mm ile kazık çapının 0,5 metre olduğu durumdur. Şekil 6.132'de dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarının zamanla değişimi görülmektedir. Şekil 6.134'ün daha iyi anlaşılabilmesi için tablo 6.32'nin incelenmesi gerekmektedir.

Tablo 6.32. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi

		0,5 metre	1 metre	1,5 metre
Normal	180	29,36	96,00	124,74
	1000	29,45	99,82	141,81
Trafik	180	33,50	105,54	135,35
	1000	35,00	119,43	171,09
Değişim (%)	180	14,10	9,94	8,51
	1000	18,85	19,65	20,65

Tablo 6.32’de trafik yükünün etkimeidiği durum ile trafik yükünün etkidiği durumda dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarı ile iki durum arasındaki fark yüzdelik değişim olarak verilmiştir. Buna göre, 180 gün sonunda meydana gelen en büyük değişim %14,10 ile kazık çapının 0,5 metre olduğu durum olmuştur. 1000 gün sonunda meydana gelen en büyük değişim ise %20,65 ile kazık çapının 1,5 metre olduğu durumda görülmüştür. Bu durumda oturma miktarı 141,81 mm’den 171,09 mm’ye çıkmıştır.

Dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıktaki yatay deplasmanlar incelendiği zaman da tıpkı diğer tüm durumlarda olduğu gibi bir artış görülmektedir. Bu artışın en az olduğu durum 1000 gün sonunda %12,45 ile kazık çapının 1 metre olduğu durumdur. Diğer durumlar için trafik yükünün olmadığı şart ile trafik yükünün etkidiği şartın kıyaslanması Tablo 6.33’te görülmektedir.



Şekil 6.134. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı kazık çapı ve zamana bağlı değişimi

Tablo 6.33. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		0,5 metre	1 metre	1,5 metre
Normal	180	23,23	35,41	46,96
	1000	23,76	36,58	46,34
Trafik	180	26,52	39,83	54,05
	1000	27,92	41,13	53,99
Değişim (%)	180	14,16	12,48	15,10
	1000	17,49	12,45	16,51

6.6.1.3. Farklı kazık boyunun etkisi

Bu bölümde farklı kazık boyları kullanılarak, dolgu inşasına başlandıktan 180 gün sonra trafik yükü uygulanarak, dolgu davranışında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Ayrıca, aynı kazık boyları için, trafik yükü etkileyen durum ile trafik yükü etkimeyen durum karşılaştırılmıştır. Seçilen kazık boyları ise 12 metre, 16 metre ve 20 metredir. Kazık boyları bu şekilde seçilerek, bir durumun sürtünme kazığı olması sağlanmış, bir başka durumun ise uç kazığı olması sağlanmıştır. Kazık boyunun 16 metre olduğu durum ise inşa edilen dolgunun orijinal projesindeki kazık boyudur.

Trafik yükü altında farklı kazık boyuna sahip modellerin davranış biçimini incelemek için öncelikle S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen değişim miktarları incelenmiştir. Tüm noktalarda kazık boyu arttıkça, hesaplanan oturma miktarı azalmaktadır. Bu nedenle, en yüksek oturma miktarı 12 metre kazık boyu olan durumda oluşmuştur. 12 metre kazık boyu için 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı S1, S2, S3 ve S4 noktaları için sırasıyla 152,55 mm, 198,92 mm, 285,50 mm ve 217,16 mm'dir. Oturma miktarlarının en az olduğu, 20 metrelik kazık boyu için S1, S2, S3 ve S4 noktaları için hesaplanan oturma miktarları sırasıyla 3,04 mm, 26,48 mm, 54,87 mm ve 3,22 mm olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 6.34'te ise 180. günde trafik yükü etkidikten sonra, aynı gün ve 1000 gün sonunda meydana gelen değişim yüzdeleri olarak görülmektedir.

Tablo 6.34. *Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim*

		12 metre	16 metre	20 metre
S1	180	-	-	-
	180	0,10	1,13	4,33
	1000	82,69	21,41	5,78
S2	180	-	-	-
	180	1,62	3,23	6,58
	1000	65,53	16,76	10,47
S3	180	-	-	-
	180	4,29	7,36	11,87
	1000	61,24	23,63	22,33
S4	180	-	-	-
	180	1,90	3,50	11,42
	1000	68,41	24,03	11,17

Tablo 6.34'e göre 180 gün sonunda meydana gelen en büyük değişim %11.87 ile S3 noktasında ve 20 metre kazık boyu kullanıldığı zaman görülmektedir. 1000 gün sonuna gelindiği zaman ise meydana gelen en büyük değişim %82,69 ile 12 metre kazık uzunluğuna sahip modelde S1 noktasında görülmektedir. 180 gün sonunda meydana gelen en düşük değişim ise %0,10 ile 12 metre kazık boyuna sahip modelde S1 noktasında olduğu görülmektedir. 1000 gün sonunda meydana gelen en düşük değişim ise %5,78 ile kazık boyunun 20 metre olduğu durumda S1 noktasında olduğu görülmektedir.

Tablo 6.35'te ise her bir kazık boyu için trafik yükünün etkidiği ve etkimeydiği durumlarda S1, S2, S3 ve S4 noktalarında 180, 250, 500 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı ile, trafik yükünden dolayı meydana gelen yüzdelik değişim görülmektedir. Bu tablo incelendiği zaman görülecektir ki trafik yükünün etkimesinden dolayı oluşan en düşük yüzdelik değişim S1 noktasında 12 metre kazıkboyuna sahip modellerde gözlemlenirken en büyük değişim ise S3 noktasında meydana gelmektedir. Meydana gelen en büyük değişim 250. gün haricinden kazık boyunun 20 metre olduğu durumda meydana gelmektedir. 250. günde ise en büyük fark kazık boyunun 16 metre olduğu durumda gözlemlenmiştir. 180, 250, 500 ve 1000 gün sonucunda meydana gelen en düşük değişim miktarı sırasıyla %0,09, %1,38, %4,06 ve %4,85 olarak hesaplanmıştır. 180, 250, 500 ve 1000 gün sonucunda meydana gelen en büyük değişim sırasıyla %11,87, %20,37, %21,92 ve %22,12 olarak hesaplanmıştır. Yüzdelik olarak en küçük değişim doğal zemin yüzeyinde gözlemlenirken, yüzdelik olarak en büyük değişim kazık oturmasında ortaya çıkmıştır.

Tablo 6.35. Farklı günler ve kazık boyları için trafik yükünün etkisi

		Normal			Trafik			Yüzdesel Değişim		
		12 metre	16 metre	20 metre	12 metre	16 metre	20 metre	12 metre	16 metre	20 metre
S1	180	83,50	22,20	2,87	83,58	22,47	3	0,09	1,20	4,41
	250	99,25	23,10	2,88	100,62	24,97	3,01	1,38	8,10	4,56
	500	129,66	24,46	2,89	134,93	26,67	3,03	4,06	9,03	4,94
	1000	145,49	25,03	2,89	152,55	26,97	3,04	4,85	7,76	5,07
S2	180	120,17	52,54	23,97	122,12	54,28	25,55	1,63	3,31	6,58
	250	137,67	53,75	24,00	143,6	59,29	26,31	4,30	10,32	9,61
	500	169,73	55,51	24,08	181,02	61,01	26,42	6,65	9,91	9,74
	1000	185,75	56,33	24,12	198,92	61,4	26,48	7,09	9,00	9,78
S3	180	177,06	85,04	44,86	184,65	91,31	50,18	4,29	7,38	11,87
	250	200,68	86,39	44,87	219,85	103,99	54	9,55	20,37	20,35
	500	238,18	88,23	44,91	266,37	104,89	54,75	11,83	18,88	21,92
	1000	254,28	89,14	44,93	285,5	105,14	54,87	12,28	17,95	22,12
S4	180	128,95	28,83	2,89	131,4	29,84	3,22	1,90	3,51	11,34
	250	151,75	29,67	2,90	161,57	34,83	3,21	6,47	17,40	10,84
	500	185,78	30,85	2,90	201,92	35,62	3,21	8,69	15,45	10,63
	1000	199,40	31,44	2,90	217,16	35,76	3,22	8,91	13,75	10,85

Farklı kazık boylarının kullanıldığı durumlar için E4, E5 ve E9 noktalarında meydana gelen değişim miktarı Tablo 6.35'te gösterilmiştir.

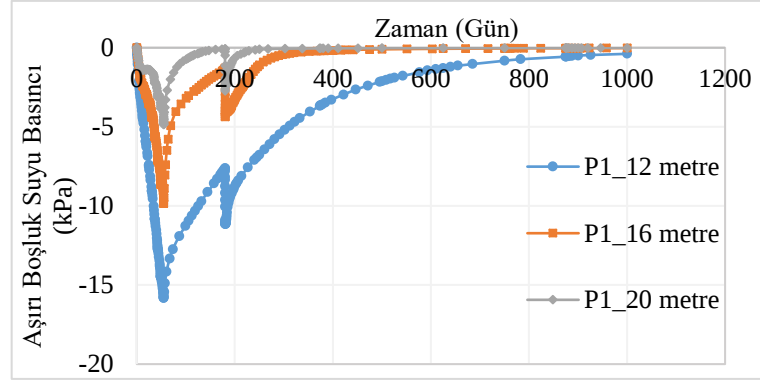
E4 noktasında 180 gün sonunda 12 metre, 16 metre ve 20 metre kazık boyu için meydana gelen yüzdelik değişim sırasıyla %4,58, %6,10 ve %15,23 olarak hesaplanmıştır. Aynı noktada 1000 gün sonunda hesaplanan değişim miktarı ise aynı sıralama ile %8,21, %6,40 ve %15,58 olarak hesaplanmıştır. E5 noktasında 1000 sonunda meydana gelen değişim miktarı 12 metre, 16 metre ve 20 metre kazık boyuna sahip modeller için sırasıyla %15,57, %9,82 ve %7,46 olarak hesaplanmıştır. E9 noktasında hesaplanan değişim miktarı 1000 gün sonunda 12 metre, 16 metre ve 20 metre kazık uzunluğu için sırasıyla %15,57, %15,03 ve %13,88 olarak hesaplanmıştır. Ancak 1000 gün sonunda E4 noktasında 12 metre, 16 metre ve 20 metre kazık boyları için trafik etkisinden dolayı hesaplanan gerilme sırasıyla 46,43, 39,20 ve 35,96 kPa'dan 50,24, 41,71 ve 41,56 kPa'ya çıkmıştır. E5 noktasında hesaplanan gerilme miktarı ise 35,37, 32,90 ve 34,09 kPa'dan 39,22, 36,13 ve 36,64 kPa'la çıkmıştır. E9 noktasında farklı kazık boyları kullanıldığı zaman hesaplanan gerilme miktarı aynı sıralama ile 771,60, 769,52 ve 767,16 kPa'dan 891,72, 885,14 ve 873,66 kPa'la çıkmıştır.

Farklı kazık boyu kullanılarak dolgu inşa edildiği zaman P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı incelendiği zaman görülecektir ki trafik yükü etkidiği anda aşırı boşluk suyu basıncında hem P1 hemde P2 noktasında bir zıplama meydana gelmektedir. Ayrıca, kazık boyunun 12 metre olduğu durumda, hem P1 hem de P2 noktasında bir gün sonra bile aşırı boşluk suyu basıncının artmaya devam ettiği görülmektedir. Aşırı boşluk

suyu basıncında meydana gelen değişimin görülebilmesi aşağıdaki Şekil 6.36’da verilmiştir.

Tablo 6.36. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

Kazık Boyu	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
12 metre	E4	180	45,81	47,91	4,58
		1000	46,43	50,24	8,21
	E5	180	31,95	34,44	7,78
		1000	35,37	39,22	10,89
	E9	180	719,24	810,38	12,67
		1000	771,60	891,72	15,57
16 metre	E4	180	39,50	41,91	6,10
		1000	39,20	41,71	6,40
	E5	180	32,70	34,5	5,50
		1000	32,90	36,13	9,82
	E9	180	748,37	842,42	12,57
		1000	769,52	885,14	15,03
20 metre	E4	180	36,10	41,60	15,23
		1000	35,96	41,56	15,58
	E5	180	34,44	35,67	3,58
		1000	34,09	36,64	7,46
	E9	180	766,45	850,00	10,90
		1000	767,16	873,66	13,88



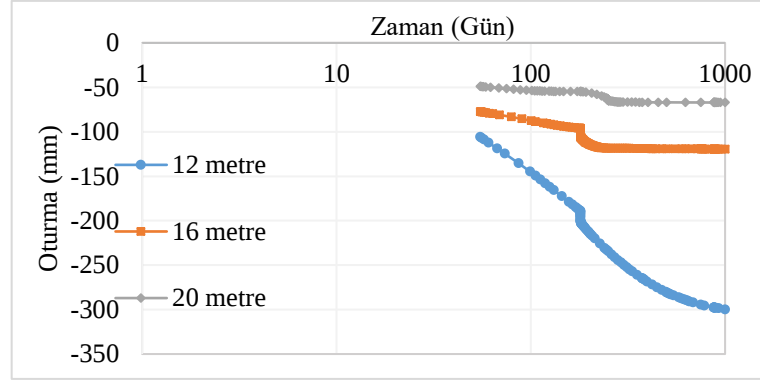
Şekil 6.135. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının zamanla ve kazık boyu ile değişimi

Tüm kazık boyları için P1 noktasındaki aşırı boşluk suyu basıncı 1000 gün sonunda 1 kPa'lık değerin altına inerek sönümlenmiştir. Ancak P2 noktası incelendiği zaman, kazık uzunluğu 12 metre olduğu zaman, bu noktadaki aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmediği ortaya çıkmaktadır. Diğer kazık boylarına bakıldığında zaman, P2 noktasında da aşırı boşluk suyu basıncının sönümlendiği görülmüştür. Trafik yükünün etkimesiyle birlikte 180. günde meydana gelen aşırı boşluk suyu artışı aşağıdaki Tablo 6.37'de görülmektedir. Bu tabloya göre hem normal durumda hem de trafik yükünün etkide olduğu durumda, P1 ve P2 noktasında oluşan en düşük aşırı boşluk suyu basıncı kazık boyunun 20 metre olduğu durumda görülmüştür. Ancak bu durumda meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı %3300 ve %285,19 artarak en yüksek değere ulaşmaktadır. Bunun sebebi ise, trafik yüklemesi olmadığı zaman, oluşan aşırı boşluk suyu basıncının oldukça düşük olmasıdır.

Tablo 6.37. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı

		12 metre	16 metre	20 metre
P1	Normal	7,63	1,30	0,08
	Trafik	11,07	4,36	2,72
P2	Normal	32,26	5,45	0,27
	Trafik	37,74	7,98	1,04

Dolgu tepe noktasında meydana gelen oturma miktarı incelendiği zaman, 180. günde aşırı boşluk suyu basıncındaki gibi bir sıçrama meydana gelmektedir. Meydana gelen bu sıçrama 10,6 mm ile 12 metre kazık boyuna sahip modelde en yüksek değere ulaşmıştır. Dolgu tepe noktasından meydana gelen oturma miktarının zamanla değişimi aşağıdaki Şekil 6.136'da görülebilir.



Şekil 6.136. Tepe noktasında meydana gelen oturma miktarının farklı kazık boyu ve zamana bağlı değişimi

Trafik yükünün etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için ise aşağıdaki Tablo 6.38 verilmektedir. Bu tabloda trafik yükünün etkmediği durum ile trafik yükünün etkidiği durumdaki 180 ve 1000. günlerdeki oturma miktarı verilmiştir. Ayrıca trafik yükünün uygulanmadığı durum baz alınarak, trafik yükünden dolayı meydana gelen oturma artışı yüzdelik olarak verilmiştir.

Tablo 6.38. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi

		12 metre	16 metre	20 metre
Normal	180	189,05	95,99	54,62
	1000	265,51	99,82	54,72
Trafik	180	199,65	105,54	54,62
	1000	299,81	119,43	67,09
Değişim (%)	180	5,61	9,94	0,00
	1000	12,92	19,64	22,60

Tablo 6.38'den de görülebileceği üzere 1000 gün sonunda oturma miktarındaki en büyük değişim %22,60 ile kazık boyunun 20 metre olduğu durumda ortaya çıkmıştır. 180. gün sonunda meydana gelen en büyük değişim ise %9,94 ile kazık boyunun 16 metre olduğu durumda gözlemlenmiştir. Tablo 6.37'den gördüğümüz kadarıyla, kazık boyu 20 metre olduğu zaman 180. günde trafik yükünden dolayı bir artış meydana gelmemektedir.

Trafik yükünün etkimesiyle birlikte hem 180 hem de 1000. günlerde hesaplanan yatay deplasmanlarda artış görülmüştür. Aşağıdaki Tablo 6.39'da meydana gelen bu değişim görülmektedir.

Tablo 6.39. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		12 metre	16 metre	20 metre
Normal	180	41,49	35,41	23,68
	1000	32,24	36,58	24,90
Trafik	180	46,50	39,83	28,28
	1000	36,97	41,13	29,76
Değişim (%)	180	12,07	12,48	19,42
	1000	14,69	12,46	19,53

Yapılan analiz sonuçlarına göre hem 180 hem de 1000. gün için meydana gelen en yüksek değişim %19,42 ve %19,3 ile kazık boyunun 20 metre olduğu durumda hesaplanmıştır. Dikkati çeken bir diğer husus ise meydana gelen değişimlerin aynı kazık boyu için zamandan neredeyse bağımsızdır.

6.6.2. Kullanılan donatının etkisi

Bu bölümde dolgu inşası sırasında kullanılan donatı sayısı ile donatı rijitliğinin trafik yükü altındaki davranışı incelenecektir. Ayrıca, trafik yükü altında hesaplanan oturma miktarı, gerilme, yumuşak zeminde meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncındaki değişimler trafik yükünün olmadığı durum ile karşılaştırılarak, donatı sayısı ve rijitliğinin trafik yükünden dolayı meydana gelen değişimlere etkisi ortaya konmaya çalışılacaktır. Yapılan toplam sonlu elemanlar analizleri, 2 adet donatı için donatıların dolgu içerisinde 5 farklı yere yerleştirilmesi, 3 adet donatı için donatıların 5 farklı yere yerleştirilmesi ve 3 farklı rijitlik değeri olmak üzere 13 adettir.

6.6.2.1. Donatı rijitliğinin etkisi

1180 kN/m, 4000 kN/m ve 10000 kN/m olarak seçilen donatı rijitliğinin kazıklarda meydana gelen oturma miktarı, doğal zemin yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı, dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı, kazık başlığına etki eden gerilme ile doğal zemin yüzeyine etkileyen gerilme ile meydana gelen yatay deplasman miktarı hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Aşağıdaki Tablo 6.40'ta trafik yükü etkidikten hemen sonra ve 1000 gün sonra S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarı değişimi yüzdelik olarak verilmiştir. Bu tablodan görülebileceği üzere 180 gün sonunda meydana gelen en az değişim %1,18 ile S4 noktasında ve donatı rijitliğinin 1180 kN/m olduğu durumda iken 1000 gün sonunda meydana gelen en düşük değişim %16,86 ile S2 noktasında ve rijitliği 1180

kN/m olduğu durumdadır. 180 gün sonunda meydana gelen en büyük değişim ise %8,34 ile S3 noktasında rijitliğin 10000 kN/m olduğu durumda iken, 1000 gün sonunda meydana gelen en büyük değişim %24,84 ile S4 noktasında ve donatı rijitliğinin 10000 kN/m olduğu durumdur.

Tablo 6.40. *Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim*

		1180 kN/m	4000 kN/m	10000 kN/m
S1	180	-	-	-
	180	1,18	1,24	1,26
	1000	21,47	20,52	21,21
S2	180	-	-	-
	180	3,31	3,73	3,84
	1000	16,86	17,45	18,11
S3	180	-	-	-
	180	7,37	8,61	8,34
	1000	23,64	24,16	24,14
S4	180	-	-	-
	180	3,52	4,06	4,11
	1000	24,05	24,15	24,84

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarları incelendiği zaman S1 ve S4 noktalarında 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük oturma miktarı donatı rijitliğinin 4000 kN/m olduğu durumda gözlemlenirken S2 ve S3 noktalarında 1000 gün sonunda meydana gelen en düşük oturma miktarı donatı rijitliğinin 10000 kN/m olduğu durumda hesaplanmıştır. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında 180, 250, 500 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma yükleri ve trafik yükü olmadığı durumlarla karşılaştırılması Tablo 6.41’de verilmiştir.

Tablo 6.41. Farklı günler ve donatı rijitlikleri için trafik yükünün etkisi

		Normal			Trafik			Yüzdesel Değişim		
		1180 kN/m	4000 kN/m	10000 kN/m	1180 kN/m	4000 kN/m	10000 kN/m	1180 kN/m	4000 kN/m	10000 kN/m
S1	180	22,20	19,95	19,92	22,47	20,20	20,17	1,18	1,24	1,26
	250	23,10	21,03	21,05	24,97	22,02	22,01	8,08	4,69	4,58
	500	24,46	22,11	22,13	26,67	23,77	23,80	9,03	7,53	7,55
	1000	25,03	22,23	22,29	26,97	24,05	24,14	7,77	8,16	8,33
S2	180	52,54	45,41	44,74	54,28	47,11	46,46	3,31	3,73	3,84
	250	53,75	46,63	46,01	59,29	50,51	49,91	10,31	8,32	8,48
	500	55,51	48,01	47,40	61,01	52,90	52,34	9,90	10,19	10,42
	1000	56,33	48,25	47,69	61,40	53,33	52,84	8,99	10,54	10,80
S3	180	85,04	72,25	70,11	91,31	78,47	75,96	7,37	8,61	8,34
	250	86,39	73,26	71,20	103,99	85,94	83,54	20,36	17,31	17,33
	500	88,23	74,78	72,73	104,89	89,05	86,60	18,88	19,08	19,07
	1000	89,14	75,06	73,04	105,14	89,71	87,04	17,95	19,51	19,17
S4	180	28,83	26,40	26,59	29,84	27,47	27,68	3,52	4,06	4,11
	250	29,67	27,24	27,49	34,83	30,50	30,94	17,38	11,98	12,53
	500	30,85	28,31	28,60	35,62	32,52	33,00	15,44	14,86	15,37
	1000	31,44	28,37	28,72	35,76	32,77	33,19	13,75	15,52	15,58

Trafik yükünün etkisinden dolayı hesaplanan oturmalarda meydana gelen değişimler %1,18 ile %20,36 arasında değişmektedir. Trafik yükü etkidikten hemen sonra S1 noktasında meydana gelen en yüksek değişim donatı rijitliğinin 10000 kN/m olduğu durumda gözlemlenmektedir. Bu noktada meydana gelen değişim ise %1,26'dır. S2 noktasında 180 gün sonunda meydana gelen en büyük değişim %3,84 ile donatı rijitliğinin 10000 kN/m olduğu durumda meydana gelmiştir. S3 noktasında ise 180 gün sonunda meydana gelen en yüksek yüzdelik değişim %8,61 ile donatı rijitliğinin 4000 kN/m olduğu durumda meydana gelmiştir. S4 noktasında meydana gelen en yüksek yüzdelik 180. günde %4,11 ile donatı rijitliğinin 10000 kN/m olduğu durumdur. 1000 gün sonunda meydana gelen en yüksek değişim S1, S2 ve S4 noktalarında donatı rijitliğinin 10000 kN/m olduğu durumda görülmüş iken, S3 noktasında donatı rijitliğinin 4000 kN/m olduğu durumda gözlemlenmiştir.

Donatı rijitliğine bağlı olarak E4, E5 ve E9 noktalarında trafik yüküne bağlı olarak meydana değişim hem 180. gün hem de 1000. gün sonundaki değerleri incelenmiştir. Trafik yükü altında hesaplanan gerilme miktarı, trafik yükü uygulanmayan durumlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma aşağıdaki Tablo 6.42'de görülmektedir.

Tablo 6.42. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

Rijitlik	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
1180 kN/m	E4	180	39,50	41,91	6,10
		1000	39,20	41,71	6,40
	E5	180	32,70	34,5	5,50
		1000	32,90	36,13	9,82
	E9	180	748,37	842,42	12,57
		1000	769,52	885,14	15,03
4000 kN/m	E4	180	40,96	43,41	5,97
		1000	40,64	42,69	5,03
	E5	180	27,01	29,17	8,02
		1000	27,49	30,91	12,42
	E9	180	759,65	845,85	11,35
		1000	770,20	884,05	14,78
10000 kN/m	E4	180	41,37	43,27	4,58
		1000	40,92	42,19	3,11
	E5	180	27,00	28,93	7,16
		1000	27,12	30,15	11,17
	E9	180	759,64	844,76	11,20
		1000	770,53	881,94	14,46

Tablo 6.42 dikkatlice incelendiği zaman görülecektir ki E9 noktasında meydana gelen gerilme değişiminin donatı rijitliğinin önemli bir etkisi olmadığı görülecektir. Ancak donatı rijitliğinin E4 ve E5 noktalarında hesaplanan gerilmeler üzerinde az da olsa bir etkisi olduğu ortaya çıkacaktır. Örnek vermek gerekirse, E4 noktasında donatı rijitliğinin 1180 kN/m olduğu durumda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim 180 ve 1000 gün sonunda sırasıyla %6,10 ve %6,40 iken, donatı rijitliği 10000 kN/m olduğu zaman, E4 noktasında hesaplanan gerilme miktarındaki değişim 180 ve 1000 gün sonunda sırasıyla %4,58 ve %3,11 olarak hesaplanmıştır.

P1 ve P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı trafik yükü etkidikten hemen sonra artmaktadır. Trafik yükünden dolayı 180. günde meydana gelen değişim aşağıdaki Tablo 6.43'ten görülebilmektedir.

