

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



DOLGU ALANLARININ STABİLİTESİ,
ÇAMLICA CAMİİ ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ
MUSTAFA KIRMIZI
(Y1515.690001)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Fatih ALTAN

OCAK, 2020



16/01/2020

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DOKTORA TEZ ONAY BELGESİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Doktora Programı Y1515.690001 numaralı öğrencisi Mustafa KIRMIZI'nın "DOLGU ALANLARININ STABİLİTESİ: ÇAMLICA CAMİİ ÖRNEĞİ" adlı doktora tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 30.12.2019 tarihli ve 2019/04 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından *ay.bv.17/1* ile Doktora tezi olarak *kabul* edilmiştir.

	Unvan- Ad-Soyad	İmza
Danışman	Prof. Dr. Mehmet Fatih ALTAN	
Üye (TİK)	Doç. Dr. Sepanta NAİMİ	
Üye (TİK)	Doç. Dr. Orhan CANPOLAT	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emin KURTOĞLU	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTÇU	
Üye	Prof. Dr. Mehmet Yaşar Mete SÜMER	
Üye	Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN	

Tezin Savunulduğu Tarih : *16.01/2020*

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ragıp Kutay KARACA

Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum Dolgu Alanlarının Stabilitesi, Çamlıca Camii rneği adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya'da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (12/12/2019)

Mustafa KIRMIZI





Eşime ve Çocuklarıma...

ÖNSÖZ

Çalışmalarım esnasında desteklerini esirgemeyip bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren değerli hocam İstanbul Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Bülent İNANÇ'a, böyle bir çalışmanın yapılmasında emeği bulunan danışman hocam Prof. Dr. M. Fatih ALTAN'a, tez çalışmam boyunca bir araya gelerek katkılar sağlayan değerli tez izleme komite üyeleri Doç. Dr. Orhan CANPOLAT'a ve Doç. Dr. Sepanta NAİMİ'ye, tez çalışmama katkı sunan İstanbul Büyükşehir Belediyesine teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca sabırla beni destekleyen eşime, öğrenim hayatımın mimarları anneme ve babama sonsuz şükranlarımı sunarım.

Aralık, 2019

Mustafa KIRMIZI
İnşaat Y. Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR VE SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ	1
2. ŞEVLER	3
2.1. Şevlerin Stabilitesi	4
2.2. Şev Stabilitesi ile İlgili Tanımlamalar	6
2.3. Şev Duraylılığı Analizlerinin Amacı	8
2.3.1. Şev geometrisi ve yeraltı su koşulları	9
2.3.2. Şevlerde malzeme özelliklerinin tayini	10
2.4. Şev Stabilite Analizlerinin Planlanması	11
2.5. Şevlerde malzeme özelliklerinin tayini	11
3. ŞEVLERİN STABİLİTE ANALİZ YÖNTEMLERİ	13
3.1. Fellenius Yöntemi	13
3.2. İsveç Dilim Yöntemi	15
3.3. Bishop Yöntemi	17
3.4. Janbu Yöntemi	19
3.5. Spencer Yöntemi	21
3.6. Uygun Analiz Yönteminin Seçilmesi	22
4. GEOGRİD DONATILARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ ZEMİN	23
4.1. Çamlıca Camii Çevresi	26
4.2. Terramesh Duvar Sistemi Uygulama Esasları	27
4.2.1. Yeşil terramesh ünitesi	29
4.2.2. Geogrid donatısı	33
4.3. Terrameshte Depremsellik ve Varsayımlar	34
5. DENEY PROGRAMLARI	37
5.1. Dolgu Malzemesi Elek Analizi ve Sıkıştırma Deneyi	37
5.2. Geogrid Donatı Çekme Deneyi	43
6. STABİLİTE ANALİZLERİ	47
6.1. Analiz Sonuçları	47
6.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	56
7. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	57
7.1. İklim Değişikliğinin İstanbul Ölçeğindeki Etkisi	59
7.2. İklim Değişikliğinin Dolgu Alanına Hasarları	62
7.3. İklim Değişikliğinin İnşaat Ekonomisi İş Kırılım Yapısındaki Yeri	63
7.4. Terramesh Duvar Sisteminin Maliyet Analizi	64
7.5. İklim Değişikliğinin Etkisi	68
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	81

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

A	: Yağışla Temas Eden Yüzey Alanı
A_o	: Etkin Yer İvmesi Katsayısı
c_{max}	: Aylık Ortalama Maksimum Hava Sıcaklık Değeri
c_{min}	: Aylık Ortalama Minimum Hava Sıcaklık Değeri
c_r	: Süreklilik Katsayısı
c_u	: Kohezyon
Em	: Ekstra Maliyet
E_n	: Normal Ara Dilim Kuvveti
GS	: Güvenlik Sayısı(Katsayısı, Faktörü)
k	: İklim Değişikliği Denge Katsayısı
k_h	: Yatay Sismik Katsayısı
k_h	: Yatay Sismik Katsayısı
k_v	: Düşey Sismik Katsayısı
La	: Dilim Taban Alanının Boyu
M	: Yaklaşık Maliyet
N	: Normal Kuvvet
OPk	: Kurtköy Formasyonu
Osa	: Aydos Formasyonu
PVC	: Polivinil Klorür
r	: Yarıçap
Tb	: Nominal Çekme Kuvveti
Td	: Tasarım Çekme Kuvveti
t_n	: Teğetsel Dilim Kuvveti
u	: Uzun Kenarın Metre Cinsinden Değeri
u_a	: Boşluk Suyu Basıncı
u_β	: Yatay Sismik Katsayısı
W	: Ağırlık
Yg	: Aylık Ortalama Yağışlı Gün Sayısı
Ym	: Aylık Yağış Miktarının kg/m ² Cinsinden Değeri
ε	: Deformasyon
λ	: Sıkışma Oranı (%)
σ	: Gerilme

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1. Duvar yükleme durumlarına göre kısmi güvenlik faktörleri.....	35
Çizelge 4.2. Tasarımda yapılan varsayımlar.....	36
Çizelge 5.1. Dolgu malzemesi gradasyon özellikleri.....	38
Çizelge 5.2. Nükleer metotla gerçekleştirilen zemin deney sonuçları.....	39
Çizelge 5.3. Kuru kütlesi 2034,80g olan numunenin dane çapı dağılımı.....	40
Çizelge 5.4. Kuru kütlesi 1275,51g olan numunenin dane çapı dağılımı.....	41
Çizelge 6.1. Paralink 200 donatısının kademe gerilmelerine etkisi.....	52
Çizelge 7.1. Kadıköy rıhtım istasyonu meteorolojik verileri.....	60
Çizelge 7.2. Maliyet analizinde kullanılan iş kalemleri.....	64
Çizelge 7.3. İş kalemleri birim fiyatları.....	65
Çizelge 7.4. Yaklaşık maliyet hesabı.....	66
Çizelge 7.5. Ekstra maliyet hesabı.....	67
Çizelge 7.6. Oluşturulan formülün doğruluk oranları.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Doğal ve yapay şev görünümleri.....	3
Şekil 2.2. Basit görünümde şev gerilmeleri.....	5
Şekil 2.3. Çekme deney alet ve ekipmanı.....	7
Şekil 2.4. Terramesh katmanları ve kademeleri.....	8
Şekil 2.5. Yer altı su seviyesi ve şev geometrisi.....	9
Şekil 2.6. Saha incelemesi ve verilerin toplanması.....	11
Şekil 2.7. Proje alanının litolojik kesit tespiti.....	12
Şekil 3.1. Fellenius şev dilimine etki eden kuvvetler.....	13
Şekil 3.2. Şev dilimi çözümlemesi.....	14
Şekil 3.3. İsveç dilim yöntemine göre şev dilimine etki eden kuvvetler.....	15
Şekil 3.4. İsveç dilim yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetler.....	16
Şekil 3.5. Bishop yönteminde dilim üzerine etkiyen kuvvetler.....	17
Şekil 3.6. Bishop ve Janbu yönteminde kullanılan abak.....	18
Şekil 3.7. Janbu yöntemi f_0 düzeltme katsayısı abağı.....	20
Şekil 3.8. Spencer metodunda kullanılan değerlerin bağlantısı.....	21
Şekil 3.9. Boşluk suyu basıncına göre Spencer abakları.....	22
Şekil 4.1. Geogrid donatının zeminle etkileşimi.....	23
Şekil 4.2. Çamlıca Camii çevresinde oluşturulacak dolgu alanı.....	26
Şekil 4.3. Uygulama sonrası elde edilmesi planlanan mimari görünüm.....	27
Şekil 4.4. Terramesh duvar sistemi ve elemanları.....	28
Şekil 4.5. Geogrid donatılarla güçlendirilmiş zemin katmanları.....	29
Şekil 4.6. Kravat destek çubukları ve ünite açıları.....	30
Şekil 4.7. Ünitenin halkalarla birbirine bağlanması.....	31
Şekil 4.8. Pnömatik tabanca ile halka birleştirme işlemi.....	32
Şekil 4.9. Kapalı halde şantiyeye gelen terramesh üniteleri.....	32
Şekil 4.10. Ünite kanatlarının açılması işlemi.....	33
Şekil 4.11. Geogrid donatıların yerleştirilmesi işlemi.....	34
Şekil 5.1. Sıkıştırma deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	39
Şekil 5.2. Çizelge 5.3 ve çizelge 5.4 değerlerinin karşılaştırılması.....	41
Şekil 5.3. Numunenin su içeriği tespiti.....	42
Şekil 5.4. Paralink 150, paralink 200 ve paralink 250 çekme deneyleri.....	43
Şekil 5.5. Paralink çekme deneyi sonuçları.....	44
Şekil 5.6. Çift bükümlü çelik hasır duvarın yatay yer değiştirmesi.....	45
Şekil 5.7. Yüksekliği 5 m olan duvarın yıllara göre şekil değiştirmesi.....	46
Şekil 6.1. Paralink 200 donatısının ilk kademe zemin gerilmesine etkisi.....	47
Şekil 6.2. Paralink 150 donatısının ilk kademe zemin gerilmesine etkisi.....	48
Şekil 6.3. İkinci kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi.....	49
Şekil 6.4. İkinci kademe paralink 150 donatısının gerilmeye etkisi.....	49
Şekil 6.5. Üçüncü kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi.....	50
Şekil 6.6. Dördüncü kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi.....	50
Şekil 6.7. Beşinci kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi.....	51
Şekil 6.8. Alıntı kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi.....	51

Şekil 6.9. Gerilmelerde 5, 4, ve 1. kademe karşılaştırılması.....	53
Şekil 6.10. Gerilmelerde 4, 3, ve 1. kademe karşılaştırılması.....	54
Şekil 6.11. Gerilmelerde 3, 2, ve 1. kademe karşılaştırılması.....	54
Şekil 6.12. Gerilmelerde 5, 3, ve 1. kademe karşılaştırılması.....	55
Şekil 7.1. İklim değişikliğinin dolgu alanına zararı.....	62
Şekil 7.2. Yağmur oluğu ve iklim değişikliği ihtiyaçları.....	63
Şekil 7.3. İş kırılım yapısında iklim değişikliğinin yeri.....	64
Şekil 7.4. İklim değişikliğinin duvarlarda oluşturduğu maliyetler.....	68
Şekil 7.5. Son 83 yılın meteorolojik veri diyagramları.....	69



DOLGU ALANLARININ STABİLİTESİ, ÇAMLICA CAMİİ ÖRNEĞİ

ÖZET

İnşaat teknolojisi geliştikçe mühendislik yapıların yükseklikleri artmaktadır. Özellikle yol, havalimanı gibi inşaat yapılarında yüksekliği fazla olan dolgu alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksekliği fazla olan dolgu alanları stabilite sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Dolgu alanının yüksekliği fazla olduğunda imalat, kademeler halinde gerçekleştirilir. Kademeler arasında oluşan çekme kuvvetleri, sürtünme kuvveti ile sönmelenemeyecek değerlere çıkabilmektedir. Çekme kuvvetleri karşılanmadığında stabilite bozularak göçmeler meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasının ilk konusu, kademeler arasında kullanılan geosentetik donatı çekme mukavemetlerinin, zemin gerilmesine ve stabilite analizlerine etkisi irdelenmiştir. Geosentetik donatılar için çekme deneyleri gerçekleştirilmiş ve uluslararası standartlar incelenerek proktor deneyleri yapılmıştır. Elek analizleri gerçekleştirilerek dolgu malzemesi seçilmiştir. Tezin uygulama projesinde %5 uzamadaki gerilme kuvveti 110.60 kN/m geosentetik donatı kullanılmış ve 70° yüzey eğimine sahip dolgu alanı inşa edilmiştir. 10 kademedeki ve 65.014 m³ malzemedeki oluşan bu dolgu alanının stabilitesi başarılı bir şekilde sağlanmıştır fakat projelendirme aşamasında iklim değişikliği konusuna gerekli hassasiyet gösterilmemiştir.