Tablo 6.43. *P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı*

		1180 kN/m	4000 kN/m	10000 kN/m
P1	Normal	1,30	0,92	0,94
	Trafik	4,36	4,24	4,19
P2	Normal	5,45	3,74	3,82
	Trafik	7,98	6,21	6,31

Donatı rijitliğinden bağımsız olarak, tüm durumlarda trafik yükünün etkimesiyle artan aşırı boşluk suyu basıncı 180. günde en yüksek seviyesine ulaşmakta daha sonra tekrardan azalmaya başlamaktadır. Ayrıca P1 noktasında trafik yükünden dolayı meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı 1180 kN/m, 4000 kN/m ve 10000 kN/m için sırasıyla 3,09 kPa, 3,32 kPa ve 3,25 kPa'dır. Bu sonuçlardan görülebileceği üzere P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı donatı rijitliğinden bağımsızdır. Aynı sıralama ile P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncına bakıldığı zaman meydana gelen artış miktarı sırasıyla 2,53 kPa, 2,47 kPa ve 2,49 kPa'dır. Bu sonuçlara göre P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı da donatı rijitliğinden bağımsızdır.

Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarındaki değişim incelendiği zaman donatı rijitliği 10000 kN/m olduğu zaman, trafik etkisinden dolayı neredeyse hiçbir farklılık meydana gelmemektedir. Tablo 6.44'te dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarında trafik yüküne bağlı olarak meydana gelen değişim görülmektedir.

Tablo 6.44. *180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi*

		1180 kN/m	4000 kN/m	10000 kN/m
Normal	180	95,99	81,24	78,11
	1000	99,82	83,90	80,86
Trafik	180	105,54	90,55	79,24
	1000	119,43	101,22	80,86
Değişim (%)	180	9,94	11,45	1,44
	1000	19,64	20,64	0,00

Tablo 6.44'e göre donatı rijitliği 1180 kN/m ve 4000 kN/m olduğu zaman hem 180 gün hem de 1000 gün sonunda trafik yüküne bağlı olarak meydana gelen yüzdelik değişim sırasıyla yaklaşık olarak %10 ve %20 olarak hesaplanmıştır.

Aşağıdaki Tablo 6.45'te ise, trafik yükünden dolayı yatay deplasmanda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu tablodan görülebileceği üzere donatı rijitliği arttıkça yatay deplasmanda meydana gelen değişim artmaktadır. Buna ek olarak donatı rijitliği 1180 kN/m olduğu zaman 180 gün ve 1000 gün sonunda meydana gelen artış miktarı yüzdelik olarak birbirine eşit iken, diğer durumlarda zaman geçtikçe yatay deplasmanda meydana gelen artış azalmıştır.

Tablo 6.45. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		1180 kN/m	4000 kN/m	10000 kN/m
Normal	180	35,41	27,87	25,45
	1000	36,58	29,28	26,72
Trafik	180	39,83	32,21	29,59
	1000	41,13	33,23	30,47
Değişim (%)	180	12,48	15,57	16,24
	1000	12,46	13,47	14,03

6.6.2.2. Donatı sayısının davranışa olan etkisi

Donatı sayısının trafik yükü etkileyen dolgu davranışına olan etkisinin anlaşılabilmesi için iki ve üç sıralı donatı tabakaları dolgu içerisine yerleştirilmiştir. Her iki donatı sayısı da yukarıda da söylendiği üzere dolgu içerisinde beş farklı şekilde yerleştirilmiştir. 2 adet donatıya sahip analizler, trafik yükü olmayan durumdan seçilen 1. durum, 2. durum, 3. durum, 4. durum ve 6. durum seçilmiştir. 3 adet donatı kullanılan analizlerde ise 1. durum, 2. durum, 3. durum, 4. durum ve 5. durum kullanılmıştır.

6.6.2.2.1. İki adet donatı kullanılan dolgunun trafik yükü altında davranışı

2 katmanlı donatılı dolgunun trafik yükü altındaki davranışının incelenmesine öncelikle kazık başlıkları ve doğal zemin yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı ve değişikliklerinin incelenmesi ile başlamıştır. Öncelikle S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yükü uygulandıktan sonra meydana gelen oturma miktarındaki artışa bakılmıştır. Her nokta için, trafik yükü etkidikten hemen sonra ve 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarının değişimi hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değişim miktarı aşağıdaki Tablo 6.46'da verilmiştir.

Trafik yükü etkidikten hemen sonra meydana gelen en az değişim S1 noktası için 4. durumda, S2 noktasında 1. durumda, S3 noktasında 3. durumda ve S4 noktasında 4. durumda hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda meydana gelen en düşük oturma miktarı

değişimi aynı sıralama ile 2. durumda, 6. durumda, 4. durumda ve tekrardan 4. durumda hesaplanmıştır. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik etkisi ve trafik etkisi olmadan hesaplanan oturma miktarları ile bunların karşılaştırması aşağıdaki Tablo 6.47’de verilmiştir.

Tablo 6.46. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim

		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	6. Durum
S1	180	-	-	-	-	-
	180	1,93	1,46	1,63	1,09	1,11
	1000	34,35	20,83	30,05	21,71	21,31
S2	180	-	-	-	-	-
	180	0,99	4,21	4,19	3,17	3,22
	1000	32,73	17,58	28,91	16,50	16,38
S3	180	-	-	-	-	-
	180	6,96	6,93	6,75	7,32	7,36
	1000	45,07	22,35	40,98	21,47	21,55
S4	180	-	-	-	-	-
	180	4,84	4,14	4,56	3,46	3,47
	1000	40,42	25,31	33,87	25,04	25,05

Tablo 6.47. Farklı günler ve donatı yerleşimi için trafik yükünün etkisi

		Normal					Trafik				
		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	6. Durum	1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	6. Durum
S1	180	18,43	20,78	17,30	22,22	22,22	18,78	21,08	17,58	22,46	22,46
	250	19,18	21,18	18,02	23,10	23,09	20,60	22,97	19,03	24,68	24,62
	500	20,93	22,18	19,56	24,43	24,43	23,06	24,73	21,24	26,68	26,68
	1000	22,07	22,61	20,80	24,98	24,98	24,76	25,11	22,49	27,05	26,95
S2	180	45,72	63,22	41,24	52,63	52,61	46,17	65,88	42,97	54,30	54,31
	250	47,09	63,86	42,37	53,83	53,80	49,65	70,69	45,75	58,10	58,06
	500	50,35	65,17	45,26	55,55	55,54	55,45	73,52	49,93	60,78	60,80
	1000	53,09	65,82	48,06	56,35	56,34	60,68	74,34	53,16	61,32	61,23
S3	180	61,30	74,29	62,06	84,68	84,94	65,56	79,44	66,25	90,87	91,19
	250	63,46	74,75	63,73	86,01	86,28	72,60	87,26	74,70	98,84	99,26
	500	69,32	75,53	68,57	87,82	88,09	81,48	90,28	81,91	102,30	102,51
	1000	74,34	75,95	73,29	88,70	88,97	88,92	90,89	87,50	102,85	103,25
S4	180	22,98	33,07	23,70	28,91	28,87	24,10	34,44	24,78	29,91	29,87
	250	23,68	33,26	24,23	29,73	29,69	27,65	38,85	27,78	33,72	33,70
	500	25,42	33,75	25,70	30,89	30,86	30,62	41,16	30,37	35,96	35,78
	1000	26,50	34,05	27,01	31,46	31,40	32,27	41,44	31,73	36,15	36,10

S1 noktasında trafik yükünün etkisine bakıldığı zaman, 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarındaki değişim en az 1,69 mm ile 3. durum için hesaplanmıştır. S2 noktasında 1000 gün sonunda meydana gelen en düşük değişim ise 4,89 mm ile 6. Durumdadır. S3 ve S4 noktası incelendiğinde ise 1000 gün sonunda meydana gelen en düşük değişim sırasıyla 14,15 mm ve 4,69 mm ile 4. durumda hesaplanmıştır.

E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilme miktarı incelendiği zaman 180 gün sonunda en düşük artış oranları sırasıyla %2,69, %5,32 ve %10,20 olarak hesaplanmış, 1000 gün sonunda meydana gelen farklılık ise sırasıyla %4,92, %5,32 ve %9,44 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler aşağıdaki Tablo 6.48’de verilmiştir. 180 gün sonunda meydana gelen en düşük değişimler sırasıyla 4. durum, 4. durum ve 2. durumda gözlemlenmiştir. 1000 gün sonunda gözlemlenen en düşük farklılık ise sırasıyla 6. durum, 2. durum ve 2. durum için hesaplanmıştır. Ayrıca E4, E5 ve E9 noktalarında meydana gelen en az sayısal değişim ise 180 gün sonunda sırasıyla 1,22 kPa, 1,96 kPa ve 50,39 kPa ile E4 ve E5 için 4. durumda E9 için 2. durumda hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda E4, E5 ve E9 noktalarında sayısal olarak meydana gelen en az değişim ise sırasıyla 0,87 kPa, 0,72 kPa ve 47 kPa olarak, 6. durum ve 2. durum için hesaplanmıştır. E4, E5 ve E9 noktalarında 1000 gün sonunda sayısal olarak meydana gelen en yüksek değişim sırası ile 5,08 kPa, 3,04 kPa ve 116,26 kPa olarak hesaplanmıştır.

P1 ve P2 noktalarında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncında trafik yükü etkidikten hemen sonra bir artış olmaktadır. Ancak trafik yükünün etkime anından hemen sonra aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenmeye başlamaktadır. Bu nedenle hem P1 hem de P2 noktalarında trafik yükü etkidikten sonra görülen maksimum boşluk suyu basıncı 180. gün sonunda hesaplanmıştır. P1 noktasında 180 gün sonunda hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 1. durumdan 6. duruma kadar sırasıyla 27,72 kPa, 6,56 kPa, 4,69 kPa, 4,35 kPa ve 4,38 kPa’dır. P2 noktası için trafik yükü etkidikten sonra hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı ise sırasıyla her bir durum için 24,20 kPa, 6,92 kPa, 9,77 kPa, 7,98 kPa ve 7,99 kPa’dır. Elde edilen bu değerlerin trafik yükünün etkilediği durumlar ile karşılaştırılması aşağıdaki Şekil 6.49’de görülebilir.

P1 noktasında 12 kPa’lık trafik yükü etmesinden sonra meydana gelen boşluk suyu basıncı ortalama olarak 3,67 kPa artar iken P2 noktasında ortalama 2,48 kPa artmaktadır.

Tablo 6.48. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
1. Durum	E4	180	34,81	38,76	11,34
		1000	36,90	40,28	9,15
	E5	180	30,31	33,45	10,35
		1000	29,79	32,54	9,22
	E9	180	574,35	661,91	15,25
		1000	748,68	853,21	13,96
2. Durum	E4	180	42,37	46,95	10,80
		1000	42,72	47,80	11,88
	E5	180	39,77	42,45	6,75
		1000	39,34	40,06	1,83
	E9	180	493,95	544,34	10,20
		1000	497,77	544,77	9,44
3. Durum	E4	180	37,16	42,43	14,18
		1000	35,90	37,79	5,26
	E5	180	27,74	30,26	9,08
		1000	20,96	24,00	14,53
	E9	180	678,00	770,03	13,57
		1000	773,41	889,67	15,03
4. Durum	E4	180	45,55	46,77	2,69
		1000	45,09	45,97	1,97
	E5	180	36,85	38,81	5,32
		1000	37,53	40,01	6,61
	E9	180	749,85	843,56	12,50
		1000	771,36	880,55	14,16
6. Durum	E4	180	45,65	46,92	2,79
		1000	45,17	46,04	1,92
	E5	180	36,85	38,86	5,45
		1000	37,55	39,96	6,42
	E9	180	749,19	843,19	12,55
		1000	770,19	879,95	14,25

Tablo 6.49. *P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı*

		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	6. Durum
P1	Normal	23,70	1,03	1,98	1,31	1,31
	Trafik	27,72	6,56	4,69	4,35	4,38
P2	Normal	22,05	3,92	7,57	5,46	5,45
	Trafik	24,20	6,92	9,77	7,98	7,99

Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı da donatı yerleşiminden etkilenmektedir. 180. günde trafik yükünün etkimesinden dolayı hesaplanan oturma miktarında meydana gelen oturma miktarı en az 2. durumda %9,56 olarak hesaplanırken, meydana gelen en yüksek değişim ise %12,14 olarak 3. durumda hesaplanmıştır. 1000 gün sonuna gelindiği zaman, trafik yükünden dolayı oturma miktarında meydana gelen değişim miktarı artmaktadır. Trafik yükü olmayan ve olan durumlar 1000 gün sonunda karşılaştırıldığı zaman en az değişim %17,20 ile 4. durumda, en yüksek değişim ise %21,18 ile 1. durumda hesaplanmıştır. Diğer durumlar için dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarları ve trafik yükünün olmadığı durumlar ile karşılaştırılması Tablo 6.50’de detaylı olarak görülebilir.

Tablo 6.50. *180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi*

		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	6. Durum
Normal	180	76,92	76,60	76,68	96,69	96,10
	1000	88,55	78,06	86,37	100,48	99,90
Trafik	180	85,89	83,93	85,99	106,23	105,70
	1000	107,30	93,85	103,80	117,76	117,37
Değişim (%)	180	11,66	9,56	12,14	9,88	9,99
	1000	21,18	20,23	20,17	17,20	17,48

Dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıktaki yatay deplasman miktarı da trafik yükünün etkimesi ile birlikte artmaktadır. Hesaplanan en az değişim %9,63 ile 180 gün sonunda 3. durumda meydana gelirken en yüksek değişim ise %14,56 ile 1000 gün sonunda 1. durumda meydana gelmiştir. Meydana gelen yatay deplasman miktarı ile bu miktarın 180 ile 1000. günlerde trafik yükünün etkilediği sonuçlar ile karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 6.51’den görülebilir.

Tablo 6.51. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	6. Durum
Normal	180	61,04	43,97	51,91	34,86	44,59
	1000	51,71	44,64	44,31	35,84	44,57
Trafik	180	67,00	50,37	56,91	39,24	49,87
	1000	59,24	50,51	49,82	40,06	49,56
Değişim (%)	180	9,77	14,53	9,63	12,57	11,83
	1000	14,56	13,17	12,44	11,77	11,18

6.6.2.2.2. Üç adet donatının davranışa olan etkisi

Kazık destekli donatılı dolgu inşası sırasında üç adet donatı kullanılmasının trafik yükü etkidikten sonra davranışının ne şekilde değişeceği bu bölümde incelenmiştir. Beş farklı donatı yerleşim durumu için yapılan sonlu elemanlar analizleriyle birlikte, her bir durum için meydana gelen oturma miktarları, aşırı boşluk suyu basıncı, belirli noktalarda hesaplanmış gerilmeler, ve yatay deplasman miktarı karşılaştırılmıştır. Trafik yükü etkisinin anlaşılabilmesi için her bir durum trafik yükünün olmadığı durum ile karşılaştırılmıştır.

Trafik yükü etkimeden hemen önce ve trafik yükü etkidikten hemen sonra hesaplanan oturma miktarı karşılaştırıldığı zaman, hesaplanan oturma miktarında meydana gelen en düşük değişim S1, S2, S3, S4 noktaları için sırası ile %1,09, %3,20, %7,54 ve %3,54 olarak 5. durumda hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda aynı noktalarda meydana gelen en az değişiklik ise sırası ile %20,86, %16,49, %21,81 ve %23,81 olarak hesaplanmıştır. Diğer durumlar için hesaplanan değişim miktarı ise Tablo 6.52’de verilmiştir.

S1, S2, S3 ve S4 meydana gelen oturma miktarları ve trafik yükünün etkimeydiği zaman meydana gelen oturma miktarları Tablo 6.53’te verilmiştir. Bu tabloda ayrıca 250 ve 500 gün gibi ara günler için de hesaplanan oturma miktarları da görülebilmektedir. S1 noktasında trafik olmadığı durumda 1000 gün sonunda hesaplanan en az oturma 21,47 mm ile 2. durumda gözlemlenirken, trafik olduğu zaman en az oturma miktarı 3. durumda 23,93 mm olarak hesaplanmıştır. S2 noktasında ise her iki durumda da hesaplanan en düşük oturma miktarı 4. durumda hesaplanmıştır. S3 noktasında hesaplanan en düşük oturma miktarı ise trafiksiz durumda 74,95 mm, trafik etkisi altında 90,21 mm ile 1. durumda gözlemlenmektedir. S4 noktasındaki en düşük oturma miktarı

trafiksiz durumda 2. durumda 27,47 mm olarak, trafik olduğu zaman ise 32,16 mm ile 3. durumda hesaplanmıştır.

Tablo 6.52. *Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim*

		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum
S1	180	-	-	-	-	-
	180	2,08	1,13	1,13	1,10	1,09
	1000	35,81	20,86	21,03	21,13	21,62
S2	180	-	-	-	-	-
	180	4,77	3,38	3,43	3,49	3,20
	1000	33,07	16,77	17,01	17,43	16,49
S3	180	-	-	-	-	-
	180	8,14	9,16	9,05	8,70	7,54
	1000	44,40	25,92	25,86	24,49	21,81
S4	180	-	-	-	-	-
	180	19,09	4,16	4,18	3,85	3,54
	1000	65,05	24,09	23,81	24,96	25,27

Üç adet donatılı dolgular için E4, E5 ve E9 noktalarında meydana gelen değişimler incelendiği zaman 180 gün sonunda E4 noktasında trafik yükünün etkisinden dolayı meydana gelen en düşük değişim %3,22 ile 5. durumda hesaplanmıştır. E5 noktasında 180 gün sonunda trafik yükünden dolayı meydana gelen en az değişim %5,49 ile 5. durumda hesaplanırken, E9 noktasında meydana gelen en düşük değişim %10,18 ile 3. durumda hesaplanmıştır. Diğer durumlar için aynı sürede hesaplanan değişim miktarı Şekil 6.54'te görülebilir.

Tablo 6.53. Farklı günler ve donatı yerleşimi için trafik yükünün etkisi

		Normal					Trafik				
		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum	1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum
S1	180	18,38	19,86	19,77	19,87	22,24	18,77	20,08	20,00	20,09	22,49
	250	19,12	20,54	20,47	20,32	23,26	21,64	21,93	21,74	21,89	24,71
	500	20,94	21,14	21,45	21,39	24,68	23,44	23,73	23,59	23,71	26,69
	1000	22,59	21,47	21,82	21,82	25,26	24,97	24,00	23,93	24,07	27,05
S2	180	49,30	47,10	47,11	45,98	52,72	51,65	48,69	48,72	47,58	54,41
	250	50,76	47,93	47,95	46,58	54,06	57,81	52,14	52,06	50,98	58,20
	500	54,41	48,73	49,17	47,83	55,94	61,63	54,59	54,58	53,39	60,88
	1000	58,14	49,18	49,70	48,39	56,75	65,60	55,00	55,12	53,99	61,41
S3	180	62,47	76,20	76,04	73,46	84,31	67,56	83,18	82,93	79,85	90,67
	250	64,31	77,01	76,87	74,10	85,76	79,40	91,59	91,40	81,56	98,63
	500	69,54	77,85	78,15	75,20	87,85	84,63	95,05	95,08	90,89	102,11
	1000	74,95	78,32	78,73	75,79	88,77	90,21	95,95	95,71	91,45	102,70
S4	180	25,35	26,13	25,98	26,01	28,92	30,19	27,21	27,06	27,01	29,94
	250	25,95	26,69	26,55	26,44	29,85	39,35	30,17	29,97	30,28	33,72
	500	27,60	27,19	27,38	27,23	31,19	39,76	32,16	31,98	32,21	35,97
	1000	29,01	27,47	27,73	27,66	31,77	41,84	32,42	32,16	32,50	36,23

1000 gün sonunda E4 noktasında trafik yükünün olmadığı durum ile trafik yükü olmadığı durum karşılaştırıldığı zaman, meydana gelen en düşük değişim %2,74 ile 5. durumda hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda E5 noktasında trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim %6,65 ile 2. durumda hesaplanmıştır. E9 noktasında meydana gelen en az değişim ise %14,24 ile 5. durum da gözlemlenmiştir. Trafik yükü etkidikten sonra hesaplanan gerilmelerde meydana gelen artışlara bakıldığı zaman E4 ve E5 noktalarında, uygulanan trafik yükü olan 12 kPa'dan oldukça küçük artışlar meydana gelirken, E9 noktasında ortalama olarak 112 kPa'lık bir artış meydana gelmiştir.

Aşırı boşluk suyu basıncı dolgu inşaatının bittiği 55. Günden itibaren azalırken, trafik yükünün uygulanmasıyla tekrardan artmıştır. Ancak bu artış, hemen azalmaya başlamıştır. Bu nedenle hem P1 hem de P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı en yüksek 180. gün sonunda gözlemlenmiştir. P1 ve P2 noktasında 180. gündeki aşırı boşluk suyu basıncı trafik yükünün etkilediği ve etkilediği koşulların karşılaştırılması Tablo 6.55'te verilmiştir.

Tablo 6.54. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
1. Durum	E4	180	24,92	29,30	17,58
		1000	31,99	34,58	8,11
	E5	180	25,00	29,60	18,37
		1000	31,79	35,63	12,06
	E9	180	597,20	685,10	14,72
		1000	726,09	849,38	16,98
2. Durum	E4	180	44,47	48,14	8,25
		1000	44,58	49,02	9,95
	E5	180	29,48	31,10	5,51
		1000	29,83	31,81	6,65
	E9	180	731,40	806,23	10,23
		1000	740,94	849,66	14,67
3. Durum	E4	180	43,93	47,61	8,37
		1000	44,05	48,42	9,92
	E5	180	29,60	31,29	5,70
		1000	29,89	32,19	7,68
	E9	180	737,38	812,43	10,18
		1000	746,39	853,21	14,31
4. Durum	E4	180	39,26	41,61	5,98
		1000	38,90	41,70	7,20
	E5	180	33,00	34,97	5,97
		1000	33,31	36,36	9,15
	E9	180	755,40	842,47	11,53
		1000	768,77	884,05	15,00
5. Durum	E4	180	45,15	46,60	3,22
		1000	44,74	45,97	2,74
	E5	180	36,75	38,77	5,49
		1000	37,44	39,98	6,79
	E9	180	753,12	843,77	12,04
		1000	771,40	881,25	14,24

Tablo 6.55. *P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı*

		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum
P1	Normal	21,89	0,96	0,95	1,04	1,27
	Trafik	26,35	4,87	4,76	4,44	4,46
P2	Normal	20,10	3,88	3,84	4,23	5,33
	Trafik	22,66	6,50	6,44	6,56	7,99

P1 noktasında meydana gelen ortalama aşırı boşluk suyu basıncının tüm durumlar için ortalama 3,75 kPa iken P2 noktasında meydana gelen ortalama aşırı boşluk suyu basıncı artışı 2,55 kPa olarak hesaplanmıştır. Ancak, P1 noktasında trafik yükünden dolayı meydana gelen en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 4,46 kPa ile 1. durumda, P2 noktasında ise 2,66 kPa ile 5. durumda hesaplanmıştır.

Trafik yükü etkidikten sonra dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı ile trafik yükünün olmadığı durum ile karşılaştırılması Tablo 6.56’da görülebilir. Dolgu yüzeyinde meydana gelen en düşük oturma miktarı hem trafik yükü olmadığı zaman hem de trafik yükü olduğu zaman 1. durum da gözlemlenmiştir. Trafik olmadığı zaman hesaplanan oturma miktarı 1000 gün sonunda 85,11 mm iken, trafik yükünün etkisiyle 102,58 mm’ye çıkmaktadır. Bu sırada meydana gelen değişim ise %20,52 olarak hesaplanmıştır. Ancak trafik yükünden dolayı meydana gelen en düşük artış 17,16 mm ile 5. durumda hesaplanmaktadır. Ayrıca meydana gelen en düşük yüzdelik değişim de %16,98 ile 5. durumda hesaplanmıştır.

Tablo 6.56. *180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi*

		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum
Normal	180	73,72	85,82	85,91	84,22	96,86
	1000	85,11	87,84	88,46	86,43	101,09
Trafik	180	81,50	96,16	96,15	94,06	106,66
	1000	102,58	108,42	108,38	105,18	118,25
Değişim (%)	180	10,55	12,05	11,92	11,68	10,13
	1000	20,52	23,44	22,51	21,70	16,98

Dolgunun tepe noktasında 180. günde trafik etkisi ile meydana en düşük oturma miktarı 81,50 mm ile 1. durumda hesaplanmış iken, trafik etkisi ile meydana gelmiş en düşük yüzdelik değişim ise %10,13 ile 5. durumda gözlemlenmiştir.

Üç donatı kullanılarak inşa edilen dolguların, dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta meydana gelen yatay deplasmanların trafik yükünün etkisiyle meydana gelen değişim Tablo 6.57’de görülebilir. 180 ve 1000 gün sonunda doğal zemin yüzeyinde hesaplanan yatay deplasman miktarı sırasıyla en düşük 42,64 mm ve 42,57 mm olarak hesaplanmıştır. Aynı günlerde trafik yüklemesi olmadığı zaman hesaplanmış olan yatay deplasman en düşük olarak yine 4. durumda 37,36 mm ile 37,66 mm olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.57. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum
Normal	180	58,93	37,39	37,45	37,36	43,79
	1000	51,35	37,81	37,96	37,66	43,87
Trafik	180	64,73	42,86	42,87	42,64	49,06
	1000	59,81	42,69	42,80	42,57	48,70
Değişim (%)	180	9,83	14,62	14,48	14,13	12,04
	1000	16,48	12,92	12,73	13,05	11,02

Ancak yüzdelik olarak meydana gelen en az değişim 180 gün için %9,83 ile 1. durumda 1000 gün için ise %11,02 ile 5. durumda hesaplanmıştır.

6.6.3. Dolgu özelliklerinin trafik yükü etkisi altında davranışa olan etkisi

Bu bölümde inşa edilen dolgunun malzeme özelliklerinin trafik yükü altındaki davranışa olan etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda yapılan sonlu elemanlar analizlerinde elastisite modülü ile içsel sürtünme açısının farklı değerleri seçilerek, bu parametrelerin davranışa olan etkisi araştırılmıştır.