İklim değişikliği, inşaat alanında olumsuz etkiler yaratmaktadır. Projelendirme aşamasında yapılan hesaplamalar teorik olarak doğru sonuçlar verse de uygulamada olumsuz neticelerle karşılaşılabilir. Özellikle yağış miktarlarındaki artışlar dolgu alanların stabilitesini bozmaktadır. Bu da can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Dolgu alanlarının projeleri oluşturulurken, normal iklim şartları dikkate alınır. Normal iklim şartlarına göre zemin, geosentetik donatılarla güçlendirilir ve drenaj sistemi oluşturulur. Proje imalatı tamamlandığında, iklim değişikliği dikkate alınmadığı için ciddi sorunlarla karşılaşılır. Bu sorunlar bazen düzeltilebilir olsa da bazen yeniden imalat yapılmasına neden olur. İstanbul ilinde gerçekleştirilen 26 metre yüksekliğe sahip geosentetik donatılarla güçlendirilmiş dolgu alanı, buna en güzel örneklerden bir tanesidir. Dolgu alanının imalat aşaması bittikten sonra, iklim değişikliği sebebiyle öngörülemez deformasyonlar meydana gelmiştir. Bu tez çalışması; projenin uygulandığı bölgede nasıl bir iklim değişikliği olduğunu açıklayarak, dolgu alanlarında oluşabilecek drenaj sorunlarının nedenini araştırmış ve çözümler üretmiştir. Ayrıca bu çalışma; iklim değişikliğinin dikkate alınmaması durumunda, iklim değişikliğinden kaynaklanacak sorunların düzeltilebilmesi için ne kadar ekonomik kaynağa ihtiyaç duyulacağı konusunda yaklaşık bir formül üretmiştir. İklim değişikliği ile inşaat ekonomisini birbirine bağlayan bu formül, yaklaşık maliyetin gerçeğe daha yakın hesaplanmasını ve iş programlarının aksamamasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Şevlerin Stabilite Analizleri, Dolgu Alanları, Geosentetik Donatılarla Güçlendirilmiş Zeminler*

STABILITY OF FILLING AREAS, THE CASE OF ÇAMLICA MOSQUE

ABSTRACT

As construction technology develops, the height of engineering structures increases. Especially in construction structures such as roads and airports, filling areas with high heights are needed. Filling areas with high heights bring stability problems. When the height of the filling area is high, manufacturing is carried out in stages. The tensile forces formed between the stages can rise to values that cannot be damped by the frictional force. When the pulling forces cannot be met, the stability deteriorates and collapses occur. The first topic of this thesis is to investigate the effect of geosynthetic reinforcement tensile strengths on the ground stress and stability analysis. Tensile tests were performed for geosynthetic reinforcements and proctor tests were conducted by examining international standards. Sieve analysis was performed and filling material was selected. In the application project of the thesis, a tensile force of 110.60 kN / m at 5% elongation was used and a filling area with a surface slope of 70° was constructed. The stability of this filling area, which consists of 10 layers and 65,014 m³ of material, has been successfully achieved, but the necessary sensitivity to climate change has not been shown during the design phase.

Climate change has negative impacts on construction. Although the calculations made during the design phase give theoretically correct results, negative results may be encountered in practice. In particular, increases in precipitation disturb the stability of the fill areas. This leads to loss of life and property. Normal climatic conditions are taken into account when designing the filling areas. According to normal climatic conditions, the floor is reinforced with geosynthetic reinforcement and a drainage system is established. When the project is completed, serious problems are encountered because climate change is not taken into consideration. Although these problems can sometimes be corrected, they sometimes lead to remanufacturing. One of the best examples of this is the fill area, which is reinforced with geosynthetic reinforcement with a height of 26 meters in Istanbul. After the end of the manufacturing phase of the filling area, unforeseen deformations occurred due to climate change. This thesis; he explained the climate change in the area where the project was implemented and investigated the causes of drainage problems in the filling areas and produced solutions. In addition, this study; In the event that climate change is not taken into account, it has produced an approximate formula on how much economic resources will be needed to correct the problems arising from climate change. This formula, which links climate change with the construction economy, will ensure that the approximate cost is closer to reality and that work schedules will not be interrupted.

Keywords: *Stability Analyses, Filling Areas, Reinforced Soil With Geosynthetic Reinforcement*