6.6.3.1. Elastisite modülünün etkisi

Elastisite modülünün trafik yükü etkisi altındaki kazıkla desteklenmiş donatılı dolgunun davranışına olan etkisinin araştırılabilmesi için farklı dolgu elastisite modelleri seçilerek sonlu elemanlar programında hesaplamalar yapılmıştır. 20000 kN/m, 33000 kN/m ve 37000 kN/m olarak seçilen elastisite modülleri seçilerek trafik yükünün etkisi altındaki kazık ile destekli donatılı dolgunun davranışı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu analizler sonucunda hesaplanan oturma miktarları, gerilmeler, aşırı boşluk suyu basıncı ve yatay deplasman, aynı elastisite modülüne sahip fakat trafik yükünün etkilediği sonuçlar ile karşılaştırılarak, trafik yükünden dolayı meydana gelen değişimler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

S1, S2, S3 ve S4 noktasında trafik yükü etkidikten sonra meydana gelen değişimler Tablo 6.58’de verilmiştir. Bu tabloya göre dolgu inşasının başlamasından 180 gün sonra trafik yükünün etkimesinden hemen sonra S1, S2, S3 ve S4 noktasında meydana gelen en az değişim miktarı sırasıyla %1,05, %3,31, %7,37 ve %3,52 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.58. *Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim*

		20000 kN/m	33000 kN/m	37000 kN/m
S1	180	-	-	-
	180	1,18	1,05	1,19
	1000	21,47	19,97	20,73
S2	180	-	-	-
	180	3,31	3,46	3,45
	1000	16,86	16,98	17,59
S3	180	-	-	-
	180	7,37	7,72	7,75
	1000	23,64	22,91	23,55
S4	180	-	-	-
	180	3,52	3,59	3,69
	1000	24,05	23,04	23,58

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yükü etkileden hemen önce hesaplanan oturma değeri ile trafik yükü etkidikten sonra ve dolgu inşasının başlamasından 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarına oranlandığı zaman hesaplanan en düşük oturma miktarı sırasıyla %19,97, %16,86, %22,91 ve %23,04’tür.

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yükü etkileden hemen önce hesaplanan en düşük oturma miktarları dolgu elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu durumda hesaplanmıştır. Hesaplanan bu oturma miktarları sırası ile 20,09 mm, 44,43 mm, 72,55 mm ve 25,70 mm’dir. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yükü etkidikten hemen sonra hesaplanan en düşük oturma miktarları ise sırasıyla 20,33 mm, 45,97 mm, 78,17 mm ve 26,65 mm’dir. Bu değerler dolgu elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu durumda hesaplanmıştır. Kazık destekli donatılı dolgu inşası başladıktan 1000 gün sonra ve trafik yükü etkilediği zaman S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan en düşük oturma miktarı sırası ile 21,32 mm, 45,98 mm, 73,88 mm ve 26,50 mm’dir. Hesaplanmış olan bu oturma miktarları dolgu elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu zaman bulunmuştur. Ancak aynı süre sonucunda, trafik yükü uygulandığı zaman hesaplanan en düşük oturma miktarları S1, S2, S3 ve S4 noktaları için sırasıyla 24,19 mm, 52,25 mm, 89,63 mm ve

31,76 mm olarak hesaplanmıştır. Bu oturmalar S1 noktasında dolgu elastisite modülünün 33000 kN/m olduğu durumda hesaplanmışken, diğer noktalarda dolgu elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu durumda hesaplanmıştır. Tablo 6.59’da yukarıda bahsedilen tüm değerler ile birlikte meydana aynı günler için aynı noktalarda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişimler yüzdelik olarak bulunabilir. Tablo 6.59’da ayrıca 250 ve 500 günler için hesaplanan oturma miktarları ile yine bu günlere ait değişim miktarı da görülebilir.

Tablo 6.59. Farklı günler ve donatı yerleşimi için trafik yükünün etkisi

		Normal			Trafik			Yüzdesel Değişim		
		20000 kN/m	33000 kN/m	37000 kN/m	20000 kN/m	33000 kN/m	37000 kN/m	20000 kN/m	33000 kN/m	37000 kN/m
S1	180	22,20	20,16	20,09	22,47	20,37	20,33	1,18	1,05	1,19
	250	23,10	20,55	20,47	24,97	22,03	22,10	8,08	7,18	8,01
	500	24,46	21,25	20,90	26,67	23,88	23,86	9,03	12,37	14,16
	1000	25,03	21,65	21,32	26,97	24,19	24,26	7,77	11,71	13,77
S2	180	52,54	44,83	44,43	54,28	46,38	45,97	3,31	3,46	3,45
	250	53,75	45,36	44,91	59,29	49,45	49,26	10,31	9,01	9,69
	500	55,51	46,15	45,46	61,01	51,91	51,60	9,90	12,48	13,51
	1000	56,33	46,66	45,98	61,40	52,45	52,25	8,99	12,42	13,62
S3	180	85,04	73,26	72,55	91,31	78,91	78,17	7,37	7,72	7,75
	250	86,39	73,75	73,01	103,99	86,21	85,83	20,36	16,89	17,56
	500	88,23	74,34	73,48	104,89	89,38	89,13	18,88	20,23	21,30
	1000	89,14	74,70	73,88	105,14	90,04	89,63	17,95	20,53	21,32
S4	180	28,83	25,93	25,70	29,84	26,86	26,65	3,52	3,59	3,69
	250	29,67	26,29	25,95	34,83	29,73	29,62	17,38	13,09	14,18
	500	30,85	26,68	26,22	35,62	31,64	31,58	15,44	18,60	20,45
	1000	31,44	26,93	26,50	35,76	31,90	31,76	13,75	18,48	19,82

E4, E5 ve E9 noktaları için hesaplanan gerilmeler incelendiği zaman görülmektedir ki E4 noktasında meydana gelen en düşük değişim 180 gün sonunda yani trafik yükü etkileden hemen önce ve hemen sonrası arasındaki fark %6,10 ile elastisite modülü 20000 kN/m olan dolgu malzemesinde hesaplanmıştır. Aynı zaman içerisinde E5 noktasında meydana gelen değişim ise %5,50 ile dolgu elastisite modülünün 20000 kN/m olduğu durumda meydana gelmiştir. E9 noktasında meydana gelen en düşük değişim ise dolgu elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu durumda hesaplanmıştır. E9 noktasında meydana gelen değişim ise %11,26 olarak hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük değişim ise E4, E5 ve E9 noktaları için sırası ile %6,40, %9,82 ve %14,22 olarak bulunmuştur. Farklı dolgu elastisite modülleri için hem trafik yüklemesinin olmadığı hem

de trafik yüklemesinin olduğu durumun karşılaştırılması Tablo 6.60'ta verilmiştir. E4 noktasında 180. günde sayısal olarak meydana gelen en düşük artış ise 2,34 kPa ile elastisite modülü 33000 kN/m iken, E5 noktasında 2,12 kPa ile elastisite modülü 37000 kN/m iken, E9 noktasında ise 89,06 kPa ile elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu durumda hesaplanmıştır. E4, E5 ve E9 noktalarında tüm elastisite modülleri için 180 gün sonunda meydana gelen ortalama değişim ise sırasıyla, 2,47 kPa, 2,03 kPa ve 91,55 kPa olarak bulunmuştur. E4, E5 ve E9 noktalarında 1000 gün sonunda meydana gelen en az değişim dolgu elastisite modülünün 33000 kN/m olduğu zaman hesaplanmıştır. E4, E5 ve E9 noktalarında 1000 gün sonunda meydana gelen en az değişim sırasıyla %6,40, %9,82 ve %14,22 olarak bulunmuştur. E4, E5 ve E9 noktalarında 1000 gün sonunda trafik yükünün olmadığı durumda hesaplanan gerilmeler ile trafik yükünün olduğu durumda hesaplanan gerilmeler arasındaki en düşük fark sırasıyla 2,51 kPa, 3,23 kPa ve 113,82 kPa olarak bulunmuştur. E4, E5 ve E9 noktalarında 1000 gün sonunda meydana gelen ortalama artış ise sırasıyla 3,04 kPa, 3,53 kPa ve 114,7 kPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler tüm elastisite modüllerinde meydana gelen artış miktarlarının ortalaması alınarak bulunmuştur. Tablo 6.60'a bakılarak, yapılan analizler sonucunda hesaplanmış olan tüm bu değerler görülebilir.

Trafik yüklemesi altında farklı dolgu elastisite modülleri kullanılarak yapılan analizlerde görülmektedir ki, dolgu üzerine trafik yükü etkidikten sonra aşırı boşluk suyu basıncında artış görülmüştür. Aşırı boşluk suyu basıncında meydana gelen bu artış 180. gün sonunda en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Tablo 6.61'de hem P1 hem de P2 noktasında trafik yükünden dolayı meydana gelen artış miktarı görülebilir.

Tablo 6.60. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

Kazık Boyu	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
20000 kN/m	E4	180	39,50	41,91	6,10
		1000	39,20	41,71	6,40
	E5	180	32,70	34,5	5,50
		1000	32,90	36,13	9,82
	E9	180	748,37	842,42	12,57
		1000	769,52	885,14	15,03
33000 kN/m	E4	180	35,80	38,14	6,52
		1000	35,36	38,61	9,20
	E5	180	30,51	32,69	7,13
		1000	31,02	34,68	11,81
	E9	180	784,66	876,19	11,67
		1000	800,23	914,05	14,22
37000 kN/m	E4	180	35,04	37,71	7,62
		1000	34,82	38,18	9,63
	E5	180	30,06	32,18	7,06
		1000	30,51	34,20	12,09
	E9	180	791,12	880,18	11,26
		1000	804,65	919,31	14,25

Tablo 6.61. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı

		20000 kN/m	33000 kN/m	37000 kN/m
P1	Normal	1,30	1,02	0,97
	Trafik	4,36	4,00	4,07
P2	Normal	5,45	4,22	4,01
	Trafik	7,98	6,37	6,29

Tablo 6.61’den de görülebileceği üzere 180 gün sonunda trafik yükü etkmeden önce P1 noktasında ortalama olarak 1,09 kPa hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı, trafik yükünün etkmesiyle ortalama olarak 4,14 kPa’la yükselmektedir. P2 noktasında trafik yüklemesi olmadan 180 gün sonunda hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı ortalama olarak 4,56 kPa iken, trafik yükünün etkmesiyle birlikte ortalama olarak 6,88 kPa’la yükselmiştir. Aşırı boşluk suyu basıncında meydana gelen bu yükseliş daha sonraki zamanlarda sönümlenmeye başlamıştır. 1000 gün sonunda tüm farklı elastisite modülleri için aşırı boşluk suyu basıncı 1 kPa’ın altına düşerek sönümlenmiştir.

Trafik yükü altında dolgu yüzeyinde meydana gelen oturmalar farklı dolgu elastisite modülü altında incelendiği zaman 180 gün sonunda hesaplanan en düşük oturma miktarı 86,62 mm'dir. Hesaplanan bu oturma miktarı elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu durumda hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuç trafik yükünün olmadığı durumda hesaplanan ile oranlandığı zaman, trafik yükünden dolayı %9,77'lik artış meydana geldiği görülmüştür. Trafik yükü altında 1000 gün sonunda dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarı tekrardan elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu zaman 97,59 mm olarak hesaplanmıştır. Trafik yükünün etkmediği durumda 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı ile trafik yükünün etkidiği durumdaki 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı oranlandığı zaman, trafik yükünden dolayı %21,74'lük bir artış meydana geldiği görülmektedir. Dolgu elastisite modülünün 20000 kN/m ve 33000 kN/m olduğu durumlar için trafik etkisinin olmadığı ve trafik etkisinin olduğu durumlar için hesaplanan oturma miktarları ve değişim miktarları Tablo 6.62'de görülebilir.

Tablo 6.62. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi

		20000 kN/m	33000 kN/m	37000 kN/m
Normal	180	95,99	80,12	78,91
	1000	99,82	81,47	80,16
Trafik	180	105,54	88,04	86,62
	1000	119,43	98,68	97,59
Değişim (%)	180	9,94	9,88	9,77
	1000	19,64	21,12	21,74

Dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta ve doğal zemin yüzeyinde meydana gelen yatay deplasmanlar incelendiği zaman, trafik yükü etkisi altında hem 180 hem de 1000 gün sonunda meydana gelen artışların, trafik yükü olmadığı zaman hesaplanan yatay deplasmanlar ile oranlandığı zaman meydana gelen artış miktarı 20000 kN/m için sırası ile %12,48 ve %12,46, 33000 kN/m için %12,11 ve %11,99 ve 37000 kN/m olduğu zaman %11,80 ve %11,87 olarak bulunmuştur. Farklı dolgu elastisite modülleri için hesaplanan yatay deplasmanlar Tablo 6.63'te görülmektedir.

Tablo 6.63. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		20000 kN/m	33000 kN/m	37000 kN/m
Normal	180	35,41	30,39	30,38
	1000	36,58	31,57	31,65
Trafik	180	39,83	34,07	33,97
	1000	41,13	35,36	35,40
Değişim (%)	180	12,48	12,11	11,80
	1000	12,46	11,99	11,87

Trafik yükü altında 180 gün sonunda hesaplanan en düşük yatay deplasman 33,97 mm ile elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu durumda hesaplanmıştır. Trafik yükü etkidiği zaman 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük yatay deplasman 35,36 mm ile elastisite modülünün 33000 kN/m olarak bulunmuştur. 180. ve 1000. günde trafik yükünün etkimeidiği zaman ile trafik yükü etkidiği zaman arasındaki en düşük fark sırasıyla %11,80 ve %11,87 olarak hesaplanmıştır. Meydana gelen bu en düşük değişimler elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu durumda hesaplanmıştır.

6.6.3.2. İçsel sürtünme açısının etkisi

Kazıkla desteklenmiş donatılı dolguların trafik yükü altındaki davranışına, dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının etkisini araştırmak için iki farklı içsel sürtünme açısı seçilmiştir. Seçilen değerler 28 derece ve 40 derecedir. Yapılan analizler sonucunda hesaplanan oturma miktarı, meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı, hesaplanan gerilmeler ve yatay deplasmanlar karşılaştırılarak, dolgu içsel sürtünme açısının trafik yükü altında dolgu davranışına olan etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarının trafik yükü etkidikten hemen sonra ve 1000 gün sonra meydana gelen değişim Tablo 6.64’te verilmiştir. Tablo 64’e bakıldığı zaman trafik yükü etkidikten sonra ve 1000 gün sonunda 28 derece içsel sürtünme açısı için S1, S2, S3 ve S4 noktalarında, trafik yükü etkimeiden hemen önce hesaplanan oturma miktarında meydana gelen değişim %21,41, %16,76, %23,63 ve %24,03 olarak hesaplanmıştır. İçsel sürtünme açısı 40 derece olduğu zaman bu değişim sırasıyla %19,84, %15,91, %21,21 ve %22,01 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan görülebileceği üzere değişim miktarı neredeyse dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısından bağımsız olduğu görülmüştür.

Tablo 6.64. *Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim*

		28 Derece	40 Derece
S1	180	-	-
	180	1,13	0,77
	1000	21,41	19,84
S2	180	-	-
	180	3,23	2,93
	1000	16,76	15,91
S3	180	-	-
	180	7,36	7,24
	1000	23,63	21,21
S4	180	-	-
	180	3,50	2,88
	1000	24,03	22,01

Tablo 6.65'te ise trafik yüklemesinin olmadığı koşullar ile trafik yüklemesinin olduğu koşullar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılır iken trafik yüklemesinin etkmediği zaman belirli günlerde hesaplanan oturma miktarları ile trafik yükünün etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı oranlanmış ve değişim miktarı verilmiştir. 28 derecelik içsel sürtünme açısı için S1 noktasında trafik yükü olmadığı zaman 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı 25,32 mm iken, trafik yükü etkidiği zaman 26,97 mm olarak hesaplanmaktadır. İçsel sürtünme açısı 40 derece olduğu zaman aynı süre zarfında trafik yükü olmadığı zaman hesaplanan oturma miktarı 21,37 mm iken trafik yükü etkiyince hesaplanan oturma miktarı 24,13 mm'dir. Aynı gün için trafik yükünün olmadığı durum ile trafik yükünün etkidiği durum arasındaki fark 28 ve 40 derece içsel sürtünme açısı için sırasıyla %6,51 ve %12,92 olarak hesaplanmıştır. S2 noktasında 28 derece içsel sürtünme açısı ile 1000 gün sonunda trafik yükünün olmadığı durumda hesaplanan oturma miktarı 56,46 mm iken, trafik yükü etkidiği zaman 61,40 mm olmaktadır. İçsel sürtünme açısı 40 dereceye çıktığı zaman ise trafik yükü olmadığı zaman hesaplanan oturma miktarı 46,06 mm iken trafik yükünün olduğu durumda 51,64 mm'dir. Trafik yükünün olmadığı durum ile trafik yükünün etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı oranlandığı zaman içsel sürtünme açısı 28 derece ve 40 derece için sırasıyla meydana gelen oturma artışı %8,75 ile %12,11 olarak hesaplanmıştır. S3 noktasına bakıldığı zaman, 28 derecelik içsel sürtünme açısına sahip dolgu için, 1000 gün sonunda trafik yükü olmadığı durumda ve trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan oturma

miktarı sırası ile 89,07 mm ve 105,14 mm'dir. Meydana gelen değişim ise %18,04 olarak hesaplanmıştır. İçsel sürtünme açısı 40 derece olduğu zaman S3 noktasında trafik yükü etkmediği ve trafik yükünün etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı sırası ile 70,18 mm ve 83,66 mm'dir. Bu durumda meydana gelen değişim ise %19,21 olarak hesaplanmıştır. S4 noktası incelendiği zaman ise içsel sürtünme açısı 28 derece ve 40 derece için trafik yükü olmadığı durumda 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı sırası ile 31,83 mm ile 27,68 mm'dir. Trafik yükünün etkidiği analizler sonucu 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı sırası ile 35,76 mm'ye ve 32,79 mm'ye yükselmiştir. Hesaplanan değişimler ise %12,34 ve %18,47 olmuştur. 180, 250 ve 500 gün için hem trafik yükünün etkmediği hem de trafik yükünün etkidiği için S1, S2, S3 ve S4 noktaları için hesaplanan oturma miktarları ve değişimler Tablo 6.65'te görülebilir.

Tablo 6.65. Farklı günler ve donatı yerleşimi için trafik yükünün etkisi

		Normal		Trafik		Yüzdesel Değişim	
		28 Derece	40 Derece	28 Derece	40 Derece	28 Derece	40 Derece
S1	180	22,22	20,14	22,47	20,29	1,13	0,77
	250	23,65	20,54	24,97	22,08	5,58	7,51
	500	25,01	20,97	26,67	23,83	6,65	13,59
	1000	25,32	21,37	26,97	24,13	6,51	12,92
S2	180	52,58	44,55	54,28	45,86	3,23	2,93
	250	54,32	44,55	59,29	48,95	9,14	9,87
	500	56,03	45,42	61,01	51,24	8,87	12,81
	1000	56,46	46,06	61,40	51,64	8,75	12,11
S3	180	85,04	69,02	91,31	74,02	7,36	7,24
	250	86,92	69,55	103,99	80,42	19,64	15,62
	500	88,71	69,92	104,89	83,17	18,23	18,95
	1000	89,07	70,18	105,14	83,66	18,04	19,21
S4	180	28,83	26,88	29,84	27,65	3,50	2,88
	250	30,40	27,26	34,83	30,61	14,56	12,26
	500	31,66	27,48	35,62	32,51	12,49	18,29
	1000	31,83	27,68	35,76	32,79	12,34	18,47

Dolgu içsel sürtünme açısının etkisinin E4, E5 ve E9 noktalarında trafik yükü etkisi altındaki etkisi incelendiği zaman görülmüştür ki, içsel sürtünme açısı arttıkça E4 ve E5 noktasında, trafik yükünden dolayı meydana gelen gerilme artışı içsel sürtünme açısı artarken azalmaktadır. E9 noktasında ise içsel sürtünme açısı artarken, bu noktadaki trafik yükünden dolayı meydana gelen gerilme artışı artmaktadır. Tablo 6.66'da 180 ve 1000

gün sonunda trafik yükünün etkidiği ve trafik yükünün etkimeidiği durumlarda E4, E5 ve E9 noktalarında meydana gelen değişimler verilmiştir. Dolgu malzemesinin 28 derecelik içsel sürtünme açısı olduğu durumda, trafik yüklemesinin olduğu durum ile trafik yüklemesinin olmadığı durumda E4 noktasında 2,51 kPa, E5 noktasında 3,23 kPa ve E9 noktasında 119,03 kPa olarak hesaplanmıştır. Bu noktalarda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim miktarı ise sırasıyla %6,10, %6,40 ve %15,54 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.66. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

İçsel Sürtünme Açısı	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
28 Derece	E4	180	39,50	41,91	6,10
		1000	39,20	41,71	6,40
	E5	180	32,70	34,5	5,50
		1000	32,90	36,13	9,82
	E9	180	748,40	842,42	12,56
		1000	766,11	885,14	15,54
40 Derece	E4	180	32,50	33,73	3,78
		1000	32,33	33,41	3,35
	E5	180	30,07	32,35	7,58
		1000	30,65	33,61	9,67
	E9	180	783,25	888,35	13,42
		1000	797,82	922,33	15,61

İçsel sürtünme açısı 40 derece olan dolgu malzemesi ile inşa edilmiş dolgu kullanıldığı zaman; E4, E5 ve E9 noktalarında trafik yükünden dolayı 1000 gün sonunda meydana gelen gerilme artışı sırasıyla 1,08 kPa, 2,96 kPa ve 124,51 kPa olarak bulunmuştur. Trafik yükünün olmadığı durumda hesaplanan gerilme miktarı ile trafik yükünün olduğu durumda hesaplanan gerilme miktarları oranladığı zaman E4, E5 ve E9 noktalarında meydana gelen değişim %3,35, %9,67 ve %15,61 olarak bulunmuştur. Tablo 6.64'te 180. gün sonunda meydana gelen değişimlerde görülmektedir, ancak 180. günde meydana gelen değişimin aynı içsel sürtünme açısı için 1000. günde de korunduğu görülmektedir.

Dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısına bağlı olarak hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı incelendiği zaman hem P1 hem de P2 noktasında trafik yükü uygulandığı anda bir artış gözlenmiştir. Tablo 6.67'de trafik yükü etkileden hemen önce ve trafik

yükü etkidikten hemen sonra hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı değişimi görülmektedir.

Tablo 6.67. *P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı*

		28 Derece	40 Derece
P1	Normal	1,30	1,13
	Trafik	4,36	3,66
P2	Normal	5,45	4,56
	Trafik	7,98	6,40

İçsel sürtünme açısı 28 derece ve 40 derece olduğu zaman P1 noktasında trafik yükünden dolayı meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı sırasıyla 3,06 kPa ve 2,53 kPa'dır. P2 noktasında trafik yükünden dolayı meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı ise sırası ile 2,53 kPa ve 1,84 kPa olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan görülmektedir ki, dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı artınca, meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı azalmaktadır.

Dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının trafik yükü altında hesaplanan dolgu yüzeyindeki oturma miktarına etkisi incelendiği zaman, dolgu içsel sürtünme açısı arttıkça hesaplanan oturma miktarı azalmaktadır. Tablo 6.68'de dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarları, dolgu inşası başladıktan 180 ve 1000 gün sonra hem trafik yükü olmadığı durumda, hem de trafik yükünün etkidiği durum için gösterilmiştir.

Tablo 6.68. *180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi*

		28 Derece	40 Derece
Normal	180	95,99	78,19
	1000	99,82	79,21
Trafik	180	105,54	86,19
	1000	119,43	95,47
Değişim (%)	180	9,94	10,23
	1000	19,64	20,54

Tablo 6.68'de ayrıca trafik yükünün etkilediği zaman ile trafik yükünün etkidiği zaman dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarları karşılaştırılarak, trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim miktarları da gösterilmiştir.

İçsel sürtünme açısı 28 derece iken 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı içsel sürtünme açısı 28 derece olduğu zaman 119,43 mm iken içsel sürtünme açısı 40

derece olduğu zaman 95,47 mm olarak hesaplanmıştır. Ancak 1000 gün sonunda 28 ve 40 derecelik içsel sürtünme açısı için, trafik yükünün etkisinden dolayı meydana gelen değişim sırasıyla %19,64 ve %20,54 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre, dolgu yüzeyinde trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim miktarı içsel sürtünme açısından bağımsızdır.

Dolgu içsel sürtünme açısının dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta gerçekleşen yatay deplasmana olan etkisi Tablo 6.69'da görülebilir. Bu tabloya göre doğal zemin yüzeyinde trafik yüklemesinden hemen sonra 28 derecelik içsel sürtünme açısına sahip dolguda gözlemlenen yatay deplasman 1000 gün sonunda 41,13 mm iken, 40 derecelik içsel sürtünme açısı için 30,25 mm olarak hesaplanmıştır. Trafik yükü altında meydana gelen yatay deplasman miktarı trafik yükünün etkilemediği durumda hesaplanan yatay deplasman miktarına oranlandığı zaman, 28 ve 40 derecelik içsel sürtünme açısı için 1000 gün sonunda meydana gelen değişim sırasıyla %12,46 ve %12,84 olarak bulunmuştur.

Tablo 6.69. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		28 Derece	40 Derece
Normal	180	35,41	25,84
	1000	36,58	26,81
Trafik	180	39,83	29,40
	1000	41,13	30,25
Değişim (%)	180	12,48	13,79
	1000	12,46	12,84

6.6.4. Granüler malzemenin trafik yükü etkisi altında davranışa olan etkisi etkisi

6.6.4.1. İçsel sürtünme açısının etkisi

Yapılan çalışmanın bu aşamasında çalışma platformu olarak kullanılan granüler malzemenin içsel sürtünme açısının trafik yükü altında kazıkla desteklenmiş donatılı dolgunun davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan parametrik çalışma için içsel sürtünme açısı olarak 40,5 derece ve 50,5 derece seçilmiştir. Her iki içsel sürtünme açısı için hesaplanan oturma miktarları, kazık ve doğal zemin yüzeyine gelen gerilme miktarı, hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı, ve yatay deplasmanlar hem trafik yükü altında farklı içsel sürtünme açılarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, aynı içsel sürtünme açısı durumunda trafik yükü olmadığı koşul ile trafik yükünün etkilediği durum karşılaştırılarak trafik yükünün etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tablo 6.70'e bakıldığı zaman S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hem 40,5 derece, hem de 50,5 derece içsel sürtünme açısı için, trafik yükü etkmeden hemen önce hesaplanan oturma miktarı baz alınarak trafik yükü etkidikten hemen sonra ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarında meydana gelen değişimler görülmektedir.

S1 noktasında trafik yükünden dolayı meydana gelen değişimler incelendiği zaman içsel sürtünme açısı 40,5 derece iken 180. günde meydana gelen değişim %1,13 iken içsel sürtünme açısı 50,5 derece iken meydana gelen değişim %0,88 olarak hesaplanmıştır. S2 noktasında meydana gelen değişimlere bakıldığı zaman içsel sürtünme açısı 40,5 derece olduğu zaman meydana gelen değişim %3,23, 50,5 derece içsel sürtünme açısı ile yapılan modelde %3,41 olarak bulunmuştur. S3 noktasında 180. gün sonunda meydana gelen değişimler 40,5 ve 50,5 derece içsel sürtünme açıları için sırasıyla %7,36 ve %7,84 olarak hesaplanmıştır. S4 noktasında ise aynı sürede meydana gelen değişimler ise %3,50 ve %3,17 olarak hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda meydana gelen en yüksek değişim miktarı her iki içsel sürtünme açısı içinde S4 noktasında hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değişim miktarı 40,5 derece içsel sürtünme açısı için %24,03 iken içsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman %20,77 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.70. *Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim*

		43 Derece	50.5 Derece
S1	180	-	-
	180	1,13	0,88
	1000	21,41	18,76
S2	180	-	-
	180	3,23	3,41
	1000	16,76	16,04
S3	180	-	-
	180	7,36	7,84
	1000	23,63	21,46
S4	180	-	-
	180	3,50	3,17
	1000	24,03	20,77

Tablo 6.71'de ise S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen oturma miktarları 180, 250, 500 ve 1000 gün için hem trafik yükünün olmadığı, hem de trafik yükünün olduğu durumda verilmiştir. Bu tabloda ayrıca trafik yükünün etkisini ortaya koymak için, her gün için, trafik yükünün olduğu durumdaki oturma miktarı ile trafik yükünün

olmadığı durum oranlanarak meydana gelen artış miktarıda görülmektedir. Tablo 6.71 incelendiği zaman görülmektedir ki 1000 gün sonunda S1 trafik yükü olmadığı zaman çalışma platformu içsel sürtünme açısı 40,5 derece iken hesaplanan oturma miktarı 25,03 mm'dir. Aynı durumda, trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı 26,97 olmaktadır. Meydana gelen değişim miktarı ise %7,77'dir. İçsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman, trafik yükü olmayan durumda S1 noktasında meydana gelen oturma miktarı 21,41 mm iken trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı 24 mm olmaktadır. Meydana gelen değişim ise %12,08'dir. Tablo 6.71'e bakıldığı zaman, içsel sürtünme açısı arttıkça hesaplanan oturma miktarı azalırken, trafik yükünün olmadığı duruma göre meydana gelen değişim artmaktadır.

Tablo 6.71. Farklı günler ve farklı granüler tabaka içsel sürtünme açısı için trafik yükünün etkisi

		Normal		Trafik		Yüzdesel Değişim	
		43 Derece	50,5 Derece	43 Derece	50,5 Derece	43 Derece	50,5 Derece
S1	180	22,22	20,20	22,47	20,37	1,13	0,88
	250	23,10	20,56	24,97	22,04	8,08	7,24
	500	24,46	20,99	26,67	23,67	9,03	12,79
	1000	25,03	21,41	26,97	24,00	7,77	12,08
S2	180	52,58	46,05	54,28	47,62	3,23	3,41
	250	53,75	46,55	59,29	50,69	10,31	8,89
	500	55,51	47,07	61,01	52,84	9,90	12,25
	1000	56,33	47,55	61,40	53,46	8,99	12,42
S3	180	85,04	70,58	91,31	76,12	7,36	7,84
	250	86,39	71,01	103,99	82,46	20,36	16,12
	500	88,23	71,37	104,89	85,03	18,88	19,14
	1000	89,14	71,63	105,14	85,74	17,95	19,70
S4	180	28,83	27,94	29,84	28,83	3,50	3,17
	250	29,67	28,25	34,83	31,65	17,38	12,06
	500	30,85	28,43	35,62	33,35	15,44	17,30
	1000	31,44	28,61	35,76	33,75	13,75	17,95

E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmeler incelendiği zaman görülmüştür ki, tüm noktalarda trafik yükünün etkimesi ile birlikte gerilme artışı görülmüştür. 1000 gün sonunda E4 noktasında trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim içsel sürtünme açısı 40,5 derece iken 2,51 kPa, içsel sürtünme açısı 50,5 derece iken 3,83 kPa olarak hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda E5 noktasında trafik yükü etkileyen durum ile trafik yükünün etkilemediği durum arasındaki fark ise, içsel sürtünme açısı 40,5 derece iken

3,23 kPa, içsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman ise 2,36 kPa olarak hesaplanmıştır. E9 noktasında 1000 gün sonunda meydana gelen değişim ise içsel sürtünme açısı 40,5 derece olduğu zaman 115,62 kPa ve içsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman meydana gelen değişim 110,99 kPa olarak hesaplanmıştır. Trafik yükü etkilediği ve trafik yükünün etkilediği durumlarda 180 ve 1000 gün sonunda farklı içsel sürtünme açıları için E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilme miktarları Tablo 6.72’de verilmiştir. Tablo 6.72’de ayrıca, meydana gelen gerilme artışları yüzdelik olarakta gösterilmiştir.

Tablo 6.72. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

İçsel Sürtünme Açısı	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
40,5 Derece	E4	180	39,50	41,91	6,10
		1000	39,20	41,71	6,40
	E5	180	32,70	34,5	5,50
		1000	32,90	36,13	9,82
	E9	180	748,37	842,42	12,57
		1000	769,52	885,14	15,03
50,5 Derece	E4	180	39,86	43,81	9,89
		1000	40,08	43,91	9,56
	E5	180	34,61	37,19	7,43
		1000	34,77	37,13	6,80
	E9	180	738,28	827,61	12,10
		1000	750,59	861,58	14,79

Trafik yükü etkidikten sonra P1 ve P2 noktalarında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı incelendiği zaman, trafik yükü etkidikten sonra aşırı boşluk suyu basıncında ani bir yükseliş meydana gelmektedir. Bu yükseliş, trafik yükü en yüksek değerini aldıktan sonra durmaktadır. Daha sonra geçen zamanla birlikte aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenmektedir. Tablo 6.73’te trafik yükü etkileden hemen önceki aşırı boşluk suyu basıncı ve trafik yükü uygulandıktan hemen sonraki aşırı boşluk suyu basıncı görülmektedir.

Tablo 6.73. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı

		40,5 Derece	50,5 Derece
P1	Normal	1,30	1,02
	Trafik	4,36	3,81
P2	Normal	5,45	4,18
	Trafik	7,98	5,97

P1 noktasında içsel sürtünme açısı 40,5 derece olduğu durumda trafik yükü etkileden önce 1,30 kPa olan aşırı boşluk suyu basıncı, trafik yükü etkidikten sonra 3,06 kPa artış ile 4,36 kPa'la çıkmaktadır. P2 noktasında ise, 5,45 kPa olan aşırı boşluk suyu basıncı 2,53 kPa artış ile 7,98 kPa'ya çıkmaktadır. İçsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman ise, P1 noktasında 2,79 kPa'lık bir artış görülerek aşırı boşluk suyu basıncı 1,02 kPa'dan 3,81 kPa'la çıkmıştır. P2 noktasında ise trafik yükü etkileden önce 4,18 kPa olan aşırı boşluk suyu basıncı 5,97 kPa'ya çıkarak 1,79 kPa artış göstermiştir.

Kazık destekli donatılı dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı incelendiği zaman yüksek içsel sürtünme açısına sahip çalışma platformu kullanıldığı zaman daha düşük oturma miktarı hesaplandığı görülmektedir. Granüler malzemenin içsel sürtünme açısı 40,5 derece olduğu zaman trafik yükü altında 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı 119,43 mm iken içsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman hesaplanan oturma miktarı ise 97,24 mm'dir. Farklı içsel sürtünme açıları için dolgu yüzeyinde gerçekleşen oturma miktarları hem trafik yükünün olmadığı hem de trafik yükünün etki ettiği durumlar için Tablo 6.74'te verilmiştir. Tablo 6.74'te ayrıca, bu iki durum karşılaştırılarak, trafik yükünden dolayı meydana gelen oturma miktarı artışı yüzdelik olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.74. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi

		43 Derece	50.5 Derece
Normal	180	95,99	79,58
	1000	99,82	80,52
Trafik	180	105,54	88,13
	1000	119,43	97,24
Değişim (%)	180	9,94	10,73
	1000	19,64	20,76

Meydana gelen yatay deplasman incelendiği zaman görülmektedir ki, içsel sürtünme açısı 40,5 derece olduğu zaman, trafik yükünün olmadığı durumda 1000 gün sonunda 36,58 mm olarak hesaplanan yatay deplasman trafik yükü etkidiği durumda 41,13 mm'ye çıkmaktadır. İçsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman trafik yükü olmadan 30,66 mm olan yatay deplasman miktarı trafik yükü olduğu zaman 34,66 mm'ye çıkmaktadır. 180 gün için hesaplanan yatay deplasman miktarı ile trafik yükünün etkimesinden dolayı meydana gelen artışın yüzdelik olarak ifadesi Tablo 6.75'te verilmiştir.

Tablo 6.75. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		40,5 Derece	50.5 Derece
Normal	180	35,41	29,35
	1000	36,58	30,66
Trafik	180	39,83	33,39
	1000	41,13	34,67
Değişim (%)	180	12,48	13,77
	1000	12,46	13,07

6.6.5. Yumuşak kil tabakası özelliklerinin davranışa olan etkisi

Bu bölümde yumuşak zemin tabakasının özelliklerinin trafik yükü etkisinde bulunan kazık destekli donatılı dolgunun davranışına olan etkisi incelenecektir. Bu yüzden parametrik çalışma kapsamında, yumuşak zemin tabakasının içsel sürtünme açısı, kohezyon değeri, rijitlik katsayısı ve tabaka kalınlığı değiştirilerek karşılaştırılmalar yapılmıştır. Parametrik çalışma sırasında üç farklı içsel sürtünme açısı değeri, üç farklı kohezyon değeri, iki farklı rijitlik değeri ile birlikte üç farklı tabaka kalınlığı değeri kullanılarak, bu parametrelerin etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

6.6.5.1. İçsel sürtünme açısının etkisi

Yumuşak zeminin içsel sürtünme açısının kazık destekli donatılı dolgunun trafik yükü altındaki davranışına etkisini anlayabilmek için 19,3 derece, 30 derece ve 35 derece olarak üç adet içsel sürtünme açısı seçilmiştir. Seçilen bu içsel sürtünme açıları kullanılarak, trafik yükünün, dolgu inşa başlangıcından 180 gün sonra etkidiği ve toplamda 1000 gün süren sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Analizler sonucu hesaplanan oturma miktarları, gerilmeler, aşırı boşluk suyu basıncı ve yatay deplasman

karşılaştırılarak, yumuşak zemin içsel sürtünme açısının etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarındaki değişim Tablo 6.76’da verilmiştir. Bu tabloda hesaplanan değişimler inşa edilen kazık destekli donatılı dolguya henüz trafik yükü uygulanmadan önce hesaplanan oturma miktarları baz alınarak, trafik yükü etkidikten sonra hesaplanan oturma miktarları oranlanarak, trafik yükünden dolayı meydana gelen değişimler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tablo 6.76. *Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim*

		19,3 Derece	30 Derece	35 Derece
S1	180	-	-	-
	180	1,18	0,83	0,79
	1000	21,47	15,53	13,99
S2	180	-	-	-
	180	3,31	3,43	3,44
	1000	16,86	13,76	13,02
S3	180	-	-	-
	180	7,37	8,02	8,01
	1000	23,64	20,27	19,56
S4	180	-	-	-
	180	3,52	3,32	3,31
	1000	24,05	19,82	18,68

S1 noktasında 1000 gün sonunda meydana gelen değişim içsel sürtünme açısı 19,3 derece, 30 derece ve 35 derece için sırasıyla %21,47, %15,53 ve %13,99 olarak hesaplanmıştır. S2 noktasında meydana gelen değişim aynı zaman zarfında ve sıralamasında sırasıyla %16,86, %13,76 ve %13,02, S3 noktasında %23,64, %20,27, %19,56, S4 noktasında ise %24,05, %19,82 ve %18,68 olarak hesaplanmıştır.

Bu noktalarda meydana gelen oturma miktarı incelendiği zaman görülmektedir ki, trafik yükünün etkidiği durumda 1000 gün sonunda meydana gelen en büyük oturma miktarı S3 noktasında içsel sürtünme açısı 19,3 derece olduğu zaman 105,14 mm olarak hesaplanmıştır. İçsel sürtünme açısı 35 derece olduğu durumda aynı noktada hesaplanan oturma miktarı 83,15 mm olmaktadır. Trafik yüklemesi olmadığı durumda 1000 gün S3 noktasında 19,3 ve 35 derece için hesaplanan oturma miktarları ise sırasıyla 89,14 mm ve 70,65 mm olarak hesaplanmış ve trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim miktarı %17,95 ve %17,69 olarak hesaplanmıştır. S1 noktasında 19,3, 30 ve 35 derece içsel

sürtünme açıları için 1000 gün sonunda trafik yükünün etkisinden dolayı meydana gelen değişim miktarı yüzdelik olarak sırası ile %7,77, %7,51, %7,33 olarak hesaplanmıştır. S2 noktasında meydana gelen değişimler ise 19,3, 30 ve 35 derecelik içsel sürtünme açıları için sırası ile %8,89, %9,69 ve %9,50 olarak hesaplanmıştır. S4 noktasında 1000 gün sonunda 19,3, 30 ve 35 derece içsel sürtünme açıları için meydana gelen değişimler ise %13,75, %14,79 ve %14,80 olarak hesaplanmıştır. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hem trafik yükü etkilemediği hem de etkilediği zaman farklı yumuşak zemin içsel sürtünme açıları için hesaplanan oturma miktarı farklı günler için Tablo 6.77’de verilmiştir. Tablo 6.77’de ayrıca bu günler için de hesaplanmış yüzdelik değişim miktarları görülebilmektedir.

Tablo 6.77. Farklı günler ve farklı yumuşak zemin içsel sürtünme açısı için trafik yükünün etkisi

		Normal			Trafik			Yüzdesel Değişim		
		19,3 Derece	30 Derece	35 Derece	19,3 Derece	30 Derece	35 Derece	19,3 Derece	30 Derece	35 Derece
S1	180	22,20	18,86	18,81	22,47	19,01	18,96	1,18	0,83	0,79
	250	23,10	19,36	19,18	24,97	20,39	20,22	8,08	5,32	5,42
	500	24,46	20,10	19,95	26,67	21,59	21,13	9,03	7,40	5,88
	1000	25,03	20,27	19,98	26,97	21,79	21,44	7,77	7,51	7,33
S2	180	52,54	44,05	43,90	54,28	45,56	45,41	3,31	3,43	3,44
	250	53,75	44,53	44,28	59,29	48,23	47,91	10,31	8,32	8,21
	500	55,51	45,48	45,23	61,01	49,82	49,22	9,90	9,55	8,83
	1000	56,33	45,69	45,31	61,40	50,11	49,61	8,99	9,69	9,50
S3	180	85,04	70,07	69,55	91,31	75,69	75,12	7,37	8,02	8,01
	250	86,39	70,38	69,84	103,99	81,89	81,01	20,36	16,35	15,99
	500	88,23	71,17	70,38	104,89	83,91	82,62	18,88	17,90	17,39
	1000	89,14	71,39	70,65	105,14	84,27	83,15	17,95	18,04	17,69
S4	180	28,83	24,76	24,55	29,84	25,58	25,36	3,52	3,32	3,31
	250	29,67	24,98	24,76	34,83	28,09	27,71	17,38	12,46	11,92
	500	30,85	25,64	25,21	35,62	29,49	28,77	15,44	15,01	14,13
	1000	31,44	25,84	25,38	35,76	29,66	29,14	13,75	14,79	14,80

E4, E5 ve E9 noktalarındaki gerilmeler ve aynı içsel sürtünme açısı için trafik yükü olmadan aynı noktalarda hesaplanan gerilmeler Tablo 6.78’de verilmiştir. E4 noktasında 1000 gün sonunda 19,3, 30 ve 35 derecelik içsel sürtünme açısı için hesaplanan gerilme miktarı sırası ile 41,71 kPa, 40,90 kPa ve 40,80 kPa olarak hesaplanmıştır. Trafik yükünün etkilediği analizler sonucu hesaplanan gerilme miktarları ile trafik yükünün etkilemediği zaman hesaplanan gerilmeler oranlandığı zaman, trafik yükünün etkisiyle E4 noktasında sırasıyla %6,40 %6,06 ve %6,10 artış olduğu gözlemlenmiştir. E5

noktasında 1000 gün sonunda trafiksiz analizlerde hesaplanan gerilmeler 19,3 derece, 30 derece ve 35 derecelik içsel sürtünme açıları için sırasıyla 32,9 kPa, 32,65 kPa ve 32,79 kPa olarak hesaplanmıştır. Trafik yükünün etkidiği durumlarda ise bu gerilmeler sırası ile %9,82, %8,80 ve %8 artarak 36,13 kPa, 35,53 kPa ve 35,41 kPa'ya yükselmektedir. E9 noktasında hesaplanan gerilmeler incelendiği zaman, trafik yükü altında 1000 gün sonunda 19,3 derece içsel sürtünme açısına sahip modelde 885,14 kPa, 30 derecelik içsel sürtünme açısına sahip olan modelde 871,14 kPa, 35 derecelik içsel sürtünme açısına sahip model de ise 869,28 kPa olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre hesaplanan gerilme miktarı, trafik yükünün uygulanmadığı durumlara göre 19,3, 30 ve 35 derece içsel sürtünme açılarına göre sırasıyla %15,03, %14,70 ve %14,98'lik bir değişim gözlemlenmiştir. 12 kPa'lık trafik yükünden dolayı E4, E5 ve E9 noktalarında meydana gelen gerilme artışlarının ve kazık destekli donatılı dolguların gerilme aktarımını daha iyi anlamak amacıyla bu noktalarda meydana gelen gerilme artışları sayısal olarak da verilmiştir. E4 noktasında 19,3, 30 ve 35 derecelik içsel sürtünme açıları için meydana gelen gerilme artışı sırasıyla 2,51 kPa, 2,54 kPa ve 2,35 kPa olmaktadır. E5 noktasında meydana gelen gerilme artışı ise aynı sıralama ile 3,23 kPa, 2,91 kPa ve 2,62 kPa olarak hesaplanırken E9 noktasında meydana gelen artış miktarı 115,62 kPa, 111,62 kPa ve 113,28 kPa olarak hesaplanmıştır.

Trafik yükü etkidikten sonra P1 ve P2 noktalarında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncında ani bir artış görülmekte, daha sonra geçen zamanla birlikte oluşan bu aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenmeye başlamıştır. 1000 gün sonunda tüm farklı yumuşak zemin içsel sürtünme açıları için meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı 1 kPa altına düşerek tamamen sönümlenmektedir. Tablo 6.79'da P1 ve P2 noktalarında trafik yükü etkileden hemen öncesi ile trafik yükü etkidikten hemen sonraki anlarda hesaplanmış aşırı boşluk suyu basınçları verilmiştir.

Tablo 6.78. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

İçsel Sürtünme Açısı	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
19,3 Derece	E4	180	39,5	41,91	6,10
		1000	39,2	41,71	6,40
	E5	180	32,7	34,5	5,50
		1000	32,9	36,13	9,82
	E9	180	748,37	842,42	12,57
		1000	769,52	885,14	15,03
30 Derece	E4	180	38,69	41,39	6,99
		1000	38,56	40,90	6,06
	E5	180	32,40	34,46	6,36
		1000	32,65	35,53	8,80
	E9	180	748,05	838,03	12,03
		1000	759,52	871,14	14,70
35 Derece	E4	180	38,61	41,27	6,90
		1000	38,45	40,80	6,10
	E5	180	32,48	34,48	6,16
		1000	32,79	35,41	8,00
	E9	180	746,48	836,35	12,04
		1000	756,00	869,28	14,98

Tablo 6.79. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı

		19.3 Derece	30 Derece	35 Derece
P1	Normal	1,30	0,92	0,89
	Trafik	4,36	3,83	3,51
P2	Normal	5,45	3,69	3,53
	Trafik	7,98	5,43	5,26

19,3 30 ve 35 derece içsel sürtünme açısı için P1 noktasında 12 kPa’lık trafik yükü uygulandıktan sonra meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı 3,06 kPa, 2,91 kPa ve 2,62 kPa olarak hesaplanmıştır. Aynı içsel sürtünme açısı sıralamasıyla P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı ise 2,53 kPa, 1,74 kPa ve 1,73 kPa olarak hesaplanmıştır.

Dolgu yüzeyinde meydana oturma miktarı incelendiği zaman, hem trafik yükü olmadığı zaman, hem de trafik yükü olduğu zaman en düşük oturma miktarı yumuşak zemin içsel sürtünme açısının 35 derece olduğu zaman hesaplanmıştır. Dolgu inşaatının başladığı günden 180 ve 1000 gün sonunda trafik yükünün olmadığı durumda hesaplanan

oturma miktarları ve trafik yükü etkileyen durumlarda hesaplanan oturma miktarları ile birlikte, trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim Tablo 6.80’de görülebilir.

Tablo 6.80. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi

		19,3 Derece	30 Derece	35 Derece
Normal	180	95,99	79,85	79,32
	1000	99,82	81,06	80,33
Trafik	180	105,54	88,66	88,06
	1000	119,43	96,82	95,71
Değişim (%)	180	9,94	11,02	11,02
	1000	19,64	19,44	19,15

Trafik yükü etkilediği zaman hesaplanan en düşük oturma miktarı 95,71 mm’dir. Aynı durumda trafik yükünün olmadığı zaman hesaplanan oturma miktarı 80,33 mm ve meydana gelen değişim ise %19,15 olarak hesaplanmıştır.

Yumuşak zemin içsel sürtünme açısının dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıkta doğal zemin yüzeyinde meydana gelen yatay deplasman miktarı incelendiği zaman içsel sürtünme açısı 19,3 dereceden 30 dereceye çıktığı zaman yatay deplasman 1000 gün sonundaki yatay deplasman 41,13 mm’den 32,93 mm’ye düşmektedir. Ancak içsel sürtünme açısı 35 dereceye çıktıktan sonra yatay deplasman miktarı değişmemektedir. Farklı içsel sürtünme açıları için 180 ve 1000 gün sonunda hem trafik yükünün olmadığı, hem de trafik yükünün etkilediği durumda hesaplanan yatay deplasman miktarı Tablo 6.81’de verilmiştir. Tablo 6.81’de ayrıca trafik yükünden dolayı meydana gelen yatay deplasmandaki artış miktarı da görülmektedir.

Tablo 6.81. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		19,3 Derece	30 Derece	35 Derece
Normal	180	35,41	29,03	29,00
	1000	36,58	29,27	29,26
Trafik	180	39,83	33,08	33,04
	1000	41,13	32,93	32,93
Değişim (%)	180	12,48	13,96	13,93
	1000	12,46	12,50	12,54

6.6.5.2. Kohezyonun etkisi

Yumuşak zemin kohezyonunun, kazık destekli donatılı dolguların trafik yükü altındaki davranışının belirlenmesi ve trafik yükü olmadığı durum ile karşılaştırılabilmesi için üç farklı kohezyon değeri seçilmiştir. Seçilen kohezyon miktarı 1 kPa, 4 kPa ve 13 kPa'dır. Yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda hesaplanan oturma miktarı, gerilme miktarları, aşırı boşluk suyu basıncı, yatay deplasman gibi dolgu davranışına etki eden özellikler incelenip karşılaştırılarak, kohezyon etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yükü etkimesinden hemen önceki oturma miktarı ile trafik yükü etkidikten hemen sonra meydana gelen oturmalar ile 1000. gün sonundaki oturma miktarı oranlanarak farklı kohezyon değerlerinin trafik yükü altında oturma davranışını nasıl etkidiği ortaya konulmuştur. Bu noktalarda meydana gelen değişimler Tablo 6.82'de görülmektedir.

Tablo 6.82. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim

		1 kPa	4 kPa	13 kPa
S1	180	-	-	-
	180	1,18	0,90	0,48
	1000	21,47	20,17	15,72
S2	180	-	-	-
	180	3,31	3,42	2,83
	1000	16,86	16,77	13,04
S3	180	-	-	-
	180	7,37	8,10	6,19
	1000	23,64	22,77	17,38
S4	180	-	-	-
	180	3,52	3,40	2,08
	1000	24,05	23,66	16,22

Tablo 6.82'ye bakıldığı zaman görülecektir ki trafik yükü etkimesinden sonra oturma miktarındaki en az değişim tüm noktalarda kohezyon değeri 13 kPa olduğu durumda gerçekleşmiştir. 1000 gün sonunda meydana gelen en az değişim S2 noktasında %13,04, en yüksek değişim ise %24,05 ile S4 noktasında hesaplanmıştır.