1. GİRİŞ

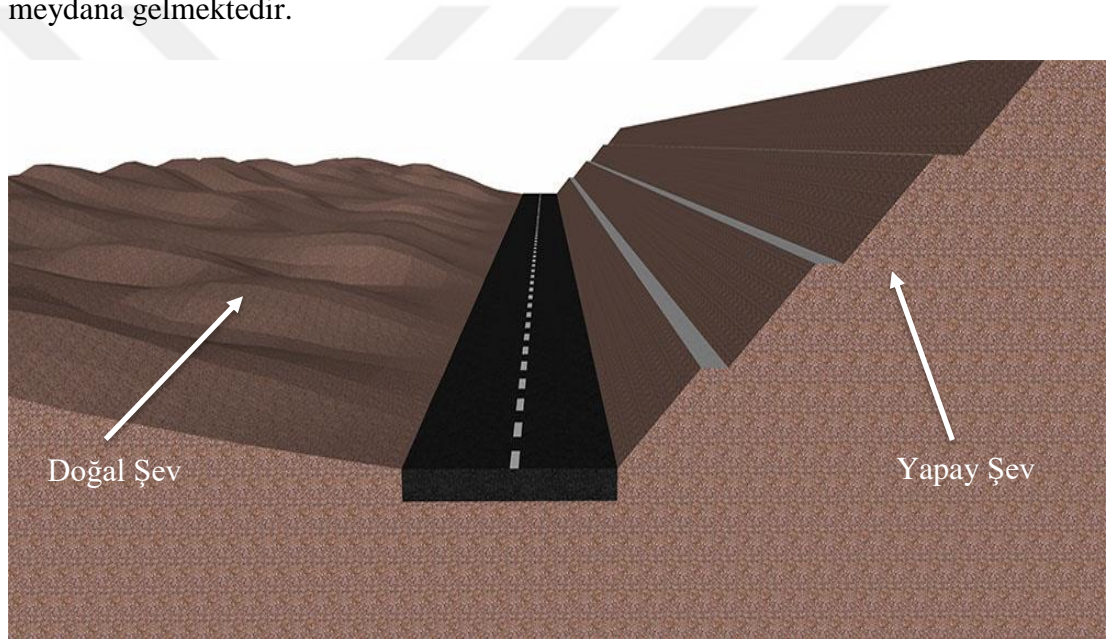
Yüksekliği fazla olan dolgu alanlarının stabilitesi, inşaat sektöründe çözüm bekleyen sorunlardan biridir. Dolgu yüksekliği arttıkça kayma kuvvetlerinin artması, stabilitenin bozulmasına neden olmaktadır. Deprem sırasında dolgu kademeleri arasında oluşan yüksek çekme kuvvetleri, dolgu alanının yıkılmasıyla sonuçlanabilmektedir. Bu sebeple dolgu alanını çevreleyen, kademeler arasındaki çekme kuvvetlerini karşılayabilen ve stabil kalabilen sistemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Sistemler geliştirilirken iklim değişikliği konusuna yeteri kadar önem verilmemektedir. Özellikle kar, yağmur gibi yağışlarda görülen değişikliklerin inşaat sektöründe olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında; İstanbul ilinde projesi tamamlanmış olan Çamlıca Camii dolgu alanı projesinde, geliştirilmiş toprakarme sistemin nasıl uygulandığı ve hangi sonuçları verdiği irdelenerek inşaatta yapım öncesi planlanan zaman/maliyet ile uygulama sonrası gerçekleşen zaman/maliyet kıyaslanmaktadır. Çalışma, iklim değişikliğinin inşaat maliyetine etkisini gösteren bir formül ortaya koymuştur. Bu formül sayesinde; iklim değişikliği maliyet hesaplarına bir katsayı olarak eklenebilecek, iklim değişikliğinin projeye hangi oranda zarar vereceği hesaplanabilecektir. Formül uluslararası geçerlilik kazanabilir niteliktedir. Bu tezin uygulama projesinde, kompozit malzemelerden oluşan terramesh adı verilen toprakarme sistem kullanılmıştır. Sistemin genel tanımı; dolgu kademeleri arasına geogrid donatılar yerleştirilerek, oluşan kayma kuvvetlerini sönmleyen bir toprakarme sistemdir. Toprakarme sistemlerin çoğunda olduğu gibi, bu uygulamanın sonucunda eğim açısı 70° olan 65.000 m^3 dolgu malzemeli bir şev oluşmuştur. Bu sebeple terramesh toprakarme sisteminin daha iyi analiz edilebilmesi için, şevlerin incelenmesi gerekmektedir. Özellikle şevlerde oluşan kuvvetlerin nasıl sönmünebileceği, kayma tipleri, stabilite analizleri gibi konulara hâkim olunması fayda sağlayacaktır. Bu tez çalışması öncelikle şevler hakkında bilgiler vererek, dolgu alanlarında hangi kuvvetlerin oluştuğunu belirtmiştir. Projenin gerçekleştirildiği noktaya en yakın istasyon olan Kadıköy Rıhtım İstasyonu'ndan bazı meteorolojik veriler temin edilerek, bu tez çalışmasında meteorolojik verilerden yararlanılmıştır.

Meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bağlı İstanbul 1. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Kadıköy Rıhtım İstasyonu'nda ilk meteorolojik veri 1935 yılında kaydedilmiştir. 1935-2018 yılları arasında toplam 83 yıllık meteorolojik verilerden faydalanılmıştır. Bu tez çalışmasının uygulama projesi 2019 yılı bitmeden tamamlanmıştır. 2019 yılı bitmediği için o yıla ait meteorolojik veriler elde edilememiştir.

Projenin uygulama çalışmaları başlatıldığında dolgu alanları oluşturulmaya başlanmıştır. İstenilen ölçülere ve istenilen stabilite dengesine ulaşmak için iş makinalarıyla yapılan çalışmalar, yaklaşık olarak 8 ay gibi bir sürede tamamlanmıştır. 240 günlük süreç içerisinde yeşil terramesh adı verilen sistem inşa edilmiştir. Yeşil terramesh, sürtünme özelliklerine sahip bir toprak ile çelik tel kafeslerden yapılmış takviye arasındaki etkileşimden elde edilen eğimli bir yüzeye sahip takviyeli bir zemin yapısıdır. Malzemeler, tanecik büyüklüğü ve su içeriğinde ayrılmayı ve ani değişiklikleri önleyecek prosedürler ve teçhizat kullanarak, sabit bir kalınlıkta sistematik bir şekilde katmanlara yerleştirilecektir. En önemli malzemelerden bir tanesi kademeler arasına yerleştirilen geogrid donatılardır. Gerilme kuvveti sürtünme ile donatıya aktarılır ve toprak takviyesi için kullanılan çevre dostu bir modüler sistemdir. Güçlendirilmiş toprak yapıları; kaliteli, serbest boşaltma, taneli veya seçilen dolgu malzemesinden yapılmaktadır. Yapının tamamlanmasının ardından, en uygun iklim dönemi boyunca yapının eğimli yüzünde uygun tohum, bağlayıcı maddeler ve organik materyal karışımı uygulanarak hydroseeding yapılır. Bu sayede dolgu alanının dış yüzeyi çevre dostu mimari bir görünüm kazanır. Çoğu projede olduğu gibi bu tez çalışmasına konu olan uygulama projesi de hazırlanırken iklim değişikliğine yeterli önem verilmemiştir. Uygulama projesi tamamlandıktan sonra iklim değişikliği, etkisini daha çok hissettirmeye başlamıştır. Metrekareye düşen yağış miktarı ve yıllık ortalama yağış miktarı değerlerindeki artışlar stabiliteye tehditler oluşturmaya başlamıştır. Yağışlar sonucunda dolgu alanı üzerinde deformasyonlar oluşmuş ve bu deformasyonların giderilebilmesi için harcamalar gerçekleştirilmiştir. İklim değişikliği projede öngörülemeyen maliyetler oluşturmuştur. Oluşan maliyetlerin rastgele olmadığı tespit edilmiş ve dolgu alanları oluşturulurken iklim değişikliğinin, proje maliyetine etkisi araştırma konusu haline dönüşmüştür. Bu araştırma ile iklim değişikliğinin dolgu alanları projelerine ekonomik etkilerinin öngörülebilir olması amaçlanmıştır. Araştırmanın amacına ulaşabilmesi için şevler ve şev stabilite analizleri hakkında detaylı bilgiler edinilmelidir.