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında farklı kohezyon değerleri için trafik yükü altında hesaplanan oturma değerlerinin, aynı kohezyon değerleri için, aynı noktalarda trafik yükünün uygulanmadığı zaman oturma değerleriyle karşılaştırılabilmesi için aşağıdaki Tablo 6.83 verilmiştir. Tablo 6.83'ten de görülebileceği üzere, 1000 gün sonunda hem

trafik yükünün uygulanmadığı hem de trafik yükünün etkidiği durumda S1, S2, S3 ve S4 noktalarında en az oturma miktarı kohezyon 13 kPa olduğu zaman hesaplanmıştır. S1 noktasında 13 kPa için trafik yükü etkimeydiği zaman hesaplanan oturma miktarı 21,02 mm iken, trafik yükü etkidiği zaman, hesaplanan oturma miktarı %7,68 artarak 22,63 mm olmuştur. S2 noktasında 13 kPa kohezyon durumunda, 1000 gün sonunda trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan 51,03 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu oturma miktarı, S2 noktasında 13 kPa kohezyon değeri için trafik yükü olmadığı zaman hesaplanan oturma miktarı ile karşılaştırıldığı zaman, trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarının %9,49 arttığı görülmüştür. S3 noktasında 13 kPa kohezyon değeri için trafik yükü olmadan hesaplanan oturma miktarı 72,86 mm iken, trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı 11,98 mm artarak 84,84 mm olmaktadır. Meydana gelen 11,98 mm'lik artış %16,44'lük bir orana karşılık gelmektedir. S4 noktasında, trafik yükü etkimeydiği zaman 13 kPa kohezyon için hesaplanan oturma miktarı 27,43 mm iken trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı 31,41 mm olmaktadır. S4 noktasında meydana gelen yüzdelerik değişim ise %14,53 olarak hesaplanmıştır. Tablo 6.83'te ayrıca 180, 250, 500 ve 1000. günler için hem trafik yükü etkimeydiği zaman, hem de trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı verilmiş ve trafik yükünden dolayı meydana gelen oturma miktarındaki artışlar yüzdelerik olarak gösterilmiştir.

Tablo 6.83. Farklı günler ve farklı yumuşak zemin kohezyon için trafik yükünün etkisi

		Normal			Trafik			Yüzdesel Değişim		
		1 kPa	4 kPa	13 kPa	1 kPa	4 kPa	13 kPa	1 kPa	4 kPa	13 kPa
S1	180	22,20	19,68	19,56	22,47	19,85	19,65	1,18	0,90	0,48
	250	23,10	20,62	20,23	24,97	21,57	21,03	8,08	4,64	3,96
	500	24,46	21,68	20,97	26,67	23,37	22,42	9,03	7,80	6,94
	1000	25,03	21,86	21,02	26,97	23,64	22,63	7,77	8,18	7,68
S2	180	52,54	45,38	45,15	54,28	46,93	46,42	3,31	3,42	2,83
	250	53,75	46,34	45,71	59,29	50,16	48,91	10,31	8,25	7,00
	500	55,51	47,71	46,53	61,01	52,47	50,71	9,90	9,98	8,98
	1000	56,33	47,96	46,61	61,40	52,99	51,03	8,99	10,49	9,49
S3	180	85,04	72,72	72,28	91,31	78,61	76,75	7,37	8,10	6,19
	250	86,39	73,45	72,62	103,99	85,81	82,35	20,36	16,84	13,40
	500	88,23	74,79	72,80	104,89	88,77	84,53	18,88	18,70	16,12
	1000	89,14	75,14	72,86	105,14	89,28	84,84	17,95	18,82	16,44
S4	180	28,83	25,99	27,03	29,84	26,87	27,59	3,52	3,40	2,08
	250	29,67	26,60	27,24	34,83	29,92	29,71	17,38	12,50	9,08
	500	30,85	27,64	27,35	35,62	31,90	31,29	15,44	15,42	14,40
	1000	31,44	27,94	27,43	35,76	32,13	31,41	13,75	15,01	14,53

Yumuşak zemin tabakasının kohezyon değerinin E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilme miktarına etkisini göstermek için aşağıdaki Tablo 6.84 verilmiştir. Bu tabloda kazık destekli donatılı dolgu inşası başladıktan 180 ve 1000 gün sonunda hem trafik yükü etkilemediği zaman hesaplanan gerilmeler, hem de trafik yükünün uygulandığı zaman hesaplanan gerilmeler verilmiştir. Trafik yükü altında 1000 gün sonunda E4, E5 ve E9 noktalarında 1 kPa kohezyon değeri için hesaplanan gerilme miktarı sırasıyla 41,71 kPa, 36,13 kPa ve 885,14 kPa olarak hesaplanmıştır. Bu noktada trafik yükü olmayan duruma göre meydana gelen gerilme artışları sırası ile 2,51 kPa, 3,23 kPa ve 115,62 kPa olarak hesaplanmıştır. Kohezyon 4 kPa'ya çıktığı zaman, E4, E5 ve E9 noktalarında trafik yükü etkisi altında 1000 gün sonunda hesaplanan gerilme miktarı sırasıyla 41,13 kPa, 35,84 kPa ve 883,41 kPa'dır. Trafik yükü uygulanan durumda hesaplanan gerilmeler ile trafik yükü etkilemediği zaman hesaplanan gerilmeler arasındaki fark sırasıyla 2,25 kPa, 2,91 kPa ve 113,78 kPa'dır. Kohezyon miktarı 13 kPa'ya çıktığı zaman, trafik yükü altında hesaplanan gerilme miktarı E4, E5 ve E9 noktaları için 1000 gün sonunda hesaplanan gerilme miktarı sırası ile 40,14 kPa, 36,24 kPa ve 874,18 kPa'dır. Trafik yükünden dolayı hesaplanan gerilme artışı ise E4, E5 ve E9 noktalarında 2,22 kPa, 3,05 kPa ve 116,21 kPa'dır. Tablo 6.84'te ayrıca farklı kohezyon değerleri için kazık destekli donatılı dolgunun inşaa başlangıcından 180 gün sonra hesaplanan gerilme miktarı hem

trafik yükünün olmadığı, hem de trafik yükünün etkidiği durum için verilmiştir. Ayrıca hem 180 hem de 1000 gün için trafik yükünden dolayı meydana gelen gerilme artışı yüzdelik değişim olarak verilmiştir.

Tablo 6.84. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

İçsel Sürtünme Açısı	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
1 kPa	E4	180	39,5	41,91	6,10
		1000	39,2	41,71	6,40
	E5	180	32,7	34,50	5,50
		1000	32,9	36,13	9,82
	E9	180	748,37	842,42	12,57
		1000	769,52	885,14	15,03
4 kPa	E4	180	39,13	41,41	5,83
		1000	38,88	41,13	5,79
	E5	180	32,69	34,51	5,59
		1000	32,93	35,84	8,85
	E9	180	754,79	845,27	11,99
		1000	769,63	883,41	14,78
13 kPa	E4	180	37,98	40,57	6,82
		1000	37,92	40,14	5,84
	E5	180	32,75	35,24	7,60
		1000	33,19	36,24	9,18
	E9	180	747,36	845,06	13,07
		1000	757,97	874,18	15,33

Trafik yükü etkisi altında farklı kohezyon değerleri için gelişen aşırı boşluk suyu basıncı incelendiği zaman görülmektedir ki, kazık destekli donatılı dolgunun inşası bittikten sonra sönümlenme eğilimi gösteren aşırı boşluk suyu basıncı trafik yükü etkidikten sonra ani bir şekilde yükselmektedir. Bu nedenle trafik yükünün uygulandığı 180. gün sonunda hem P1 hem de P2 noktalarında ikinci bir tepe noktası görülmektedir. P1 noktasında trafik yükünden dolayı 1 kPa kohezyon için meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı 3,06 kPa, 4 kPa kohezyon değeri için meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı 3,05 kPa ve 13 kPa kohezyon için meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı 2,2 kPa'dır.

1 kPa, 4 kPa ve 13 kPa kohezyon değeri için P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı sırası ile 2,53 kPa, 1,93 kPa ve 0,86 kPa'dır. Bu sonuçlara göre, kohezyon miktarı arttıkça, hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncındaki artış miktarı

azalmaktadır. Tablo 6.85’te, trafik yükü etkmeden hemen önce hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı ile birlikte, trafik yükü etkidikten hemen sonraki aşırı boşluk suyu basıncı verilmiştir. Tablo 6.85’ten görülebileceği üzere trafik yükünden dolayı hesaplanan en düşük aşırı boşluk suyu basıncı hem P1 hem de P2 noktasında 13 kPa kohezyon değerine sahip modelde hesaplanmıştır.

Tablo 6.85. *P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı*

		1 kPa	4 kPa	13 kPa
P1	Normal	1,30	1,10	1,22
	Trafik	4,36	4,15	3,42
P2	Normal	5,45	4,41	4,72
	Trafik	7,98	6,34	5,58

Kazık destekli donatılı dolgunun yüzeyinde gerçekleşen oturma miktarı incelendiği zaman görülmektedir ki 1000 gün sonunda trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan en düşük yüzey oturması 96,87 mm ile kohezyon 13 kPa olduğu zaman hesaplanmıştır. Aynı şekilde, trafik yükü modele hiç uygulanmadığı zaman 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük oturma miktarı 82,22 mm ile yine kohezyon 13 kPa olduğu zaman hesaplanmaktadır. Ayrıca trafik yükünden dolayı 1000 gün sonunda meydana gelen en düşük yüzdelik değişim de %17,81 ile 13 kPa kohezyona sahip modelde görülmüştür. Aşağıdaki Tablo 6.86’da dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarları hem 180 hem de 1000. gün için gösterilmiş, ayrıca trafik yükünden dolayı meydana gelen değişimler yüzdelik olarak ifade edilmiştir.

Tablo 6.86. *180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi*

		1 kPa	4 kPa	13 kPa
Normal	180	95,99	82,47	81,77
	1000	99,82	84,71	82,22
Trafik	180	105,54	91,60	89,13
	1000	119,43	101,77	96,87
Değişim (%)	180	9,94	11,07	9,00
	1000	19,64	20,13	17,81

Kazık destekli donatılı dolgunun topuğun 1,5 metre uzaklıktaki doğal zemin yüzeyinde trafik yükü etkidiği zaman meydana gelen yatay deplasman miktarı 1000 gün sonunda 1 kPa, 4 kPa ve 13 kPa için sırasıyla 41,13 mm, 33,24 mm ve 30,35 mm olarak

hesaplanmıştır. Trafik yükü olmadığı zaman aynı sıralama için hesaplanan yatay deplasman miktarı ise 36,58 mm, 29,34 mm ve 27,04 mm'dir. Tablo 6.87'de hem bu değerler, hem de 180 gün sonunda hesaplanmış olan yatay deplasman miktarları ile birlikte, trafik yükünden dolayı yatay deplasmanda meydana gelen değişim miktarı da yüzdelik olarak verilmiştir.

Tablo 6.87. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		1 kPa	4 kPa	13 kPa
Normal	180	35,41	28,81	27,19
	1000	36,58	29,34	27,04
Trafik	180	39,83	32,96	30,46
	1000	41,13	33,24	30,35
Değişim (%)	180	12,48	14,38	12,04
	1000	12,46	13,32	12,24

6.6.5.3. Yumuşak zemin rijitliğinin davranışa olan etkisi

Kazık destekli donatılı dolgunun trafik yükü altında davranışına yumuşak zemin rijitliğinin etkisini araştırmak için iki farklı rijitlik katsayısı seçilmiştir. Rijitlik katsayıları 0,025 ve 0,069 olarak seçilmiştir. Yapılan analizler sonucu hesaplanan oturma miktarları, gerilme miktarları gelişen aşırı boşluk suyu basıncı ve yatay deplasmanlar incelenerek kazık destekli donatılı dolgunun trafik yükü altındaki davranışına yumuşak zemin rijitlik katsayısının etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında, trafik yükü etkileden hemen önce hesaplanan oturma miktarı baz alınarak, trafik yükü etkidikten hemen sonra hesaplanan oturma miktarı ve dolgu inşası başladıktan 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarı oranlanarak, trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim ortaya konulmaya çalışılmıştır. Hesaplanan yüzdelik değişim Tablo 6.88'de verilmiştir. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hem 180 hem de 1000 gün sonunda 0,025 rijitlik katsayısı için meydana gelen değişim 0,069 rijitlik katsayısına göre daha küçüktür. 0,025 rijitlik katsayısı için 1000 gün sonunda S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen değişim sırasıyla %15,83, %13,58, %18,96 ve %17,28 olarak hesaplanmıştır. 1000 gün sonunda 0,069 rijitlik katsayısı için meydana gelen değişim miktarı ise S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen değişim miktarı sırasıyla %21,41, %16,76, %23,63 ve %24,03 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.88. *Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim*

		0,025	0,069
S1	180	-	-
	180	0,93	1,13
	1000	15,83	21,41
S2	180	-	-
	180	3,47	3,23
	1000	13,58	16,76
S3	180	-	-
	180	7,45	7,36
	1000	18,96	23,63
S4	180	-	-
	180	3,29	3,50
	1000	17,28	24,03

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen oturma miktarları incelendiği zaman, en düşük oturma miktarı rijitlik katsayısının 0,025 olduğu zaman hesaplanmıştır. Tablo 6.89’da farklı günler ve farklı rijitlik katsayıları için hesaplanmış olan oturma miktarı görülebilir. 1000 gün sonunda trafik yükünün olmadığı durumda S1 noktasında hesaplanan oturma miktarı 19,99 mm iken, trafik yükünün etkidiği modelde hesaplanan oturma miktarı 21,46 mm olmakta ve %7,38’lik bir değişim meydana gelmektedir. S2 noktasında trafik yükü etkisi altında 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı 49,55 mm olup, trafik yükünün uygulanmadığı modelde hesaplanan oturma miktarından %9,63 daha fazladır.

Yumuşak zemin rijitlik katsayısı 0,025 olduğu zaman S3 noktasında meydana gelen oturma miktarı trafik yükü olmadığı durumda 70,35 mm iken, trafik yükü uygulandığı zaman hesaplanan oturma miktarında %17,37’lik bir değişim meydana gelerek 82,57 mm oturma hesaplanmaktadır. Aynı rijitlik katsayısı için S4 noktasında trafik yükü altında hesaplanan oturma miktarı 28,83 mm’dir ve trafik yükü olmadığı durumda hesaplanan oturma miktarından %13,79 daha fazladır.

Tablo 6.89. Farklı günler ve farklı yumuşak zemin rijitliği için trafik yükünün etkisi

		Normal		Trafik		Yüzdesel Değişim	
		0,025	0,069	0,025	0,069	0,025	0,069
S1	180	18,53	22,20	18,70	22,47	0,93	1,18
	250	19,24	23,10	20,05	24,97	4,19	8,08
	500	19,85	24,46	21,23	26,67	6,97	9,03
	1000	19,99	25,03	21,46	26,97	7,38	7,77
S2	180	43,62	52,54	45,14	54,28	3,47	3,31
	250	44,24	53,75	47,69	59,29	7,79	10,31
	500	45,00	55,51	49,20	61,01	9,35	9,90
	1000	45,20	56,33	49,55	61,40	9,63	8,99
S3	180	69,41	85,04	74,59	91,31	7,45	7,37
	250	69,62	86,39	80,48	103,99	15,60	20,36
	500	70,12	88,23	82,20	104,89	17,23	18,88
	1000	70,35	89,14	82,57	105,14	17,37	17,95
S4	180	24,58	28,83	25,39	29,84	3,29	3,52
	250	24,70	29,67	27,56	34,83	11,57	17,38
	500	25,17	30,85	28,71	35,62	14,07	15,44
	1000	25,34	31,44	28,83	35,76	13,79	13,75

E4, E5, E9 noktalarında hesaplanan gerilmeler incelendiği, kazık destekli donatılı dolgu inşaatının başlangıcından 1000 gün sonra 0,025 ve 0,069 rijitlik katsayıları için trafik yükünden dolayı E4 noktasında sırasıyla 2,17 kPa ve 2,51 kPa’lık bir artış meydana gelmiştir. Aynı süre zarfında, E5 noktasında trafik yükünün etkidiği durumda hesaplanan gerilme miktarı 0,025 rijitlik katsayısı için 36,35 kPa, rijitlik katsayısı 0,069 rijitlik katsayısı için 36,13 kPa olarak hesaplanmıştır. E5 noktasında trafik yükü etkisinden dolayı 0,025 rijitlik katsayısı için 2,82 kPa, 0,069 rijitlik katsayısı için meydana gelen artış ise 3,23 kPa olmuştur. E9 noktasında trafik yükünün etkidiği durumlar için hesaplanan gerilme miktarı 0,025 ve 0,069 rijitlik katsayısı için sırası ile 876,26 kPa ve 885,14 kPa’dır. 0,025 ve 0,069 yumuşak zemin rijitliği için trafik yükünün etkisinden dolayı E9 noktasında 113,21 kPa ve 115,62 kPa gerilme artışı meydana gelmiştir. E4, E5 ve E9 noktalarında farklı rijitlik katsayıları için 180 ve 1000 gün için trafik yükünün etkilediği durum ile trafik yükünün etkilediği durum arasında yapılan karşılaştırma Tablo 6.90’da görülebilir.

Tablo 6.90. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

Rijitlik Katsayısı	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
0,025	E4	180	37,93	40,38	6,45
		1000	37,52	39,69	5,78
	E5	180	33,34	35,58	6,73
		1000	33,53	36,35	8,40
	E9	180	754,69	844,83	11,94
		1000	763,05	876,26	14,84
0,069	E4	180	39,5	41,91	6,10
		1000	39,2	41,71	6,40
	E5	180	32,7	34,5	5,50
		1000	32,9	36,13	9,82
	E9	180	748,37	842,42	12,57
		1000	769,52	885,14	15,03

Trafik yükü etkisindeki kazık destekli donatılı dolgu inşası ve inşa sonrası P1 ve P2 noktalarında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı davranışına bakıldığında zaman, aşırı boşluk suyu basıncı her iki noktada da dolgu inşası bitene kadar artmaktadır. Trafik yükünün etkidiği 180. günde her iki noktada da hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı artmaktadır. Trafik yükünün etkimesinden hemen sonra ise aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenmeye başlamaktadır. Uygulanan 12 kPa trafik yükünden dolayı 0,025 yumuşak zemin rijitlik katsayısı için P1 ve P2 noktalarında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı sırası ile 2,84 kPa ve 1,42 kPa iken, yumuşak zemin rijitlik katsayısı 0,069 olduğu zaman P1 ve P2 noktalarında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı 3,06 kPa ve 2,53 kPa olmaktadır. Tablo 6.91’de P1 ve P2 noktalarında farklı yumuşak zemin rijitliği için trafik yükü etkimesinden hemen önce ve trafik yükü etkiden hemen sonra hesaplanan aşırı boşluk suyu basınçları görülmektedir. Her iki yumuşak zemin rijitliği için P1 ve P2 noktalarında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı sonlu elemanlar analizi sonunda 1 kPa altına inerek sönümlenmektedir.

Tablo 6.91. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı

		0.025	0.069
P1	Normal	0,89	1,30
	Trafik	3,73	4,36
P2	Normal	3,36	5,45
	Trafik	4,78	7,98

Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı incelendiği zaman trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı her iki yumuşak zemin rijitlik katsayısı için artmaktadır. Rijitlik katsayısı 0,025 olduğu zaman, trafik yükünün etkidiği durumda 1000. günde hesaplanan oturma miktarı 95,03 mm iken trafik yükü etkemediği zaman hesaplanmış olan oturma miktarı 79,91 mm'dir. Yumuşak rijitlik katsayısı 0,069 olduğu zaman 1000 gün sonunda trafik yükünün olmadığı zaman hesaplanan oturma miktarı 99,82 iken, trafik yükü etkidiği modelde 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı 119,43 mm olmaktadır. Tablo 6.92'de ise hem 180 hem de 1000 gün sonunda, trafik yükünün uygulanmadığı ve uygulandığı durumlarda hesaplanan yüzey oturmaları ile bunların birbirlerine oranlanarak elde edilen yüzdelik değişim verilmiştir.

Tablo 6.92. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi

		0,025	0,069
Normal	180	78,98	95,99
	1000	79,91	99,82
Trafik	180	87,26	105,54
	1000	95,03	119,43
Değişim (%)	180	10,49	9,94
	1000	18,91	19,64

Kazık destekli donatılı dolgunun topuğundan 1,5 metre uzaklıkta doğal zemin yüzeyinde meydana gelen yatay deplasmanlar incelendiği zaman dolgu inşasından 180 ve 1000 gün sonra en düşük hesaplanan yatay deplasman miktarı, yumuşak zemin rijitlik katsayısının 0,025 olduğu durumda hesaplanmıştır. 1000 sonunda trafik yükü etkisi altında hesaplanan en düşük yatay deplasman ise 31,19 mm'dir. Aşağıdaki Tablo 6.93'te, hem trafik yükünün uygulanmadığı, hem de trafik yükünün uygulandığı modelleri için, farklı yumuşak zemin rijitlik katsayıları ile hesaplanan yatay deplasmanlar verilmiştir. Bu tabloda ayrıca, trafik yükünden dolayı meydana gelen yüzdelik değişimlerde görülmektedir.

Tablo 6.93. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		0,025	0,069
Normal	180	26,39	35,41
	1000	27,58	36,58
Trafik	180	30,22	39,83
	1000	31,19	41,13
Değişim (%)	180	14,50	12,48
	1000	13,08	12,46

6.6.5.4. Yumuşak zemin tabaka kalınlığının davranışa olan etkisi

Kazık destekli donatı dolguların trafik yükü altında farklı yumuşak zemin tabakası altındaki davranışını incelemek için üç farklı tabaka kalınlığı seçilmiş ve her bir tabaka kalınlığı için bir sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Seçilen tabaka kalınlıkları 6 metre, 10,2 metre ve 20,2 metre olarak seçilmiştir. Seçilen bu tabaka kalınlıkları için yapılan analizler sonunda hesaplanan, oturma miktarı, gerilme miktarı, aşırı boşluk suyu basıncı ve yatay deplasmanlar karşılaştırılarak farklı yumuşak zemin tabaka kalınlığı için dolgu davranışında meydana gelen davranış değişimi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında, trafik yükü etkileden hemen önce hesaplanan oturma miktarı ile trafik yükü etkidikten hemen sonra hesaplanan oturma miktarı ile dolgu inşası başlangıcından 1000 gün sonra hesaplanan oturma miktarı oranlanarak, trafik yükünün meydana getirdiği değişim ortaya konulmaya çalışılmıştır. Aşağıdaki Tablo 6.94'te her bir tabaka kalınlığı için meydana gelen değişimler görülmektedir.

Tablo 6.94. Trafik yükünün etkimesinden sonra meydana gelen oturma miktarındaki değişim

		6 metre	10,2 metre	20,2 metre
S1	180	-	-	-
	180	6,08	1,18	0,06
	1000	8,11	21,47	156,12
S2	180	-	-	-
	180	-5,12	3,31	2,43
	1000	11,28	16,86	121,06
S3	180	-	-	-
	180	10,89	7,37	4,79
	1000	16,33	23,64	114,35
S4	180	-	-	-
	180	15,72	3,52	3,75
	1000	22,21	24,05	130,93

S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yükü uygulanmadan ve trafik yükü uygulandığı zaman farklı günler için hesaplanan oturma miktarı Tablo 6.95'te görülmektedir. 1000 gün sonunda trafik yükünün uygulandığı durumda 6 metre, 10,2 metre ve 20,2 metre tabaka kalınlığı için hesaplanan oturma miktarı sırasıyla, 3,41 mm, 26,97 mm ve 203,29 mm olarak hesaplanmıştır. Trafik yükünden dolayı aynı tabaka kalınlığı ve zaman sonunda hesaplanan oturma miktarına göre meydana gelen değişim ise %7,60, %7,77 ve %5,15 olarak hesaplanmıştır. Trafik yükünün etkimesinden dolayı S2 noktasında 6 metre, 10,2 metre ve 20,2 metre tabaka kalınlığı için sırasıyla, trafik yükü etkilediği duruma göre %7,60, %7,77 ve %5,15 artarak 31,03 mm, 61,40 mm ve 267,23 mm olarak hesaplanmıştır. S3 noktasında trafik yükü uygulandığı zaman 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarı 6 metre, 10,2 metre ve 20,2 metre tabaka kalınlığı için sırasıyla 28,70 mm, 105,14 mm ve 392,64 mm olarak hesaplanmıştır. S4 noktasında trafik yükünün uygulanmasından dolayı trafik yükünün uygulanmadığı duruma göre 0,83 mm, 4,32 mm ve 34,65 mm artışla 4,60 mm, 35,76 mm ve 360,74 mm olarak hesaplanmıştır. Tablo 6.95'te ayrıca, S1, S2, S3 ve S4 noktalarında dolgu inşaatının başlangıcından 180, 250 ve 500 gün sonra trafik yükü etkilediği ve trafik yükünün etkilediği durumlar için hesaplanan oturma miktarı ile meydana gelen değişim de görülebilmektedir.

Tablo 6.95. Farklı günler ve farklı yumuşak zemin tabaka kalınlığı için trafik yükünün etkisi

		Normal			Trafik			Yüzdesel Değişim		
		6 metre	10.2 metre	20.2 metre	6 metre	10.2 metre	20.2 metre	6 metre	10.2 metre	20.2 metre
S1	180	3,15	22,20	79,37	3,34	22,47	79,42	6,08	1,18	0,06
	250	3,16	23,10	96,01	3,39	24,97	97,46	7,42	8,08	1,51
	500	3,16	24,46	141,43	3,40	26,67	146,89	7,51	9,03	3,86
	1000	3,17	25,03	193,33	3,41	26,97	203,29	7,60	7,77	5,15
S2	180	27,89	52,54	120,89	26,46	54,28	123,83	-5,12	3,31	2,43
	250	27,93	53,75	140,48	30,93	59,29	147,20	10,73	10,31	4,78
	500	27,96	55,51	192,22	31,00	61,01	205,41	10,86	9,90	6,86
	1000	27,98	56,33	247,96	31,03	61,40	267,23	10,92	8,99	7,77
S3	180	24,67	85,04	183,17	27,36	91,31	191,94	10,89	7,37	4,79
	250	24,68	86,39	214,20	28,54	103,99	233,87	15,63	20,36	9,19
	500	24,69	88,23	286,48	28,66	104,89	318,07	16,06	18,88	11,03
	1000	24,70	89,14	353,46	28,70	105,14	392,64	16,21	17,95	11,08
S4	180	3,77	28,83	156,21	4,36	29,84	162,07	15,72	3,52	3,75
	250	3,77	29,67	187,42	4,49	34,83	203,01	19,13	17,38	8,32
	500	3,77	30,85	259,66	4,58	35,62	287,04	21,34	15,44	10,54
	1000	3,77	31,44	326,09	4,60	35,76	360,74	21,94	13,75	10,63

E4, E5 ve E9 noktalarında farklı tabaka kalınlıkları için hesaplanan gerilme miktarları incelendiği zaman, trafik yükünün etkimesiyle birlikte tüm noktalarda ve tüm tabaka kalınlıkları için artış meydana gelmiştir. Meydana gelen bu artış miktarı ile birlikte

artış miktarı Tablo 6.96’da görülmektedir. Yumuşak zemin tabaka kalınlığı 6 metre olduğu zaman E4 noktasında, trafik yükünün etkilediği duruma göre 0,88 kPa’lık bir artışla 24,90 kPa’ya çıkarken, E5 noktasında 1,85 kPa artışla 32,80 kPa’ya çıkmış, E9 noktasında ise trafik yükünden dolayı 116,51 kPa artış meydana gelerek, 900 kPa’lık bir gerilme hesaplanmıştır. Yumuşak zemin kalınlığı 10,2 metre olduğu zaman E4 noktasında 2,51 kPa artış gerçekleşerek 41,71 kPa’ya, E5 noktasında 3,23 kPa artışla 36,13 kPa’ya ve E9 noktasında 115,62 kPa artışla 885,14 kPa olarak hesaplanmıştır. Yumuşak zemin tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman dolgu inşa başlangıcından 1000 gün sonra E4 noktasında hesaplanan gerilme miktarında trafik yükünün etkimesinden dolayı 3,28 kPa’lık artış meydana gelerek, 48,84 kPa gerilme hesaplanmıştır. E5 noktasında ise aynı süre sonunda, trafik yükünün etkilediği duruma göre 0,17 kPa artış meydana gelmiş ve gerilme 28,74 kPa olarak hesaplanmıştır. E9 noktasına bakıldığında zaman meydana gelen artış 114,11 kPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan gerilme ise 919,93 kPa’dır.

Tablo 6.96. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilmelerin trafik yükü ile değişimi

Tabaka Kalınlığı	Nokta	Gün	Normal	Trafik	Değişim (%)
6 metre	E4	180	24,14	25,11	3,99
		1000	24,02	24,90	3,68
	E5	180	30,77	32,38	5,23
		1000	30,65	32,50	6,02
	E9	180	782,87	878,54	12,22
		1000	783,49	900,00	14,87
10,2 metre	E4	180	39,50	41,91	6,10
		1000	39,20	41,71	6,40
	E5	180	32,70	34,5	5,50
		1000	32,90	36,13	9,82
	E9	180	748,37	842,42	12,57
		1000	769,52	885,14	15,03
20,2 metre	E4	180	38,17	40,46	6,00
		1000	45,56	48,84	7,20
	E5	180	27,26	27,38	0,47
		1000	28,57	28,74	0,62
	E9	180	790,02	903,60	14,38
		1000	805,82	919,93	14,16

Farklı yumuşak zemin tabaka kalınlığı için kazık destekli donatılı dolgu inşası sırasında meydana gelen boşluk suyu basıncı değişimi incelendiği zaman, tabaka kalınlığından bağımsız olarak P1 noktasında trafik yükünün etkimesinden dolayı 180. günde bir artış meydana gelmektedir. Meydana gelen bu artış miktarı 180 günün sonunda en yüksek düzeyine ulaşarak sönümlenmeye başlamıştır. P2 noktasında ise, trafik yükünden dolayı P1 noktasında olduğu gibi 180. günde bir artış meydana gelmektedir. Ancak bu noktada meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı, yumuşak zemin tabakası 20,2 metre olduğu zaman 180. günden sonrada bir süre artmaya devam etmekte ve sönümlenmeye başlamaktadır. 180. günde trafik yükünün etkilediği ve trafik yükünün uygulandığı zaman hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı miktarı aşağıdaki Tablo 6.97’de görülebilmektedir.

Tablo 6.97. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncı

		6 metre	10,2 metre	20,2 metre
P1	Normal	0,11	1,30	7,66
	Trafik	2,25	4,36	8,58
P2	Normal	0,40	5,45	31,08
	Trafik	2,09	7,98	31,10

12 kPa’lık trafik yükü uygulandıktan sonra P1 noktasında 6 metre, 10,2 ve 20,2 metre yumuşak zemin tabakası kalınlığı için meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı sırasıyla 2,14 kPa, 3,06 kPa ve 0,92 kPa olmuştur. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı ise aynı sıralama ile 1,69 kPa, 2,53 kPa ve 0,02 kPa olarak hesaplanmıştır.

Kazık destekli donatılı dolguların dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı incelendiği zaman, dolgu yüzeyinde meydana gelen en yüksek oturma miktarı yumuşak zemin kalınlığının en büyük olduğu durumda hesaplandığı görülürken, hesaplanan en düşük oturma miktarı ise yumuşak zemin kalınlığının en az olduğu zaman hesaplanmıştır. Hesaplanan en düşük ve en yüksek oturma miktarı sırası ile 34,11 mm ile 399,05 mm olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 6.98’de 180 ve 1000 gün için trafik yükünün etkilediği ve trafik yükünün etkilediği durumlarda farklı yumuşak zemin kalınlığı için hesaplanan oturma miktarı ile trafik yükünün etkisinden dolayı oturma miktarında meydana gelen değişim görülebilmektedir. Trafik yükünden dolayı kazık destekli donatılı dolgularda meydana gelen değişim 6 metre yumuşak zemin kalınlığı için %19,53, 10,2

metre yumuşak zemin tabaka kalınlığı için %19,64 ve 20,2 metre yumuşak zemin kalınlığı için %11,50 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.98. 180 ve 1000 gün sonunda hesaplanan oturma miktarlarının trafik yükü ile değişimi

		6 metre	10,2 metre	20,2 metre
Normal	180	28,50	95,99	190,20
	1000	28,54	99,82	357,89
Trafik	180	33,27	105,54	201,28
	1000	34,11	119,43	399,05
Değişim (%)	180	16,73	9,94	5,83
	1000	19,53	19,64	11,50

Yumuşak zemin tabaka kalınlığının dolgu topuğundan 1,5 metre uzaklıktaki doğal zemin yüzeyinde meydana gelen yatay deplasman miktarı incelendiği zaman, hesaplanan yatay deplasman miktarının yumuşak zemin tabaka kalınlığına bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. 180 ve 1000 gün için hesaplanan yatay deplasman miktarı hem trafik yükü altında hem de trafik yükü olmadığı zaman hesaplanan yatay deplasman miktarı Tablo 6.99’da verilmiştir.

Tabaka kalınlığı 6 metre olduğu zaman, trafik yükü etkisi altında 180 gün sonunda 23,17 mm iken 1000 gün sonunda 24,10 mm olmaktadır. Tabaka kalınlığı 10,2 metre olduğu zaman, trafik yükü altında 180 gün için hesaplanan yatay deplasman miktarı 39,83 mm, 1000 gün sonunda hesaplanan yatay deplasman miktarı ise 41,13 mm’dir. Yumuşak zemin tabakası 20,2 metre olduğu zaman meydana gelen yatay deplasman miktarı 180 günde 48,26 mm iken 1000 gün sonunda meydana gelen yatay deplasman miktarı zamanla azalarak 22,97 mm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.99. Yanal deplasmanda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim

		6 metre	10,2 metre	20,2 metre
Normal	180	19,55	35,41	42,99
	1000	20,25	36,58	16,85
Trafik	180	23,17	39,83	48,26
	1000	24,10	41,13	22,97
Değişim (%)	180	18,55	12,48	12,26
	1000	19,02	12,46	36,38

7. ÖZET VE TARTIŞMA

Günümüz dünyasında nüfus artışı sebebi ile inşaat mühendisliğine olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Yeni konut alanları bu ihtiyaçların arasında öncelikli olarak ortaya çıksada, gerek bu alanların oluşturulması gerekse var olan konut alanlarının yenilenmesi sırasında çeşitli zemin mekaniği problemleriyle karşılaşmaktadır. Ayrıca, varolan karayollarının ihtiyaç duyulan talebi karşılayamaması sebebi ile yeni karayolu hatlarına da yatırımlar yapılmaktadır. Karayolu yapımı sırasında da sık sık çeşitli zemin mekaniği problemleri ile karşılaşmaktadır. Bu problemlerden belki de en önemlisi, karayolu dolgu inşası sırasında karşılaşılan konsolidasyon oturması problemidir. Bu nedenle çeşitli karayolu inşası uygulamalarında, dolgu altına kazıklar inşa edilmiş yada geotekstil uygulaması yapılarak meydana gelen oturma problemi engellenmeye veya kabul edilebilir sınırlara indirilmeye çalışılmıştır. Yapılan kazık uygulamalarında, betondan bağ kirişi yapmanın maliyeti oldukça yükseltmesi ve geosentetik uygulanmasının zaman alması sebebi ile son zamanlarda bu iki yöntem birleştirilerek karayolu dolguları inşa edilmeye başlanmıştır. Yapılan bu yeni tip uygulama kazık destekli donatı dolgu adıyla anılmaktadır. Yapılan bu uygulama ile birlikte kazık ile geotekstil arasındaki farklı oturma dolayısıyla, dolgu malzemesi içerisinde oluşan kayma bantlarıyla, dolgu yüksekliği kritik düzeyi geçtikten sonra gelen dolgu yükü doğrudan kazıklara aktarılmaktadır. Burada dolgu yükünün kazıklara aktarılma sırasında geosentetiğin membran etkisi de önemli rol oynamaktadır. Dolgu yükünün bu şekilde kazıklara, ve kazıklardan sağlam zemin tabakasına aktarılması ile birlikte dolgu da daha az oturma görülmekte ve ayrıca dolguların daha hızlı yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada kazıkla desteklenmiş donatılı dolguların davranışı farklı malzeme parametreleri ile birlikte farklı sayıda donatı ile birlikte inşa edilmiş çeşitli dolguların davranışını görebilmek için, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Sonlu elemanlar programının doğru modellenip modellenmediğini anlamak için öncelikle bir referans seçilmiştir. Referans için seçilen çalışmadan elde edilen veriler kazık destekli donatılı dolgu inşası başlangıcından sonra 180 gün süresince toplanmışken, yapılan sonlu elemanlar analizlerinde 1000 gün süre ile veri elde edilmiştir. Seçilen referans verileri ile sonlu elemanlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda 55 gün sonunda S2 noktasında, deneysel veriler ile sonlu elemanlar programı sonuçları arasında %1,35, S3 noktasında %4,33, E4 noktasında %16,93, E5 noktasında %16,22, P1 noktasında %11,68 ve P2 noktasında %20,32 fark

meydana gelmiştir. 180 gün sonunda elde edilen deneysel ve sonlu elemanlar programında hesaplanan veriler karşılaştırıldığı zaman S2 noktasındaki fark %23,72, S3 noktasında %2,30, E4 noktasında %3,80 ve E5 noktasında %5,13 fark olduğu görülmüştür. Elde edilen bu veriler, sonlu elemanlar analizleri için kabul edilebilir olarak kabul edilmiş ve parametrik çalışmaya geçilmiştir.

Parametrik çalışmanın ilk ana başlığını kullanan kazık özellikleri oluşturmuştur. Bu başlık altında kazık elastisite modülü, kazıklar arası mesafe, kazık çapı ve kazık boyunun kazık destekli donatılı dolgu davranışına etkisi araştırılmıştır. Kazık elastisite modülünün S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarları karşılaştırıldığı zaman, tüm noktalarda en düşük oturma miktarı elastisite modülünün 35 Gpa olduğu zaman hesaplanmıştır. Farklı kazık elastisite modülü için E4 noktasında hesaplanan en yüksek gerilme elastisite modülünün 5 Gpa olduğu durumda hesaplanmıştır. Elastisite modülü 20 ve 35 GPa olduğu zaman E4 noktasında hesaplanan gerilme miktarları arasında çok büyük bir fark görülmemiştir. E5 noktasında hesaplanan en yüksek gerilme elastisite modülünün 20 GPa olduğu durumda 32,9 kPa olarak hesaplanmıştır. Tüm elastisite modülleri için E9 noktasında hesaplanan gerilme miktarları arasında oldukça küçük farklılıklar olduğu görülmüştür. Farklı elastisite modülleri için hem P1 hem de P2 noktalarında en düşük aşırı boşluk suyu basıncı en yüksek kazık elastisite modülü olan 35 GPa için hesaplanmıştır. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı elastisite modülü 35 GPa olduğu durumda daha hızlı sönmüldüğü görülmüştür. Dolgu yüzeyinde meydana gelen en düşük oturma miktarı referans duruma göre %14,69 daha az olarak hesaplanmıştır. Farklı kazık elastisite modülünün yatay deplasmana olan etkisine bakıldığı zaman, kazık elastisite modülü 5 GPa'dan 20 GPa'ya çıktığı zaman çok az bir değişiklik meydana geldiği görülürken, elastisite modülü 35 GPa'ya çıkınca hesaplanan elastisite modülü 40 mm'den 33 mm'ye düşmektedir. Farklı kazık elastisite modülünün trafik yükü etkisi altındaki davranışları incelendiği zaman görülmektedir ki, trafik yükü etkidiği zaman her bir elastisite modülü için S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarı artmaktadır. Trafik yükünden dolayı meydana gelen en büyük değişim kazık elastisite modülünün 35 GPa olduğu durumda görülmüştür. Trafik yükü altında E4, E5 ve E9 noktalarında meydana gelen gerilme miktarındaki değişim incelendiği zaman görülmektedir ki, E4 ve E5 noktalarında hesaplanan gerilme miktarı kazık elastisite modülü arttıkça azalmaktadır. Ancak E9 noktasında hesaplanan gerilme miktarı ise kazık elastisite modülü arttıkça artmaktadır. Bu noktalarda meydana gelen bu değişimler

göstermektedir ki, kazık destekli donatılı dolguda, yük aktarım mekanizması doğru bir şekilde oluşmuş ve trafik yükü kazıklara aktarılmaktadır. Ayrıca, kullanılan kazıkların elastisite modülü arttıkça, kazıklara gelen yük miktarı da artmaktadır. Farklı kazık elastisite modülü için P1 ve P2 noktalarında trafik yükü uygulandıktan sonra ölçülen en düşük boşluk suyu basıncı miktarı 4,11 kPa ve 6,26 kPa olarak 35 GPa kazık elastisite modülü için hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı trafik yükü uygulandığı zaman tüm elastisite modülleri için ani bir şekilde artmaktadır. Meydana gelen artış miktarı farklı elastisite modülleri için sayısal olarak değişmemekle birlikte, yüzdelik olarak hesaplanan değişim miktarı ise artan kazık elastisite modülü ile birlikte artmaktadır. 5 GPa, 20 GPa ve 35 GPa için trafik yükü altında 1000 gün sonunda hesaplanan yatay deplasman miktarı sırasıyla 41,55 mm, 41,13 mm ve 34,78 mm olarak hesaplanmıştır. Trafik yükünden dolayı meydana gelen artış miktarı yüzdelik olarak eşit olsada, sayısal olarak bakıldığı zaman, elastisite modülü arttıkça meydana gelen yatay deplasman miktarında azalma olduğu ortaya çıkmaktadır.

Kazıklar arası mesafenin kazık destekli donatılı dolgunun trafik yükü etisi altında değilken davranışına etkisi incelenirken kazıktaki gerilme ve oturma miktarı göz ardı edilmiştir. Bunun sebebi ise, kazıklar arası mesafe değiştiği zaman kazık yerleri ve yükleme koşullarının değişmesidir. Trafik yükü olmadığı zaman S2 noktasında hesaplanan en düşük oturma miktarı kazıklar arası mesafe 4D olduğu zaman hesaplanmıştır. S3 noktasında hesaplanan en düşük oturma miktarı ise kazıklar arası mesafenin 2,5D olduğu zaman hesaplanmıştır. Meydana gelen bu durumun sebebi ise, kazıklar arası mesafe değiştiği zaman, aynı dolgu içerisinde yer alan kazık sayısı da değişmekte, bu nedenle aynı koordinatlara sahip bir nokta, farklı kazıklar arası mesafe için bir kazığın üstüne denk gelebilmesi veya bir kazığa daha yakın yada uzak olmasıdır. Ancak dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarları farklı kazıklar arası mesafe için karşılaştırıldığı zaman, hesaplanan en yüksek oturma miktarı kazıklar arası mesafe 4D olduğu zaman, hesaplanan en küçük oturma miktarı ise kazıklar arası mesafenin 2,5D olduğu zaman bulunmuştur. Farklı kazıklara arası mesafe için P1 ve P2 için hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı miktarı sırası ile 15,91 ve 22,39 kPa ile kazıklar arası mesafenin 3,5D olduğu zaman hesaplanmıştır. Kazıklar arası mesafe 4D olduğu zaman, P1 ve P2 noktalarının olduğu kesite bir kazık denk gelmektedir. Bu nedenle, bu noktalar da 4D kazıklararası mesafe için hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı 3,5D kazıklar arası mesafe için hesaplanan değerlerden daha az olmaktadır. Farklı kazıklar arası mesafe için

hesaplanan yatay deplasman miktarı ise en küçük 2,5D, en yüksek 4D için hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler sırası ile 27 mm ile 44 mm'dir. Ancak 1000 gün sonunda, 3D, 3,5D ve 4D kazıklar arası mesafe için bulunan yatay deplasmanların aynı büyüklüklere geldiği , 2,5D kazıklar arası mesafe için ise 1000 gün sonunda yatay deplasman miktarında bir miktar artış olduğu görülmektedir.

Kazık destekli donatılı dolguların davranışı incelenirken göz önüne alınan bir diğer kazık özelliği ise kullanılan kazıkların çapıdır Çalışmanın bu aşamasını gerçekleştirmek için seçilen kazık çapları ise sırası ile 0,5 metre, 1 metre ve 1,5 metredir. Yapılan sonlu elemanlar analizleri sırasında kazık çapları değiştirilir iken, kazıklar arası mesafe 3D'de sabit tutulmuştur. Yapılan bu analizlerde S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarları her kazık çapı için aynı yükleme koşullarına sahip olmadığı için, burada bu değerlerle ilgili bir yorum yapılmayacaktır. Ancak E4, E5 ve E9 noktalarında farklı kazık çapları için meydana gelen gerilme değişimi incelenecektir. E4 noktasında hesaplanan gerilme miktarı kazık çapı artınca artsada, 1000 gün sonunda 1 metre ile 1,5 metre kazık çapına sahip iki model karşılaştırıldığında E4 noktasında meydana gelen değişim sadece 1,8 kPa olmaktadır. Aynı kazık çapları için E5 noktasında bulunan gerilme farkı ise 5,76 kPa olmaktadır. Farklı kazık çapları için E9 noktasında bulunan kazığa gelen gerilme miktarına bakıldığı zaman, kazıklara gelen eksenel yükün kazık çapıyla birlikte arttığı görülmekte ancak hesaplanan gerilmenin aynı düzeyde artmadığı ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi ise, artan çaptan dolayı, kazık alanında meydana gelen artış miktarının, eksenel yükte meydana gelen artış miktarı ile doğrusal olmamasıdır. Kazık destekli donatılı dolgu davranışı için önemli bir parametre olan aşırı boşluk suyu basıncı incelendiği zaman ise, kazık çapı arttıkça P1 ve P2 noktasında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının arttığı görülmüştür. Benzer şekilde, kazık çapı arttıkça, dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı artmaktadır. Hesaplanan yatay deplasman miktarı ise 0,5 metre kazık çapı için 24 mm iken 1,5 metre kazık çapı için 54,85 mm'ye yükselmektedir. Bu değerlerin anlamı ise, kazık çapı arttıkça, zemin kemeri oluşumunun azalması, ve yumuşak zemin üzerine daha fazla yük gelmesidir. Her ne kadar E4 noktasında artan kazık çapı ile çok az bir miktar artış meydana gelmişse de, dolgu davranışında büyük değişiklikler görülmüştür. Farklı kazık çapları için trafik yükünün etkisini incelemek için öncelikle 0,5 metre ve 1 metre kazık çapları ele alınmıştır. 0,5 metre kazık çapı için S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarı, 1000 gün sonunda trafik yükü etkilemediği durumda hesaplanan oturma miktarına oranlandığı zaman hesaplanan değişim

miktarı sırasıyla %6,96, %10,64, %19,64 ve %17,42'dir. Aynı şartlar için 1 metre kazık çapı için meydana gelen değişim ise S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen değişim ise sırasıyla %7,75, %9, %17,95 ve %13,74 olarak hesaplanmıştır. S1 noktası hariç, diğer tüm noktalarda düşük kazık çapı için meydana gelen değişim yüzdelik olarak daha büyüktür. Bunun sebebi ise, düşük kazık çapı için hesaplanan oturma miktarının büyük kazık çapı için hesaplanan oturma miktarına göre oldukça düşük olması ve bu yüzden meydana gelen küçük bir değişimin orana daha çok yansımından kaynaklanmaktadır. 0,5 metre kazık çapı için E4 noktasında 1000 gün sonunda trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim 0,67 kPa iken aynı noktada 1 metre kazık çapı için meydana gelen değişim miktarı 2,51 kPa olmaktadır. E5 noktasında trafik yükünden dolayı 0,5 ve 1 metre kazık çapı için meydana gelen artış miktarı ise 2,76 kPa ve 3,23 kPa'dır. E4 ve E5 noktalarında meydana gelen en düşük artış miktarı 0,5 metre kazık çapında meydana gelmiş olsa da, E9 noktasında meydana gelen en yüksek artış 115,62 kPa ile 1 metre kazık çapı için hesaplanmıştır. Trafik yükü etkisi altında, kazık çapı arttıkça P1 ve P2 noktalarında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncındaki artış miktarı artmaktadır. Kazık çapı 0,5 metre olduğu zaman, P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı 195. güne kadar sürmüştür. P1 noktasında ise trafik yükünden dolayı oluşan maksimum boşluk suyu basıncı 180. günde görülmüştür. Bunun sebebi ise P1 noktasının P2 noktasına göre çok daha hızlı bir şekilde drene olması ve trafik yükünden dolayı bu noktada çok küçük bir artış görülmesidir. Kazık çapı 1,5 metre olduğu zaman ise hem P1 hem de P2 noktalarında aşırı boşluk suyu basıncı artışı 180. günden sonra da devam etmiştir. Dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarı ise trafik yükü olduğu zaman 1000 gün sonunda en az olarak 35 mm ile kazık çapı 0,5 metre olduğu zaman hesaplanmıştır. Farklı kazık çapları için trafik yükünden dolayı meydana gelen yatay deplasman miktarındaki artış en az en düşük çaplı kazık çapı kullanıldığı durumda görülmüştür.

Kazık boyunun davranışa etkisini saptamak için kazık boyu 12 metre, 16 metre ve 20 metre olan sonlu elemanlar modelleri hesaplanmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarı 12 metre kazık boyu olduğu zaman en yüksektir. 16 metre kazık boyu için hesaplanmış olan oturma değerleri referans olarak alındığı zaman S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarında 12 metre kazık boyu için %481, %230, %185 ve %534 artış meydana gelmektedir. Kazık boyu 20 metre olduğu zaman ise, oturma miktarı 16 metrelik kazık boyu için hesaplanan

oturma değerlerine göre S1, S2, S3 ve S4 noktalarında %88, %57, %50 ve %91 azalma meydana gelmiştir. Farklı kazık boyları için E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilme miktarlarına bakıldığı zaman, E4 noktasında hesaplanan gerilme miktarının kazık boyu azaldıkça arttığı görülmüştür. Kazık boyunun E5 noktasında hesaplanan gerilme miktarına bir etkisi olmadığı görülmüştür. E9 noktasında ise, kazık başlığına gelen yük dolgu inşa başlangıcından 55 gün sonra kazık boyu ile birlikte artarken, 1000 gün sonunda tüm kazık boyları için aynı olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, yumuşak zemin tabakasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının kazık boyuna oldukça bağımlı olduğu ortaya çıkmıştır. 16 metrelik kazık boyu referans alındığı zaman, kazık boyu 12 metreye düştüğünde P1 ve P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı %60,61 ve %200,46 artarken, kazık boyu 20 metre olduğu zaman %50,66 ve %82,41 azalmaktadır. Ayrıca oluşan bu aşırı boşluk suyu basınçlarının sönmelenme günleride farklı kazık boyları için farklılık göstermektedir. Dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarı ise kazık boyu azaldıkça artmaktadır. Kazık boyu 12 metre iken dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarı 265,51 mm iken, kazık boyu 20 metre olduğu zaman hesaplanan oturma miktarı 54,72 mm'dir. Farklı kazık boyları için hesaplanan yatay deplasmanlara bakıldığı zaman en düşük yatay deplasmanın 24 mm ile 12 metre kazık boyu için hesaplandığı görülmüştür. Kazık boyu 12 metre olduğu zaman ise hesaplanan yatay deplasman miktarı 48 mm olmaktadır. Kazık boyu 12 metre olduğu zaman hesaplanan yatay deplasman, belirli bir derinliğe kadar sabit kalmaktadır. Ayrıca zaman geçtikçe oldukça azalmaktadır. Farklı kazık boylarının trafik yükü altındaki kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisine bakıldığı zaman S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yüküyle birlikte tüm kazık boyları için oturma miktarında artış olduğu görülmekte, meydana gelen artış miktarının en yüksek olduğu durumun ise kazık boyunun 12 metre olduğu durumda meydana geldiği görülmüştür. E4 ve E5 noktalarında trafik yükü etkidikten sonra meydana gelen değişim 12 kPa'dan oldukça düşük iken E9 noktasında meydana gelen gerilme miktarı tüm kazık boyları için 100 kPa'dan daha fazla bulunmuştur. P1 ve P2 noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncındaki artışa bakıldığı zaman kazık boyu 12 metre olduğu zaman P1 noktasında %45,14, P2 noktasında %17 artış görülmüştür. Kazık boyu 16 metre olduğu zaman meydana gelen değişimler %234,54 ve %46,51 olmaktadır. Kazık boyu 20 metre olduğu zaman ise trafik yükünden dolayı aşırı boşluk suyu basıncında meydana gelen değişim P1 için %3374,84, P2 için %285,26 olmaktadır. Kazık boyu büyüdükçe meydana gelen değişim yüzdesinin artmasının sebebi

ise, kazık boyunun büyük olduğu durumda, dolgu inşası süresince çok daha az aşırı boşluk suyu oluşması, oluşan bu aşırı boşluk suyu basıncının trafik yükü etkiyene kadar neredeyse drene olmasından dolayıdır. Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarında trafik yükünden dolayı meydana gelen en büyük değişim 34,29 mm ile kazık boyunun 12 metre olduğu durumda meydana gelmiştir. Bunun en büyük sebebi ise, kazık boyu 12 metre olduğu zaman, kazıklara iletilen yük yumuşak zemin tabakasına iletilmesi ve bu yüzden daha yüksek aşırı boşluk suyu basıncının oluşmasıdır. Trafik yükünün etkidiği analizler sonucunda ortaya çıkan sonuçlarda, dolgu yüzeyinde elde edilen sonularla benzerlik göstermektedir. Trafik yükü etkidikten sonra 12 metrelik kazık boyu için hesaplanan yatay deplasman miktarı 46,50 mm, 16 metrelik kazık boyu için hesaplanan yatay deplasman miktarı 39,83 mm, 20 metre kazık boyu için hesaplanan yatay deplasman miktarı ise 28,28 mm olmaktadır.