2. ŞEVLER

Şev, çeşitli dane boyutlarına sahip parçacıkların bir araya gelerek eğimli bir şekilde oluşturdukları zemin yüzeyine verilen addır. Şevler düzensiz olduğu gibi düzenli bir geometrik şekle sahip olabilir. Şevin düzensiz şekilde olduğu durumlarda doğal şev, belirli hizmete yönelik geometrik şekil verilmiş şevlere ise yapay şevler denilmektedir. Yapay şevler genellikle bir hizmete yönelik mühendislik çalışmaları sonucunda meydana gelmektedir.



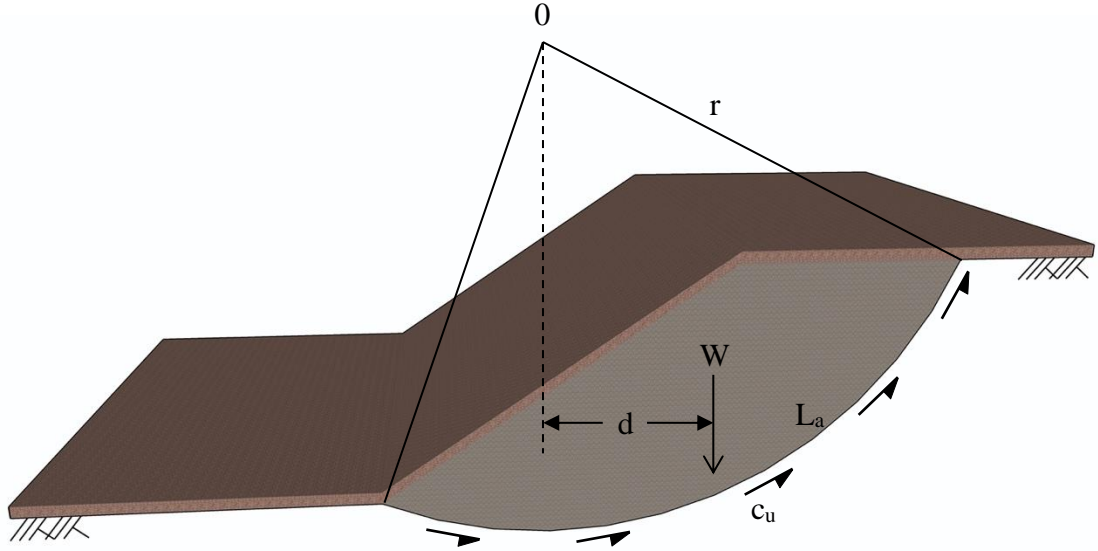
Şekil 2.1. Doğal ve yapay şev görünümleri

Doğal şevler, olağanüstü bir durum olmadıkça stabilite açısından sorun yaşamazlar. Yapay şevler, mühendislik çalışmaları sonucunda ortaya çıktığından ve doğal yapısı bozulduğundan stabilite sorunları yaşaması muhtemeldir. Şevler oluşturulurken bazı bölgelerde kazı, bazı bölgelerde ise dolgu gerekmektedir. Kazı çalışmalarının gerektiği durumlarda(yarma) büyük sorunlar yaşanmazken, dolgu çalışmalarının gerektiği durumlarda çok daha büyük sorunlar yaşanmaktadır. Bunun başlıca sebepleri arasında, dolgu yapılırken tüm koşulların göz önünde bulundurulmaması veya mühendislik hataları bulunmaktadır. Yeraltı su seviyesi, dolgu malzemelerinin sıkışma oranı, dolgu katmanları arasında oluşan çekme kuvvetlerinin karşılanma prensibi gibi etkenlerin,

yeterince irdelenmediği durumlarda stabilitenin bozulması kaçınılmazdır. Son olarak tüm dünyada etkisini arttıran iklim değişikliği konusu ise hiçbir projede dikkate alınmamaktadır. Oysa günümüz şartlarında iklim değişikliğinin projelere ileri düzeyde zararları oluşmaktadır. Oluştugu günden bu zamana kadar stabil halde durmayı başaran şevler, iklim değişikliği etkileri ile olumsuz etkilenebilmektedir. Şevler, küçük bir drenaj sorunu ile veya kendi zemin ağırlığı altında ezilerek stabilitesi bozulabilen yapılardır.

2.1. Şevlerin Stabilitesi

Bir toprak kütesinin, bir düzlem boyunca kaymaya karşı göstermiş olduğu direnç şev stabilitesi olarak tanımlanmaktadır. Kayma kuvvetlerinin, kaymaya karşı gösterilen kuvvetlerden daha büyük olması durumunda zeminde kaymalar meydana gelir. Önemli olan nokta; kaymaya karşı gelen kuvvetlerin, kayma kuvvetlerinden daha yüksek olmasıdır. Ancak bu durumda şevler stabil halde durabilmektedir. Kaymaya karşı gelen kuvvetlerin, kayma kuvvetlerinden yüksek olamadığı durumlarda mühendislik çözümleri ile durum düzeltilenmektedir. Bunun için bazı durumlarda dolgu yapılması bazı durumlarda ise yarma işlemleri karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla şev stabilitesi mühendislik çalışmalarının temelini teşkil etmektedir. Şevlerin stabilite analizleri yapılırken; zeminlerin homojen olduğu, basit tabakalanmanın olduğu ve çevresel şartların değişmediği kabulleri yapılır. Analizlerin çoğu, şevlerin stabil halde kalmalarını sağlayan en dik şev açısını bulmayı amaçlamaktadır. Şev stabilitesini sağlamak birçok parametreye bağlıdır. Yeraltı su seviyesi, zeminin kohezyonu, şev açısı, toplam şev yükü ve ileriki bölümlerde bahsedilecek olan birçok parametre etkili olmaktadır. Bir şevin durağan halde kalabilmesi için projelendirme ve planlama aşamasında analizler yapılmaktadır. Gerçekleştirilen analizlerin tümünde kullanılan yöntemler iklim değişikliğini konusunu dikkate almamaktadır. Yani projeler gerçekleştirilirken mevsimsel şartların, yönetmeliklerde belirtildiği gibi kabul edilmektedir. Fakat dünyada kabul gören ve küresel mücadelelere konu olan iklim değişikliği, yönetmeliklerde sabit kabul edilen mevsimsel koşulların değiştiğini vurgulamaktadır. Bu etkenlerin dışında; bir şevin stabil halde durabilmesi için güvenlik katsayısının tayini önem arz etmektedir. Şekil 2.2’de merkez noktası olarak belirtilen 0 noktasına göre moment alındığında denge denklemleri bulunabilir.



Şekil 2.2. Basit görünümde şev gerilmeleri

Toplam y yönündeki kuvvetlerin, toplam x yönündeki kuvvetlerin ve toplam moment değerlerinin sıfıra eşit olması durumlarının hesaplanması için yapılan matematiksel hesaplamalara denge denklemleri denilmektedir. Şekil 2.2’de 0 noktasına göre alınan moment için ağırlık (W) ve mesafesi (d) bir yöne döndürmeye çalışırken; kohezyon (cu), kayma yüzeyinin uzunluğu (La) ve yarıçap (r) değerleri ise döndürmeyi engellemeye çalışmaktadır.

$$W \times d = \frac{c_u}{F} \times L_a \times r \quad (2.1)$$

$$GS = \frac{c_u \times L_a \times r}{W \times d} \quad (2.2)$$

Şev stabilitesinin sağlanabilmesi için basit anlamda (2.1) ve (2.2) denklem mantığının olumlu sonuçlar vermesi gerekmektedir. Güvenlik katsayısı (GS) değerinin 1’in üzerinde çıkma durumu olumlu olarak kabul edilmektedir. Genel anlamda stabilitenin sağlanma mantığı bu şekilde olsa da gerçekleştirilecek projenin büyüklüğü, arazinin topoğrafik özellikleri, yeraltı su seviyesi gibi faktörler hesaplamaların basitçe bitirilemeyeceğini göstermektedir. Karmaşık ve büyük hacimli zeminlerde ağırlık kolaylıkla hesaplanamaz, kohezyonları değişken bölümlerden oluşabilir ve zemin uzunluğu arttıkça yeraltı su seviyeleri değişkenlik gösterebilir. Bu gibi durumlarda stabilite hesaplamaları için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Projenin yerine, önemine ve özelliklerine bakılarak en uygun yöntem seçilir. Bishop, Janbu, Ordinary, Spencer, Morgenstern-Price ve Finite Element Stress geliştirilen yöntemlerden bazılarıdır. Bu tezin uygulama projesinde Bishop yöntemi kullanılmıştır.

Bazı durumlarda zeminin doğal yapısı veya sadece dolgu malzemesi kullanılarak stabilite sağlanamayabilir. Stabilitenin sağlanamadığı durumlarda dolgu malzemeleri içerisine veya arasına donatılar yerleştirilerek bir toprakarme sistem oluşturulur. Toprakarme sistemin içerisindeki donatılar, gerilmelerin bir bölümünü karşılayarak stabiliteye önemli katkılar sağlar. Özellikle şevlerde dolgu işlemleri yapılırken, sıkıştırma esnasında katmanlar oluşur. Betonarme yapılarda oluşan soğuk derzler gibi, zeminde de dolgu katmanları arasında soğuk derz sayılabilecek birleşim noktaları meydana gelir. Sismik hareketler esnasında katmanlar arasında yüksek çekme kuvvetleri oluşur. Oluşan yüksek çekme kuvvetleri, sürtünme kuvveti ile sönmülmeyebilir. Çekme kuvvetlerini karşılayabilmek için donatılar kullanılır. Bu tip uygulamalar zemin güçlendirme işlemi olarak sayılmazlar. Toprakarme sistem oluşacağı için geosentetik donatılarla güçlendirilmiş zemin olarak nitelendirilir.

2.2. Şev Stabilitesi ile İlgili Tanımlamalar

Şev stabilitesi ile ilgili teknik tanımlamaların detaylı olarak irdelenmesi ve anlaşılması gerekmektedir. Aksi halde şev stabilitesi tam anlamıyla sağlanamaz. Zemin mekaniği ile her terimin bu tez çalışmasında verilmesi doğru olmayacağından, sadece çalışmada bahsedilecek olan tanımlamalar yapılmıştır.

Zeminde bulunan parçacıkların veya moleküllerin bir arada tutabilmesi oluşan kuvvete kohezyon denilmektedir. Genellikle kohezif zeminler, kil tipi zeminlerden oluşmaktadır ve c sembolü ile gösterilmektedir. Kohezyon değeri doğrudan makaslama deneyi ile belirlenir ve birimi kN/m^2 veya lb/ft^2 olarak hesaplanmaktadır. Geogrid ise son yıllarda kullanımı yaygınlaşan, gözenekli yapılarıyla zemin malzemesi içerisinde kullanılan mukavemeti artırıcı geosentetik elemanlardır. Geogridlerin liflerle birbirlerine bağlıdır ve bu yüzden bazı durumlarda donatı olarak nitelendirilebilirler. Geogrid donatılar genellikle istinat yapılarında veya yol projelerinde alt tabakaların daha mukavim olmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Bu sayede toprakarme sistemler oluşmaktadır. Toprak zeminler basınç etkisi altında deformasyona uğrarlar. Taşıma gücünü arttırmak ve deformasyonu indirmek için toprak zemin içine donatılar serilir. Toprak ve geogridlerin çekme kuvvetleri karşısındaki dayanımları karşılaştırıldığı zaman; geogridlerin toprağa göre çok daha üstün olduğu gözlemlenecektir. Geogridler büyük oranda $(C_3H_6)_n$ polipropilen, $(C_2H_4O)_x$ polivinil alkol, $(C_2H_4)_n$ polietilen, polimer, polyesterlerden oluşur ve zemin

malzemeleri içerisinde kullanılmasındaki ana amaç; yüklendikleri çekme kuvvetlerini taşıyıcı zemine aktarmaktır. Geogrid donatılar çekme deneylerine tabi tutulur. Karşılatabildikleri çekme kuvveti değerlerine göre sınıflandırılırlar.