Yapılan bu çalışmada ele alınan bir diğer ana değişken ise kullanılan geosentetiktir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada farklı donatı rijitlikleri ve donatı sayısı için çeşitli modellemeler yapılmıştır. Donatı rijitlikleri 1180 kN/m, 6000 kN/m ve 10000 kN/m olarak seçilmiştir. Farklı donatı sayısı için 2 ve 3 adet geosentetik tabakası dolgu içerisinde farklı noktalara yerleştirilmiştir. 2 adet donatı için trafik yükü uygulanmadan 6 farklı dolgu içi yerleşim yeri için, 3 adet donatı sayısı için ise 5 farklı dolgu içi yerleşim için sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Trafik yükünün uygulandığı durumlarda ise hem iki adet hem de üç adet donatı sayısı için 5'er farklı dolgu içi yerleşime göre analizler yapılmıştır.

Donatı rijitliğinin kazık destekli donatılı dolguların davranışına etkisine bakıldığı zaman, S1 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarlarının 4000 kN/m rijitlik değeri ve daha yüksek rijitlik değerleri için sırasıyla 22 mm ve 28 mm olduğu görülmüştür. S2 ve S3 noktalarındaki oturma miktarına bakıldığı zaman, rijitlik miktarı 1180 kN/m'den 4000 kN/m'ye çıktığı zaman oturma miktarı 56,33 mm ve 89,14 mm'den 48,25 mm ve 75,06 mm'ye düşmektedir. Donatı rijitliği 10000 kN/m olduğu zaman aynı noktalarda hesaplanan oturma miktarı ise 47,69 mm ve 73,04 mm'ye düşmektedir. Bu sonuçlardan görülebileceği üzere, donatı rijitliğini belirli bir büyüklüğün üzerine çıktıktan sonra S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarında büyük bir değişiklik olmamaktadır. E4 noktasında hesaplanan gerilme miktarı donatı rijitliğinden çok az etkilenmekle birlikte, donatı rijitliğinin E9 noktalarında hesaplanan gerilme değerleri donatı rijitliğinden etkilenmemektedir. E5 noktasında ise donatı rijitliği 1180 kN/m'den

4000 kN/m'ye çıktığı zaman hesaplanan gerilme miktarı azalmakta ancak donatı rijitliğinin daha fazla artması durumunda E5 noktasında daha fazla değişim görülmemektedir. P1 ve P2 noktalarında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı da, donatı rijitliği 1180 kN/m'den 4000 kN/m'ye çıktığı zaman azalırken daha sonraki adımlarda meydana gelen artışlardan etkilenmemektedir. Dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarı rijitliğin belli bir değerinden sonra sonra değişmediği görülmüştür. Hesaplanan yatay deplasman miktarına bakıldığı zaman, artan donatı rijitliği ile birlikte hesaplanan yatay deplasman miktarı azalmaktadır. Ancak tabaka derinliği arttıkça, donatı rijitliğinin etkisi azalmaktadır. Farklı donatı rijitliğinin trafik yükü etkileyen kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisini ortaya çıkarmak için donatı rijitliği 1180 kN/m, 4000 kN/m ve 10000 kN/m seçilerek trafik yükünün etkidiği üç farklı sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Trafik yükü etkidikten hemen sonra S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen değişim miktarı trafik yükü etkileden hemen önceki durum ile karşılaştırıldığı zaman, meydana gelen en düşük değişimin donatı rijitliğinin en düşük olduğu durumda görülmüştür. Trafik yükünden dolayı E4 ve E5 noktasında meydana gelen değişim incelendiği zaman, donatı rijitliği 1180 kN/m'den 4000 kN/m'ye çıktığı zaman hesaplanan gerilmelerde azalma meydana gelirken, donatı rijitliği 4000 kN/m'den 10000 kN/m'ye çıktığı zaman belirli bir değişim meydana gelmemektedir. Trafik yükünün etkidiği durumda E9 noktasında donatı rijitliğine bağlı olarak herhangi bir değişim olmamaktadır. P1 ve P2 noktalarında noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen değişim ile donatı rijitliği arasında bir bağlantı bulunamamıştır. Ancak tüm durumlar için trafik yükünün etkimesi ile birlikte aşırı boşluk suyu basıncında artış meydana gelmiştir. Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarları donatı rijitliği artarken azalmaktadır. Donatı rijitliği 10000 kN/m olduğu zaman dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarında trafik yükünden dolayı bir değişim meydana gelmediği görülmüştür. Donatı rijitliği arttıkça, dolgu daha rijit bir yapı haline gelmektedir. Bu nedenle yüksek donatı rijitlik değerleri için trafik yükünden dolayı daha az yatay deplasman meydana gelmektedir.

Kazık destekli donatılı dolgu inşası sırasında iki adet donatı kullanıldığı zaman S1, S2 ve S3 noktalarında en düşük oturma miktarı 3. durum için hesaplanmıştır. 3. durumda bu noktalar için hesaplanan oturma miktarı referans projeye göre sırasıyla %16,90, %14,68 ve %17,78 olarak hesaplanmıştır. S4 noktasında hesaplanan en düşük oturma miktarı 1. durumda 26,50 mm olarak hesaplanmıştır. S4 noktasında referans projeye göre

meydana gelen azalma ise %15,71 olarak hesaplanmıştır. 3. durumda S4 noktasında referans projeye göre meydana gelen değişim ise %14,08 olarak hesaplanmıştır. İki adet donatı kullanıldığı zaman E4 ve E5 noktalarında hesaplanan en düşük gerilme miktarı 3. durumda hesaplanırken, E9 noktasında hesaplanan en yüksek gerilme 3. durumda hesaplanmıştır. Bu durum 3. durumda dolgu yükünün kazıklara daha iyi aktarılmasından kaynaklanmaktadır. P1 ve P2 noktalarında iki donatılı dolgularda ölçülen en düşük aşırı boşluk suyu basıncı P1 noktası için 6. durumda 9,88 kPa olarak, P2 noktası için 2. durumda 16,54 kPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı ise P1 için 29,35 kPa, P2 için 26,95 kPa ile 1. durumda hesaplanmıştır. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı en hızlı olarak 2. durumda sönümlenmiştir. Dolgu tepe noktasında hesaplanan oturma miktarı iki katmanlı donatılı durum için en az 2. durumda 78,06 mm olarak ölçülmüştür. Hesaplanan bu değer, referans projedeki değere göre %21,8 daha azdır. İki katmanlı donatılı dolgu sistemlerinde hesaplanan en düşük yatay deplasman 2. durumda hesaplanırken en yüksek yatay deplasman ise 1. durumda hesaplanmıştır. Tabaka derinliği arttıkça, hesaplanan yatay deplasman miktarları tüm durumlar için birbirlerine oldukça yaklaşmaktadır. 2 katmanlı dolgulara trafik yükü etkidiği zaman S1 noktasında hesaplanan oturma miktarında görülen en düşük değişim 2. durumda, S2 noktasında 6. durumda, S3 ve S4 noktasında ise 4. durumda meydana gelmiştir. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında 1000 gün sonunda trafik yükü olmadığı ve trafik yükü etkidiği zaman hesaplanan oturma miktarı karşılaştırıldığı zaman S1 noktasında en az artış 1,69 mm ile 3. durumda, S2 noktasında 4,89 mm ile 6. durumda, S4 noktasında 4,69 mm ile hem 4. durumda hem de 6. durumda hesaplanmıştır. S3 noktasında ise tüm durumlarda hesaplanan oturma miktarında 14 mm artış meydana gelmiştir. E4, E5 ve E9 noktalarında meydana gelen gerilme değişimleri incelendiği zaman, E4 noktasında trafik yükünden dolayı meydana gelen en düşük değişim 0,87 kPa ile 6. durumda hesaplandığı, E5 noktasında meydana gelen en düşük değişimin ise 0,72 kPa ile 2. durumda hesaplandığı görülmüştür. Bunların yanında E4 noktasında 2. durumda trafik yükünden dolayı meydana gelen artış miktarı 5,08 kPa iken, E5 noktasında 2. durumda trafik yükünden dolayı 2,41 kPa artış meydana geldiği görülmüştür. E9 noktasında ise trafik yükünün etkimesinden dolayı meydana gelen gerilme artışı en yüksek 116,26 kPa olmuştur. Bu artış miktarı ise 3. durumda meydana gelmiştir. Trafik yükünden dolayı meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışları incelendiği zaman P1 noktasında meydana gelen en yüksek artışın 5,53 kPa, en düşük artışın ise 2,71 kPa olduğu

görülmüştür. P1 noktasında meydana gelen en düşük aşırı boşluk suyu basıncı artışı 3. durumda meydana gelmiştir. P2 noktasında ise trafik yükünden dolayı meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı en çok 2,54 kPa en az ise 2,15 kPa olarak hesaplanmıştır. P2 noktasında en az değişim 1. durumda meydana gelmiştir. Bu çalışma da dolgu yüzeyinde, trafik yükünden dolayı dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarının, iki katmanlı donatı için, donatının dolgu içerisindeki yerleşiminden etkilendiği görülmüştür. Dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarında meydana gelen en yüksek değişim 1000 gün sonunda 18,75 mm ile 1. durumda, en az ise 17,28 mm ile 4. durumda meydana gelmiştir. İki katmanlı donatı ile inşa edilen kazık destekli donatılı dolgularda trafik yükünden dolayı meydana gelen yatay deplasman artışı en az 4,22 mm ile 4. durumda, en çok ise 7,43 mm ile 1. durumda meydana gelmiştir.

Birden fazla donatı kullanımının kazık destekli donatılı dolgunun davranışına olan etkisi iki katman donatı için yukarıda verilmiştir. Ancak kullanılan donatı sayısı artınca, dolgu davranışında nasıl bir değişiklik meydana geleceğini saptayabilmek için üç adet donatı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Üç katman donatı dolgu içerisinde farklı pozisyonlara yerleştirilerek dolgu davranışı beş farklı durum için incelenmiştir. Üç katman donatı için S1, S2, S3 ve S4 noktasında hesaplanan en düşük oturma miktarları sırası ile 21,47 mm, 48,39 mm, 74,95 mm ve 27,47 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değerler S1 için 2. durumda, S2 için 4. durumda, S3 için 1. durumda, S4 için ise 2. durumda hesaplanmıştır. Hesaplanan bu en düşük oturma değerleri, aynı referans projedeki değerler ile karşılaştırıldığı zaman S1 noktasında %14,2, S2 noktasında %14,1, S3 noktasında %15,9 ve S4 noktasında %12,6 daha az oturma hesaplandığı görülmüştür. Üç katmanlı dolgu için E4 ve E5 noktalarında hesaplanan en düşük gerilmeler sırasıyla 31,99 kPa olarak 1. durumda ve 29,83 kPa olarak 2. durumda hesaplanmıştır. E9 noktasında hesaplanan en yüksek gerilme miktarı ise 771,41 kPa olarak 5. durumda hesaplanmıştır. E9 noktasında birinci ve ikinci durumlar da hesaplanan gerilme ise sırasıyla 726,09 kPa ve 740,94 kPa'dır. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan en düşük ve en yüksek gerilmelerin farklı durumlarda olmasının sebebi ise birden çok donatı kullanılarak, alt tabakalara iletilen yük miktarı ve mekanizmasının değişmesi olduğu düşünülmektedir. P1 noktasında hesaplanan en düşük aşırı boşluk suyu basıncı 8,11 kPa ile 4. durumda hesaplanırken, P2 noktasında hesaplanan en düşük aşırı boşluk suyu basıncı 15,26 kPa ile 3. durumda hesaplanmıştır. P1 ve P2 noktalarında hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı ise 1. durumda hesaplanmış, ve hesaplanan bu aşırı boşluk suyu basınçları 1000

gün sonunda sönümlenmemiştir. 1000 gün sonunda dolgu yüzeyinde hesaplanan en düşük oturma 1. durumda 85,11 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu oturma değeri, referans projede dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarından %15 daha azdır. Ancak unutulmamalı ki, 1. durumda P1 ve P2 noktalarında hesaplanmış olan aşırı boşluk suyu basıncı tam olarak sönümlenmemiş ve bu nedenle ileriki günlerde dolgu yüzeyinde daha fazla oturma olacağı beklenmektedir. P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncının sönümlendiği durumlarda dolgu yüzeyinde hesaplanan en düşük oturma ise 86,42 mm'dir. Bu değer ise referans proje için hesaplanmış değerden %13,42 daha azdır. Hesaplanmış olan yatay deplasman miktarına bakıldığı zaman ise, üç katman donatı tabakasına sahip her bir durum için 55 ve 1000. günlerde hesaplanan hiçbir yatay deplasman değerinin referans projede hesaplanmış olan yatay deplasman miktarından daha az olduğu görülmemiştir. Üç katmanlı donatı kullanılan kazık destekli donatılı dolgulara trafik yükü uygulandığı zaman, S1, S2, S3 ve S4 noktalarında, trafik yükü uygulandıktan hemen sonra meydana gelen en düşük değişim 5. durumda meydana gelirken 1000 gün sonunda meydana gelen en az değişim farklı noktalar için farklı durumlarda görülmüştür. 1000 gün sonunda S1 noktasında trafik yükü etkidikten sonra meydana gelen en küçük değişim %20,86 ile 2. durumda, S2 noktasında %16,49 ile 5. durumda, S3 noktasında %21,81 ile 5. durumda ve S4 noktasında %23,81 ile 3. durumda hesaplanmıştır. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yükü altında meydana gelen en düşük oturma miktarları sırasıyla 23,93 mm, 53,99 mm, 90,21 mm ve 32,16 mm'dir. 12 kPa'lık trafik yükünden dolayı E4 noktasında hesaplanan gerilme miktarında meydana gelen en düşük gerilme artışı 1,23 kPa ile 5. durumda hesaplanmıştır. E5 noktasında meydana gelen en düşük gerilme değişimi ise 1,98 kPa ile 2. durumda meydana gelmiştir. E9 noktasında meydana gelen en yüksek değişim ise 123,29 kPa ile 1. durumda hesaplanmıştır. E4 noktasında en az gerilme artışının meydana geldiği durumda E9 noktasında meydana gelen gerilme artışı 109,85 kPa, E5 noktasında en az gerilme artışının meydana geldiği durumda E9 noktasında meydana gelen gerilme artışı 108,72 kPa olarak hesaplanmıştır. P1 ve P2 noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen en düşük gerilme artışı ise sırasıyla 3,19 kPa ile 5. durumda ve 2,33 kPa ile 4. durumda hesaplanmıştır. Trafik yükünden dolayı dolgu yüzeyinde meydana gelen en az değişim 17,16 mm ile 5. durumda hesaplanırken, 1000 gün sonunda trafik yükü altında hesaplanan en az oturma 102,58 mm ile 1. durumda hesaplanmıştır. Trafik yükü etkidiği zaman 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük yatay deplasman miktarı 42,57 mm olarak

4. Durumda hesaplanmıştır. Trafik yükünün etkisiyle meydana gelen en düşük yatay deplasman artışı ise 4,83 mm ile 5. durumda hesaplanmıştır.

Kazık destekli donatılı dolgu inşasında kullanılan dolgu özelliklerinin davranışa olan etkilerini gözlemleyebilmek için, kullanılan malzemenin elastisite modülü ile birlikte içsel sürtünme açısı değiştirilerek meydana gelen değişimler saptanmıştır.

Dolgu malzemesinin elastisite modülünün etkisini saptayabilmek için elastisite modülü 20000 kPa, 28000 kPa, 33000 kPa ve 37000 kPa olarak değiştirilmiş ve her bir değer için bir adet sonlu elemanlar metodu kullanılarak sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere göre S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan en düşük oturma miktarı sırasıyla 21,32 mm, 45,98 mm, 73,88 mm ve 26,50 mm olarak elastisite modülü 37000 kPa olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler ile referans model için bu noktalarda hesaplanan değerler karşılaştırıldığı zaman, elastisite modülü 37000 kPa'ya çıktığında hesaplanan oturmaların sırasıyla %14,80, %18,37, %17,12 ve %15,70 azaldığı görülmüştür. E4 noktasında hesaplanan en düşük gerilme elastisite modülünün 37000 kPa olduğu durumda 34,82 kPa olarak hesaplanmıştır. E5 noktasında hesaplanan en düşük gerilme miktarı ise 30,51 kPa olarak elastisite modülü 37000 kPa olduğu zaman hesaplanmıştır. Benzer şekilde, elastisite modülü 37000 kPa olduğu zaman, E9 noktasında en yüksek gerilme hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu gerilme miktarı 804,65 kPa'dır. Elastisite modülü arttıkça, E4 ve E5 noktalarında gözlemlenen gerilmelerin azalırken, E9 noktasında hesaplanan gerilmelerin artması, zemin içerisinde kemer sisteminin yüksek elastisite modülü olduğu zaman daha düzgün bir şekilde oluştuğu ve kazıklara daha fazla yük aktardığı anlamına gelmektedir. P1 ve P2 noktalarında inşa sırasında hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncının en düşük değeri de elastisite modülünün 37000 kPa olduğu durumda sırasıyla 7,52 kPa ve 14,80 kPa olarak hesaplanmıştır. Farklı dolgu malzemesi elastisite modülü için dolgu yüzeyinde hesaplanan en az oturma miktarı 37000 kPa elastisite modülü ile yapılan analiz sonucunda hesaplanmıştır. Elastisite modülünün 37000 kPa elastisite modülü için hesaplanan oturma miktarı referans projede hesaplanan oturma miktarından %20 daha az olmaktadır. Dolgu malzemesinin elastisite modülü arttığı zaman hesaplanan yatay deplasmanda önce bir düşüş görülmekle birlikte, yüksek elastisite modülü için hem doğal zemin yüzeyinde hem de artan derinlik ile hesaplanan yatay deplasmanda bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Farklı dolgu malzemesi elastisite modülünün trafik yükü etkileyen dolgu davranışına olan etkisini araştırmak için yapılan sonlu elemanlar analizleri için

20000 kN/m, 33000 kN/m ve 37000 kN/m elastisite modülü seçilmiştir. Trafik yükü etkidiği zaman 1000 gün sonunda S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan en düşük oturma miktarı sırasıyla 24,19 mm, 52,25 mm, 89,63 mm ve 31,76 mm'dir. Hesaplanmış olan bu değerler S1 noktasında elastisite modülünün 33000 kN/m olduğu durumda, diğer noktalarda ise elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu zaman hesaplanmıştır. Trafik yükünden dolayı E4 noktasında meydana gelen en düşük gerilme artışı 3,25 kPa olarak 33000 kN/m elastisite modülü için hesaplanırken, E5 noktasında meydana gelen en düşük gerilme artışı 3,66 kPa olarak yine 33000 kN/m elastisite modülü için yapılan analizde hesaplanmıştır. E9 noktasında meydana gelen en yüksek gerilme artış miktarı ise 115,62 kPa ile elastisite modülünün 20000 kN/m olduğu durumda gözlemlenmiştir. P1 ve P2 noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen en düşük aşırı boşluk suyu basıncı artışı ise sırasıyla 2,98 kPa ve 2,15 kPa olarak 33000 kN/m elastisite modülü için hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinde trafik yükünden dolayı 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük oturma miktarı 97,59 mm olarak dolgu malzemesi elastisite modülü 37000 kN/m olduğu zaman hesaplanmıştır. Trafik yükü etkisi altında hesaplanan en düşük yatay deplasman miktarı 35,36 mm'dir. Bu değer dolgu malzemesi elastisite modülünün 33000 kN/m olduğu zaman hesaplanmıştır. Ancak, trafik yükünün etkidiği ve trafik yükü etkimediği zaman hesaplanan yatay deplasman miktarları oranlandığı zaman, meydana gelen en az yüzdelik değişim dolgu malzemesi elastisite modülünün 37000 kN/m olduğu zaman %11,87 olarak hesaplanmıştır.

Dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisini ortaya koymak için, 28, 34 ve 40 derecelik içsel sürtünme açıları kullanılarak üç farklı durum karşılaştırılmıştır. 1000 gün sonunda S1, S2, S3 ve S4 noktalarında en düşük oturma miktarı içsel sürtünme açısının 40 derece olduğu durumda sırasıyla 21,37 mm, 46,06 mm, 70,18 mm ve 27,68 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değerler ile referans değer olan, 28 derecelik içsel sürtünme açısı için hesaplanan değerler karşılaştırıldığı zaman hesaplanan oturma değerlerinde %15,61, %18,42, %21,21 ve %13,06 azalma meydana geldiği görülmüştür. İçsel sürtünme açısı 28 dereceden 34 dereceye çıktığı zaman E4 ve E5 noktalarında hesaplanan gerilme değeri sabit kalırken, içsel sürtünme açısı 34 dereceden 40 dereceye çıktığı zaman, E4 noktası için hesaplanan gerilme 39,2 kPa'dan 32,9 kPa'ya düşerken, E5 noktasında hesaplanan gerilme 32,33 kPa'dan 30,65 kPa'ya düşmektedir. Ancak E9 noktasında hesaplanan gerilme miktarı içsel sürtünme açısı arttıkça artmakta ve 40 derecelik içsel sürtünme açısı için 797,82 kPa

olmaktadır. E9 noktasında referans değere göre meydana gelen artış miktarı 31,71 kPa olarak bulunmuştur. P1 ve P2 noktalarında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı dolgu malzemesi içsel sürtünme açısı arttıkça azalmaktadır. P1 ve P2 noktasında 55. günde hesaplanmış en düşük aşırı boşluk suyu basıncı sırasıyla 7,79 kPa ve 15,67 kPa'dır. Dolgu malzemesi içsel sürtünme açısı 28 dereceden 40 dereceye çıktığı zaman, dolgu yüzeyinde hesaplanan toplam oturma miktarı %21 azalarak 79,21 mm olarak bulunmuştur. Dolgu topuğundan 1.5 metre uzaklıktaki yatay deplasman miktarına bakıldığında zaman, zemin yüzeyinde meydana gelen en düşük yatay deplasman, en yüksek içsel sürtünme açısı 40 derece olan durum için hesaplanmıştır. Dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının trafik yükü altındaki davranışına olan etkisini göstermek için 28 ve 40 derece içsel sürtünme açıları seçilmiştir. Trafik yükü etkidikten sonra, trafik yükü etkileden hemen önce hesaplanan oturma miktarına göre hesaplanan değişim yüksek içsel sürtünme açısı için daha az olmaktadır. Trafik yükü etkidiği ve trafik yükü etkilemediği zaman aynı içsel sürtünme açısı için hesaplanan oturmalar karşılaştırıldığında zaman S1, S2, ve S4 noktaları için meydana gelen en yüksek artış 40 derecelik içsel sürtünme açısı için hesaplanmıştır. S3 noktasında hesaplanan en yüksek değişim miktarı ise 28 derecelik içsel sürtünme açısı için hesaplanmıştır. E4 ve E5 noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen gerilme artışının içsel sürtünme açısı arttıkça azaldığı görülmüştür. Trafik yükünün etkisiyle P1 noktasında, dolgu malzemesi içsel sürtünme açısı 28 derece olduğu zaman 3,06 kPa, 40 derece olduğu zaman 2,53 kPa artış meydana geldiği görülmüştür. P2 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı ise 28 derece içsel sürtünme açısı için 2,53 kPa, 40 derece içsel sürtünme açısı için 1,84 kPa'dır. İçsel sürtünme açısı arttığı zaman dolgu yüzeyinde trafik yükünden dolayı meydana gelen artış miktarının da daha az olduğu görülmüştür. Yapılan analizler göstermiştir ki, hesaplanan yatay deplasman miktarının da azaldığı ortaya çıkmıştır.

Kazık destekli donatılı dolgu inşası sırasında geosentetiği gömüldüğü ve çalışma tabakası olarak da adlandırılan granüler malzemenin dolgu davranışına olan etkisini ortaya koymak için, bu tabakanın içsel sürtünme açısı ve kalınlığı değiştirilerek farklı sonlu elemanlar analizi yapılmıştır.