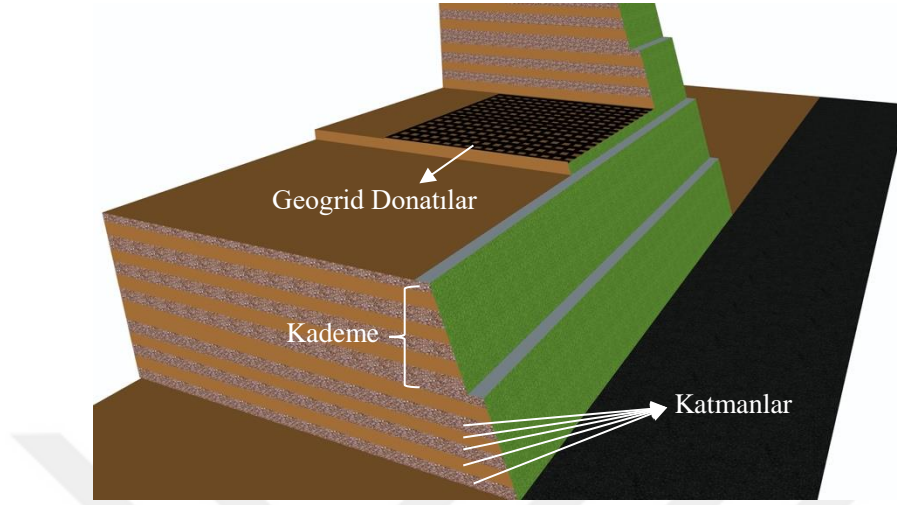
Çekme deneyi, malzemenin tek bir eksen boyunca belirli şiddette kuvvetlere maruz bırakılarak şekil değiştirilmesinin takip edilmesi olayıdır. Malzemedeki kopma olayı, şekil değiştirme olayının da sonlanması anlamına gelir. Bu deney sonucunda elde edilen karakteristik bilgiler, stabilite hesaplamalarında kullanılır. Özellikle kopmadan önceki en yüksek çekme kuvveti değeri (maksimum çekme gerilmesi) değeri ile elastikiyet katsayısı, akma mukavemeti ve poisson oranı değerleri bulunabilir. İncelenecek malzeme, çekme deney aletine (Şekil 2.3) yerleştirilir. Tek eksende kuvvet uygulama başlanır ve zamanla uygulanan kuvvet artırılır. Kuvvet değerinin artmasıyla şekil değiştirme (uzama) miktarları kayıt altına alınır. Kayıt altına alınan bilgilerden deformasyon (ϵ) ve gerilme (σ) eğrisi oluşturulur.



Şekil 2.8. Çekme deney alet ve ekipmanı

İçsel sürtünme açısı, zeminin kaymasına neden olacak kuvvetlere karşı direnme becerisidir. Şev açısı ise şev yüzeyindeki eğimin yatay düzlemle yaptığı açıya verilen addır. Zemin birim ağırlığı, malzeme ağırlığının malzeme hacmine bölünmesi sonucu elde edilen değerdir. Kısaca zeminin belirlenen ölçüde, birim miktar ağırlığı olarak nitelendirilebilir. Plastik limit, zeminin ufanmadan ve çatlama kalıcı olarak şekil değiştirebilme yeteneğidir. Likit limit, homojen yapıdan akıcı bir zemine dönüştüğü andaki su muhtevası oranıdır. Plastisite indisi ise likit limit ile plastik limit arasındaki fark olarak

tanımlanır. Terramesh duvar sisteminde kademe ve katman terimleri kullanılır ve kademeler, katmanlardan oluşur (Şekil 2.4). Her katmanın ortalama yüksekliği 40cm, her kademelerin yüksekliği ise 240 cm olarak baz alınmıştır.



Şekil 2.4. Terramesh katmanları ve kademeleri

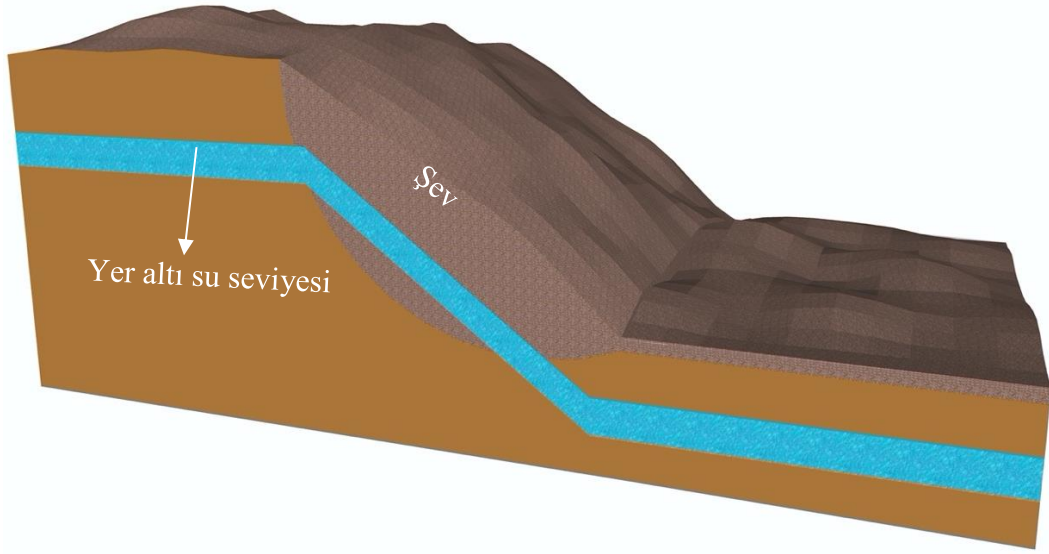
2.3. Şev Duraylılığı Analizlerinin Amacı

Şev duraylılığı (stabilitesi), düzenli veya düzensiz şekillere sahip eğimli zeminlerin göçmeden işlevini devam ettirebilmesi için belirleyici unsurdur. Şev duraylılığı sağlandığı takdirde, dolgu alanları da işlevini devam ettirecektir. Yüzyıllar boyunca stabil halde kalan doğal şevler, çevre koşulları ve afetlerden etkilenerek göçme tehlikesiyle karşılaşmaktadır. Göçme tehlikesinin oluşmasında birçok etken irdelenmelidir. İklim değişikliği, yakın çevredeki mühendislik çalışmaları, yeraltı su seviyesindeki değişiklikler, sismik hareketler gibi konuların tek tek incelenmesi ve inceleme sonuçlarının tek çatı altında değerlendirilebilmesi gerekmektedir. Buna benzer inceleme ve hesaplamaların tek çatı altında toplanabilmesi ve bir araya gelebilmesi için analizlere ihtiyaç duyulmuştur. Şev duraylılık analizleri birden fazla parametrenin incelenmesi ve optimum çözümü bulmayı amaçlamaktadır. Bunun yanında, stabil halde yaşamını devam ettirebilecek en yüksek şev açısı da duraylılık analizleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Genel olarak, dolgu yapılacak yükseklik 8 metreden düşük ise tasarıma yönelik stabilite analizinin yapılması zorunlu değildir fakat dolgu yapılacak alanın zemin yapısının taşıma gücü kapasitesinin yeterli olmadığı düşünülürse, analiz yapılabilir. İş bazında oluşturulan Zemin İşleri Teknik Şartnamelerinde 3 metreden daha az yüksekliğe sahip olan yarma işlerinde etüt projelerinin gerekmediği, 3 metreden yüksek 15 metreden düşük yüksekliğe sahip olan

yarma işlerinde özel bir problem yoksa Karayolları Genel Müdürlüğü şev projelendirme rehberine göre dizayn edilmesi gerektiği ve 15 metreden yüksek yarmalar için stabilite analizlerini zorunlu kılmaktadır.