Çalışma platformu içsel sürtünme açısının dolgu davranışına olan etkisini göstermek için içsel sürtünme açısı 20,5, 40,5 ve 50,5 derece olarak seçilmiştir. Bu içsel sürtünme açıları için yapılan analizler göstermektedir ki S1 ve S4 noktalarında hesaplanan en düşük oturma miktarı 20,5 derece içsel sürtünme açısı için, S2 ve S3

noktasında hesaplanan en düşük oturma miktarı ise içsel sürtünme açısının 50,5 derece olduğu durumda hesaplanmıştır. S1 ve S4 noktalarında meydana gelen değişim sırasıyla %15,39 ve %21,04 olurken, S2 ve S3 noktalarında meydana gelen değişim %15,58 ve %19,64 olmaktadır. E4 ve E5 noktalarında hesaplanan en düşük gerilme 40,5 derece içsel sürtünme açısı için, en yüksek gerilmeler ise 20,5 derece içsel sürtünme açısı için hesaplanmıştır. E9 noktasında hesaplanan en yüksek gerilme çalışma platformu içsel sürtünme açısının 40,5 derece olduğu durumda hesaplanmıştır. Elde edilen bu verilere göre, çalışma platformunun içsel sürtünme açısı arttıkça, E4 ve E5 noktalarında hesaplanan gerilme miktarı azalırken kazık üzerine gelen gerilme artmaktadır. Bu durumda, zemin kemerinin çalışma platformu içsel sürtünme açısı yüksek olduğu zaman daha iyi oluştuğunun göstergesidir. Farklı içsel sürtünme açıları için P1 ve P2 noktalarında hesaplanmış olan en düşük aşırı boşluk suyu basıncı sırasıyla 7,28 kPa ve 14,73 kPa'dır. Bu aşırı boşluk suyu basıncı değerleri içsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinde hesaplanan en düşük oturma miktarı, çalışma platformu içsel sürtünme açısının 50,5 derece olduğu zaman 80,52 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer referans projedeki değerden %19,33 daha azdır. Yatay deplasman değerlerinde meydana gelen değişikliklere bakıldığı zaman en düşük yatay deplasmanın 32,56 mm ile çalışma platformu içsel sürtünme açısının en düşük olduğu değerde hesaplandığı görülmüştür. Çalışma platformu içsel sürtünme açısında meydana gelen değişikliklerin trafik yükü etkisi altındaki kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkilerini bulmak için iki farklı içsel sürtünme açısı seçilmiştir. Seçilen içsel sürtünme açısı değerleri 40,5 ve 50,5 derecedir. Trafik yükü uygulandıktan sonra S1, S2, S3 ve S4 noktalarındaki oturma miktarında meydana gelen yüzdelik değişim 50,5 derece içsel sürtünme açısı için yapılan analizde daha küçük olarak bulunmuştur. Ayrıca, trafik yükü uygulandıktan sonra S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan en düşük oturma miktarı içsel sürtünme açısı 50,5 derece olduğu zaman hesaplanmıştır. Trafik yükünden dolayı E4 ve E5 noktalarında meydana gelen en az artış 50,5 derece için hesaplanırken, E9 noktasında meydana gelen en yüksek artış 40,5 derece içsel sürtünme açısı için hesaplanmıştır. P1 ve P2 noktalarında farklı içsel sürtünme açıları için trafik yükünden dolayı meydana gelen en düşük artış miktarı sırasıyla 2,79 kPa ve 1,79 kPa olup 50,5 derece içsel sürtünme açısı için hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinde trafik yükü etkileyen durum için hesaplanan en düşük oturma miktarı 97,24 mm'dir. Bu değer trafik yükünün etkilemediği analize göre 16,72 mm fazla olup tekrardan içsel sürtünme açısının

50,5 derece olduğu durumda hesaplanmıştır. Meydana gelen yatay deplasman miktarı en düşük 50,5 derece içsel sürtünme açısı için hesaplanırken, yine bu değer için yapılan analizde görülen yüzdelik olarak artış en yüksektir.

Çalışma platformu kalınlığının kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisi, kalınlık 0,25 metre, 0,80 metre ve 1,40 metre olarak değiştirilip ortaya konulmuştur. S1 ve S4 noktalarında hesaplanan en düşük oturma miktarı tabaka kalınlığı 0,8 metre olduğu zaman, S2 ve S3 noktalarında hesaplanan en düşük oturma miktarı tabaka kalınlığı 1,4 metre olduğu zaman hesaplanmıştır. Bu noktalarda meydana gelen oturma miktarı referans projede meydana gelen oturmalar ile karşılaştırıldığı zaman sırasıyla, %10,30, %6,67, %12,19 ve %34,55 olarak bulunmuştur. E4 ve E5 noktalarında 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük gerilme çalışma platformu kalınlığı 0,8 metre olduğu zaman, E9 noktasında hesaplanan en yüksek gerilme ise çalışma platformu 0,25 metre olduğu zamandır. Bu verilere göre, kazık üzerine gelen yük miktarı ile karşılaştırıldığı zaman bir çelişki olsa da, doğal zemin yüzeyinde meydana gelen oturma miktarlarındaki azalış ve kazık uçlarında meydana gelen oturma miktarındaki artışa bakılarak, kazıklara en iyi yük aktarma mekanizmasının tabaka kalınlığının 1,4 metre olduğu zaman olduğu görülmektedir. Farklı çalışma platformu kalınlıkları için P1 ve P2 noktalarında oluşan en düşük aşırı boşluk suyu basıncı 7,62 kPa ve 15,84 kPa olarak hesaplanmıştır. Bu iki aşırı boşluk suyu basıncı da tabaka kalınlığının 1,4 metre olduğu durumda hesaplanmış olup, yukarı da belirtilen, en iyi yük aktarım mekanizması savını desteklemektedir. Bunun nedeni ise, yumuşak zemin tabakasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının düşük olması bu tabakaya daha az yük etkidiğinin göstergesidir. Ayrıca dolgu yüzeyinde gözlemlenen oturma miktarı referans projeye göre %40 daha az olup 60,15 mm olarak hesaplanmıştır. Farklı tabaka kalınlıkları için hesaplanan yatay deplasmanda en düşük 1,4 metre kalınlık için 31,98 mm olarak hesaplanmıştır. Gerek dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı, gerekse yatay deplasman miktarındaki değişim çalışma platformu kalınlığı 1,4 metre olduğu zaman yumuşak zemine daha az yük etkidiğini göstermektedir.

Yumuşak kil tabakasının kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisini saptayabilmek için, yumuşak zemin tabakasının içsel sürtünme açısı, kohezyon, tabaka rijitliği ve tabaka kalınlığı değiştirilmiştir.

Yumuşak zemin tabakasının içsel sürtünme açısı büyüklüğünün kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisini ortaya koyabilmek açısından 19,3 derece, 25 derece, 30 derece ve 35 derece olmak üzere dört farklı içsel sürtünme açısı değeri

seçilmiştir. Yumuşak zemin tabakası içsel sürtünme açısı 35 derece olduğu zaman S1, S2, S3 ve S4 noktalarında en düşük oturmalar hesaplanmıştır. Hesaplanan bu oturmalar referans proje için hesaplanan oturmalarından sırası ile %20,17, %19,57, %20,75 ve %19,26 daha az olmaktadır. Farklı yumuşak zemin içsel sürtünme açısı için E4 ve E5 noktalarında hesaplanan gerilmelerdeki değişim 1 kPa, E9 noktasında hesaplanan değişimin ise en fazla 13 kPa olduğu görülmüştür. Bu nedenle oturma miktarında meydana gelen azalmanın, daha iyi bir yük aktarım mekanizması kurulduğu için değil, ancak yumuşak zemin tabakasının yük taşıma kapasitesinin artmaktan kaynaklandığı görülmüştür. P1 ve P2 noktalarında görülen aşırı boşluk suyu basıncı en düşük olarak 35 derecelik içsel sürtünme açısı için 6,99 kPa ve 13,93 kPa olarak hesaplanmıştır. Gerek S1, S2, S3 ve S4 noktalarında görülen oturmaların azalması, gerekse P1 ve P2 noktalarındaki aşırı boşluk suyu basıncının düşmesi, 35 derece içsel sürtünme açısı için dolgu yüzeyinde hesaplanan oturma miktarının referans projedeki değer olan 99,82 mm'den, 80,33 mm'ye düşmesine neden olmuştur. Ancak yatay deplasman değerine bakıldığında zaman, en düşük yatay deplasman değerinin 32,33 mm ile 30 derecelik içsel sürtünme açısında hesaplandığı, ancak 35 derecelik içsel sürtünme açısı için hesaplanan yatay deplasman miktarının 32,35 derece olduğu görülmüştür. Yumuşak zemin içsel sürtünme açısının kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisini ortaya koymak için 19,3 derece, 30 derece ve 35 derece olmak üzere üç farklı içsel sürtünme açısı seçilmiştir. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hem trafik yükünden dolayı hesaplanan en düşük oturma miktarı, hem de oransal olarak meydana gelen değişim içsel sürtünme açısının 35 derece olduğu zaman meydana gelmiştir. E4 ve E5 noktalarında hesaplanan gerilmeler de trafik yükü etkidikten sonra aynı gerilme değerleri hesaplanırken, E9 noktasında hesaplanan gerilme miktarının çok azda olsa azaldığı görülmüştür. P1 ve P2 noktalarında ölçülen aşırı boşluk suyu basıncının ise trafik yükü uygulandıktan sonra arttığı görülürken, meydana gelen artışın en az içsel sürtünme açısının 35 derece olduğu durumda hesaplandığı görülmüştür. Benzer şekilde, trafik yükü etkidiği durumda dolgu yüzeyinde hesaplanan en düşük oturma içsel sürtünme açısı 35 derece olduğu zaman 95,71 mm olarak hesaplanmıştır. Trafik yükü etkisi altında hesaplanmış olan en düşük yatay deplasman miktarı 32,93 mm olup hem 30 derece hem de 35 derece içsel sürtünme açısı için aynıdır.

Yumuşak zemin tabakasının kohezyon miktarının etkisi araştırmak için dört farklı kohezyon değeri seçilmiştir. Seçilen kohezyon değerleri 1 kPa, 4 kPa, 9 kPa ve 13

kPa'dır. Yapılan analizler sonucunda S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarının kohezyon artınca azaldığı ve en düşük oturma miktarının 13 kPa kohezyon için hesaplandığı görülmüştür. Kohezyon 13 kPa olduğu zaman oturma referans projeye göre S1, S2, S3 ve S4 noktalarında %16,03, %17,26, %18,26 ve %12,76 azalma meydana geldiği görülmüştür. Artan kohezyon miktarından dolayı, E4, E5 ve E9 noktasında hesaplanan gerilmeler de pek bir değişme gözlemlenmemiştir. Bu nedenle oturma miktarında görülen azalmanın sebebinin, yumuşak zemin tabakasının mukavetinin artmasından dolayı olduğu söylenebilir. P1 noktasında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncının en az 7,30 kPa olduğu ve 13 kPa kohezyon için bulunduğu, P2 noktasında hesaplanan en düşük aşırı boşluk suyu basıncının 14,27 kPa olduğu ve 9 kPa kohezyon için hesaplandığı görülmüştür. Dolgu yüzeyinde 1000 gün sonunda 13 kPa kohezyon için hesaplanan oturma miktarı 82,22 mm'dir. Bu oturma miktarı ile referans projedeki oturma miktarından 17,6 mm daha azdır. Kohezyon miktarı 1 kPa'dan 13 kPa'ya çıktığı zaman yatay deplasmanın 39,43 mm'den 30,08 mm'ye düştüğü görülmüştür. Kazık destekli donatılı dolguya trafik yükü etkidiği zaman farklı kohezyon büyüklüğünün etkisini ortaya koymak için 1 kPa, 4 kPa ve 13 kPa kohezyon değerleri seçilmiştir. Farklı kohezyon değerleri için S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan oturma miktarında trafik yükünün etkimesinden dolayı meydana gelen artış miktarı en az 13 kPa için görülmüştür. E4 ve E5 noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen gerilme artışı tüm kohezyon değerleri için hemen hemen aynı iken, E9 noktasında da farklı kohezyon değerleri için hesaplanan gerilmeler arasındaki en yüksek fark 10 kPa olarak bulunmuştur. Dolayısıyla tüm noktalarda trafik yükünden dolayı meydana gelen artış farklı kohezyon değerlerinden etkilenmemektedir. Trafik yükü etkidikten sonra P1 ve P2 noktalarında meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı en az 2,2 kPa ve 0,86 kPa olarak hesaplanmıştır. Bu artışlar kohezyonun 13 kPa olduğu durumda hesaplanmıştır. Trafik yükü etkisi altında dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı en düşük 96,87 mm olarak 13 kPa için hesaplanmıştır. Kohezyon 1 kPa'dan 13 kPa'ya çıktığı zaman, hesaplanan en yüksek yatay deplasman miktarı 41,13 mm'den 30,35 mm'ye düşmektedir. Yapılan analizlerde kohezyon miktarı arttırılırken aşırı konsolidasyon oranı 1 olarak sabit tutulmuştur. Ancak, aynı malzeme için kohezyon miktarı arttıkça aşırı konsolidasyon oranı da artmaktadır. Ancak gözardı edilen bu bağıntı nedeniyle, yüksek kohezyon değerleri için hesaplanmış olan verilere aşırı konsolidasyon oranı düzeltilmesi yapıldığı zaman bu değerlerin daha da azalacağı düşünülmektedir.

Yumuşak zemin rijitliğinin kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisini araştırmak için 0,025, 0,05 ve 0,069 olarak üç farklı rijitlik katsayısı seçilmiştir. Seçilen bu rijitlik katsayıları için S1, S2, S3 ve S4 noktalarında hesaplanan en düşük oturma 0,025 rijitlik katsayısı için hesaplanmıştır. Bu noktalarda hesaplanan oturma miktarı referans modelde hesaplanan oturma miktarından sırasıyla %20,14, %19,77, %21,08 ve %19,41 daha azdır. E4, E5 ve E9 noktalarında hesaplanan gerilme miktarının yumuşak zemin rijitlik katsayısından etkilenmediği görülmüştür. Farklı rijitlik katsayıları için P1 ve P2 noktalarında hesaplanan en düşük aşırı boşluk suyu basıncı sırasıyla 7,20 kPa ve 14,31 kPa'dır. Hesaplanan en düşük aşırı boşluk suyu basınçları rijitlik katsayısı 0,025 olduğu durumda hesaplanmıştır. Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarları incelendiği zaman en düşük oturma miktarının 79,91 mm olduğu hesaplanmıştır. Referans projeye göre meydana gelen azalma miktarı %19,95 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler rijitlik katsayısının 0,025 olduğu zaman hesaplanmıştır. Hesaplanan yatay deplasman miktarı da yumuşak zemin rijitliği arttıkça azalmaktadır. Rijitlik katsayısı 0,069'dan 0,025'e düştüğü zaman hesaplanan yatay deplasman 39,43 mm'den 29,51 mm'ye düşmektedir. Yumuşak zemin rijitliğinin trafik yükü etkisi altındaki dolgu davranışına olan etkisini araştırmak için 0,025 ve 0,069 rijitlik katsayıları seçilmiştir. S1, S2, S3 ve S4 noktalarında trafik yükü etkidikten sonra 1000 gün sonuna kadar meydana gelen değişim rijitlik katsayısı 0,025 olduğu zaman en düşüktür. Bunun yanında bu oktalarda hesaplanan toplam oturma miktarı rijitlik katsayısı 0,025 olduğu zaman daha düşüktür. E4, E5 ve E9 noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen gerilme artışları ve hesaplanan miktarlar birbirine oldukça yakın olduğu ve yumuşak zemin rijitlik katsayısından bağımsız olduğu bulunmuştur. P1 ve P2 noktalarında rijitlik katsayısı 0,025 olduğu zaman trafik yükünden dolayı en düşük aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu görülmüştür. Bu durumda meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı artışı P1 noktası için 2,84 kPa ve 1,42 kPa olarak bulunmuştur. Trafik yükü etkidiği zaman dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı 0,069 rijitlik katsayısı için 119,43 mm iken 0,025 rijitlik katsayısı için 95,03 mm olarak bulunmuştur. Trafik yükünün etkidiği ve dolgu inşasından 1000 gün sonra hesaplanan yatay deplasmanlara bakıldığı zaman en düşük yatay deplasmanın 31,19 mm olarak 0,025 rijitlik katsayısı için hesaplandığı görülmüştür.

Yumuşak zemin tabaka kalınlığının kazık destekli donatılı dolgunun davranışına olan etkileri 6 metre, 10,2 metre, 13,2 metre ve 20,2 metre olarak seçilen 4 farklı yumuşak zemin tabaka kalınlığı için ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, S1, S2, S3 ve

S4 noktalarında 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük oturma miktarı 3,17 mm, 27,98 mm, 24,70 ve 3,77 mm olarak bulunmuştur. Bu değerler tabaka kalınlığı 6 metre olduğu zaman hesaplanmıştır ve referans projedeki değerlerden %87,35, %50,34, %72,30 ve %87,99 daha az olduğu görülmüştür. Tabaka kalınlığı arttığı zaman E4 ve E5 noktasında hesaplanan gerilmenin arttığı görülmüştür. Ancak E5 noktasında hesaplanan en düşük gerilme tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman hesaplanmıştır. E4 noktasında hesaplanan en düşük gerilme ise tabaka kalınlığı 6 metre olduğu zaman hesaplanmıştır. E4 ve E5 noktalarında hesaplanan en düşük gerilmeler sırasıyla 24,02 kPa ve 28,57 kPa'dır. E9 noktasında hesaplanan gerilme miktarı incelendiği zaman, hem uç kazık hem de sürtünme kazık durumunda, tabaka kalınlığı azaldıkça bu noktada hesaplanan gerilme miktarının arttığı görülmüştür. Farklı tabaka kalınlıkları için P1 noktasında oluşan en düşük aşırı boşluk suyu basıncı 3,95 kPa ile 6 metre yumuşak zemin kalınlığı için hesaplanmıştır. Ancak, tabaka kalınlığı 13,2 metreden 20,2 metreye çıktığı zaman P1 noktasında hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncı azalmakta fakat sönümlenme süresi artmaktadır. P2 noktasında ise hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı ise tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman hesaplanmıştır. Bu noktada oluşan aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenme süresi de tabaka kalınlığı arttıkça artmaktadır. P2 noktasında hesaplanan en yüksek aşırı boşluk suyu basıncı 33,44 kPa ile inşa başlangıcından 114. günde oluşmuştur. Dolgu yüzeyinde meydana gelen oturma miktarı en az yumuşak zemin tabaka kalınlığı 6 metre olduğu durumda hesaplanmıştır. Yumuşak tabaka kalınlığının yatay deplasman miktarına miktarı incelendiği zaman 55. günde hesaplanan en yüksek yatay deplasman 50,28 mm olarak 13,2 metre tabaka kalınlığı için hesaplanmıştır. Ancak, 20,2 metre tabaka kalınlığı için yapılan analiz sonucunda, yatay deplasmanın derinlik ile birlikte arttığı ve 13,2 metre tabaka kalınlığı için hesaplanan yatay deplasman miktarını geçtiği görülmüştür. Tabaka kalınlığının trafik yükü etkileyen kazık destekli donatılı dolguya olan etkisi için tabaka kalınlığı 6 metre, 10,2 metre ve 20,2 metre olarak seçilmiştir. Trafik yükü etkidikten sonra S1, S2, S3 ve S4 noktalarında meydana gelen en düşük değişim tabaka kalınlığı 6 metre olduğu zaman görülmüştür. Ayrıca meydana gelen toplam oturma miktarı da 6 metre tabaka kalınlığında en az olmaktadır. Tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman trafik yükünün etkisiyle oturma miktarında meydana gelen artış en az %114,35 olmaktadır. E4, E5 ve E9 noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen gerilme artışı tüm durumlar için birbirine oldukça yakındır. Bu nedenle, tabaka kalınlığının dolgudan kazıklara yük artış mekanizmasına bir etkisi olmadığı

söylenilmektedir. P1 ve P2 noktalarında trafik yükünden dolayı meydana gelen aşırı boşluk suyu basıncı en az tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman görülmüştür. Bunun nedeni ise, tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman hesaplanan aşırı boşluk suyu basıncının oldukça büyük olması ve trafik yükünün etkidiği zamana kadar büyük oranda sönümlenmemiş olmasından dolayıdır. Trafik yükü uygulandıktan sonra dolgu yüzeyinde hesaplanan en düşük oturma miktarı 34,11 mm ile tabaka kalınlığı 6 metre olduğu zaman, en yüksek oturma miktarı ise 399,05 mm olarak tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman hesaplanmıştır. Trafik yükü etkidikten sonra oluşan yatay deplasmanlara bakıldığında zaman, en düşük yatay deplasmanın tabaka kalınlığı 6 metre olduğu zaman hesaplanırken, 1000 gün sonunda hesaplanan en düşük yatay deplasman tabaka kalınlığı 20,2 metre olduğu zaman hesaplanmıştır.

Yukarıdaki bilgilerden de görüldüğü üzere, bu çalışmada göz önüne alınan bazı parametreler dolgudan kazıklara yük aktarım mekanizmasını iyileştirip doğal zemin yüzeyine gelen gerilme miktarı azaltarak, daha az oturma hesaplanmasına yol açarken, diğer parametreler, yumuşak zemin mukavemetini artırıp oturma miktarını azaltmaktadır.

Bu çalışma sonunda elde edilen sonuçlar özellikle birden çok sayıda geosentetik kullanımının kazık destekli donatılı dolgu davranışına olan etkisini ortaya koymuştur. Ancak unutulmamalıdır ki bu çalışma sadece sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, laboratuvar ortamında kurulacak olan modeller üzerinde gerçekleştirilecek olan deneysel çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılması gerektiği unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

- [1] S. J. M. van Eekelen, A. Bezuijen, A. F. Van Tol “ Model Experiments on Piled Embankments. Part II” *Geotextiles and Geomembranes* 32 (2012) 82 – 94
- [2] A. Tolooiyan, I. Abustan, M.R. Selamat, Sh. Ghaffari “A comprehensive method for analyzing the effect of geotextile layers on embankment stability” *Geotextiles and Geomembranes*, 2009, 27, 399 – 405
- [3] Abrahams Mwasha, Andrew Petersen “Thinking outside the box: The time dependent behaviour of a reinforced embankment on soft soil”, *Materials and Design*, 2010, 31, 2360 – 2367
- [4] Anjana Bhasi, K. Rajagopal “Numerical study of basal reinforced embankments supported on floating/end bearing piles considering pile soil interaction”, *Geotextiles and Geomembranes*, 2015, 43, 524 – 536
- [5] Chungsik Yoo ”Settlement behavior of embankment on geosynthetic-encased stone column installed soft ground: A numerical investigation”, *Geotextiles and Geomembranes*, 2015, 43, 484 – 492
- [6] Han-Jiang Lai, Jun-Jie Zheng, Jun Zhang, Rong-Jun Zhang, Lan Cui “DEM analysis of “soil”-arching within geogrid-reinforced and unreinforced pile-supported embankments”, *Computers and Geotechnics*, 2014, 61, 13 – 23
- [7] Haofeng Xing, Zhen Zhang, Huabei Liu, Hua Wei “Large-scale tests of pile-supported earth platform with and without geogrid”, *Geotextiles and Geomembranes*, 2014, 42, 586 – 598
- [8] Jie Huang, Jie Han “Two-dimensional parametric study of geosynthetic-reinforced column-supported embankments by coupled hydraulic and mechanical modeling”, *Computers and Geotechnics*, 2010, 37, 638 – 648
- [9] Jie Huang, Jie Han “3D coupled mechanical and hydraulic modeling of a geosynthetic-reinforced deep mixed column-supported embankment”, *Geotextiles and Geomembranes*, 2009, 27, 272 – 280
- [10] Jun Zhang, Jun-Jie Zheng, Bao-Guo Chen, Jian-Hua Yin “Coupled mechanical and hydraulic modeling of a geosynthetic reinforced and pile-supported embankment” *Computers and Geotechnics*, 2013, 52, 28 – 37

- [11] K.-W. Liu, R. Kerry Rowe “Performance of reinforced, DMM column-supported embankment considering reinforcement viscosity and subsoil’s decreasing hydraulic conductivity”, *Computers and Geotechnics*, 2016, 71, 147 – 158
- [12] Ling Zhang, Minghua Zhao, Yuxia Hub, Heng Zhao, Bingchu Chen “Semi-analytical solutions for geosynthetic-reinforced and pile-supported embankment” *Computers and Geotechnics*, 2012, 44, 167-175
- [13] Priyanath Ariyaratne, D.S.Liyanapathirana ”Review of existing design methods for geosynthetic-reinforced pile-supported embankments” *Soils and Foundations*, 2015, 55, 17-34
- [14] S. Chaiyaput, D.T. Bergado, S. Artidteang “Measured and simulated results of a Kenaf Limited Life Geosynthetics (LLGs) reinforced test embankment on soft clay” *Geotextiles and Geomembranes*, 2014, 42, 39 – 47
- [15] Sadok Benmebarek, Fouad Berrabah, Naïma Benmebarek “Effect of geosynthetic reinforced embankment on locally weak zones by numerical approach”, *Computers and Geotechnics*, 2015, 62, 115 – 125
- [16] Weihua Lu, Linchang Miao “A simplified 2-D evaluation method of the arching effect for geosynthetic-reinforced and pile-supported embankments”, *Computers and Geotechnics*, 2015, 65, 97 – 103
- [17] Balaka Ghosh, Behzad Fatahi and Hadi Khabbaz ”Mechanical Model to Analyse Multilayer Geosynthetic Reinforced Granular Layer in Column Supported Embankments”, *Procedia Engineering*, 2016, 143, 387 – 394
- [18] Julian Lehn, Christian Moormann, and Johannes Aschrafi “Numerical Investigations on the Load Distribution over the Geogrid of a Basal Reinforced Piled Embankment under Cyclic Loading”, *Procedia Engineering*, 2016, 143, 435 – 444
- [19] Suzanne J.M. van Eekelen “The 2016-update of the Dutch Design Guideline for Basal Reinforced Piled Embankments”, *Procedia Engineering*, 2016, 143, 582 – 589
- [20] Suzanne J.M. van Eekelen, Arjan A.M. Venmans “Piled Embankment or a Traditional Sand Construction: How to Decide? A Case Study”, *Procedia Engineering*, 2016, 143, 590 – 597

- [21] Wan-Huan Zhou, Jun-Yuan Lao, Yisheng Huang and Renpeng Chen “Three-Dimensional Finite Element Modelling of Soil Arching in Pile-Supported Geogrid-Reinforced Embankments”, *Procedia Engineering*, 2016, 143, 607 – 614
- [22] H. L. Liu, Charles W. W. Ng., ve K. Fei “Performance of a Geogrid-Reinforced and Pile-Supported Highway Embankment over Soft Clay: Case Study” *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 2007, 133:1483-1493
- [23] Rui Rui, Frits van Tol, Xiao-Long Xia, Suzanne van Eekelen, Gang Hu, Yuan – you Xia “ Evolution of Soil Arching; 2D DEM simulations
- [24] S. J. M. van Eekelen, A. Bezuijen, A. F. Van Tol “ Analysis and modification of the British Standard BS8006 for the design of piled embankments” *Geotextiles and Geomembranes* 29 (2011) 345 – 359
- [25] Plaxis Material Models Manual 2016
- [26] Stein Sturr, “ Determination of Soil Stiffness Parameters” Short Course on Computation Geotechnics + Dynamics, Boulder Colorado, January 5-8, 2004