2.3.1. Şev geometrisi ve yeraltı su koşulları

Doğal veya yapay olan her şev belirli bir geometriye sahiptir. Şev geometrisi stabilite üzerinde önemli roller üstlenmektedir. Geometrik ve topoğrafik şekillere göre ağırlık merkezlerinin yer değiştirmesi, stabilite ve kayma analizlerinde belirleyici faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Şev geometrisi ve yeraltı su seviyelerinin etkileşimi göz ardı edilerek gerçekleştirilen her analiz, göçme riskini de beraberinde getirmektedir. İki tabaka arasında su basıncı ile atmosfer basıncının eşit olduğu yüzeye yer altı su seviyesi denilmektedir. Özellikle yağışlardan sızan ve doğal yapıdaki yeraltı nehirleri/akarsularından zemine sızan sular, zemin malzemeleri arasındaki gözeneklere yerleşir. Gözenekler arasında suların geçişine izin veren bölgelere ise akifer adı verilmektedir.



Şekil 2.5. Yer altı su seviyesi ve şev geometrisi

Aksi durumlar yaşansa da yer altı suları ortalama 1,4 m/gün hızla akmaktadır. Çünkü yer altında bulunan su yolları küçük ve eğimlidir. Su yolları uzun olduğundan sürtünme kuvvetleri suyun akış hızını azaltır. Ekosistem yardımıyla yer altı suları büyük ölçüde yenilebilir su kaynaklarıdır fakat yer altı suların çok yüksek kullanılması sonucunda yenilenebilirlik özelliğini kaybetmektedir. Yeraltı su seviyesinin düşmesi bazı durumlarda göçmeler meydana getirmektedir. Suların daha derinlere çekilmesi

veya tüketilmesi, gözenekler arasında boşlukların oluşmasına neden olacaktır. Oluşan boşluklar basınç etkisi altında dolacak ve zemin yüzeyinde çökmelere sebebiyet verecektir. Yeni obruk oluşumları ile yeraltı su seviyesi düşmesi arasında doğrudan bir ilişki vardır (Yılmaz, 2010). Bu sebeple yeraltı su seviyesi, şev stabilitesi ile doğrudan bağlantılıdır. Oluşturulacak olan şev açısı, yarma ve dolgu miktarları; yeraltı su seviyesinin incelenmeden projelendirilmesi sağlıklı sonuçlar vermeyecektir.

2.3.2. Şevlerde malzeme özelliklerinin tayini

Mühendislik çalışmaları neticesinde yapay bir şev oluşturulacağı zaman kullanılacak malzeme özelliklerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Donatılarla güçlendirilmiş zemin yapılarında, kullanılan malzemeler zeminin iç kütle özelliklerini değiştirmektedir. Özellikle dolgu malzemesi olarak kullanılan bileşenlerin ağırlığı ekstra yükler oluşturmaktadır. Şev veya yol dolgu işlemlerinde stabiliteyi sağlamak için dolgu niteliği taşımayan malzemeler ile granülometrisi uygun olan malzemeler karşılaştırılarak alternatif çözümler üretilebilir.

Yapay şevlerde kullanılacak her malzemenin ağırlık olarak düşük değere sahip olması gerekmektedir. Kullanılacak malzemenin hafif olması, toplam şev ağırlığının da düşük olacağı anlamını taşır. Dönme/kayma noktası ile kütle merkezinin arasındaki uzaklık ne kadar çok olursa, şev kütle ağırlığının kayma etkisi de o kadar şiddetli olacaktır. Bu sebeple şevlerde kullanılacak malzemelerin hafif seçilmesi ilk adım olmalıdır. Şevlerde kullanılacak dolgu malzemesinin özellikleri uluslararası ASTM D1557 standardında belirtilmiştir. Gerçekleştirilen deney ve analizler sonucunda hem sıkışmanın hem sürtünme kuvvetinin istenilen seviyelerde olması için bu standarttaki bilgiler kullanılabilir. Bazı durumlarda ASTM D1557 standardına uyulamıyorsa, istenilen malzeme temin edilemiyor veya proje alanına nakledilemiyorsa seçilecek malzemedeki sürtünme kuvvetine dikkat edilmesi gerekmektedir. Dolgular kademeler halinde yapıldığından, kademeler arasındaki sürtünme kuvvetinin yüksek olması stabilite açısından fayda sağlayacaktır. Sürtünme kuvvetinin yetersiz olduğu durumlarla karşılaşıldığında, kademeler arasında kullanılacak geotekstil veya geosentetik donatılar tercih edilebilmektedir. Bu durumlarda kullanılacak donatının çekme dayanımı yüksek seçilmelidir. Drenaj kompoziti malzemesi hafif ve su geçirimsiz şekilde seçilmelidir. Kompozit malzemesinin ağır seçilmesi, yüksek metrajlarda kullanıldığında şev stabilitesini bozabilmektedir.

2.4. Şev Stabilite Analizlerinin Planlanması

Şev stabilite analizleri planlanırken öncelikle ihtiyacın belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde birçok şev stabilite analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bu analizler yaklaşık olarak aynı sonuçları verse de uygulama alanları birbirine göre bazı avantajları bulunabilir. Örneğin, bazı durumlarda sadece moment koşulunun sağlanması ile çözülebilecek stabilite analizlerinde Fellenius dilim yöntemi diğer yöntemlere göre daha hızlı sonuç verebilmektedir. Başka bir örnekle üç denge koşulunun yazılabildiği stabilite analizlerinde Spencer metodu, sadece iki izdüşüm denklemlerinin yazılabildiği şev stabilite analizlerinde ise Janbu metodu kullanılabilir. Bu yöntemlerin dayandığı kabuller farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple güvenlik katsayıları da farklı olabilmektedir. Şev analizlerinin planlanması yapılırken saha incelemesi büyük önem taşımaktadır. Çünkü saha incelemesinden sonra yapılacak sayısal modelleme ile analiz yöntemine de karar verilecektir. İleriki bölümlerde incelenen analiz yöntemleri tek tek ele alınmıştır. Bu tez çalışması için hangi yöntemin daha uygun olduğu, elde edilen bilgiler ışığında ileriki bölümlerde ele alınmış ve karar verilmiştir.

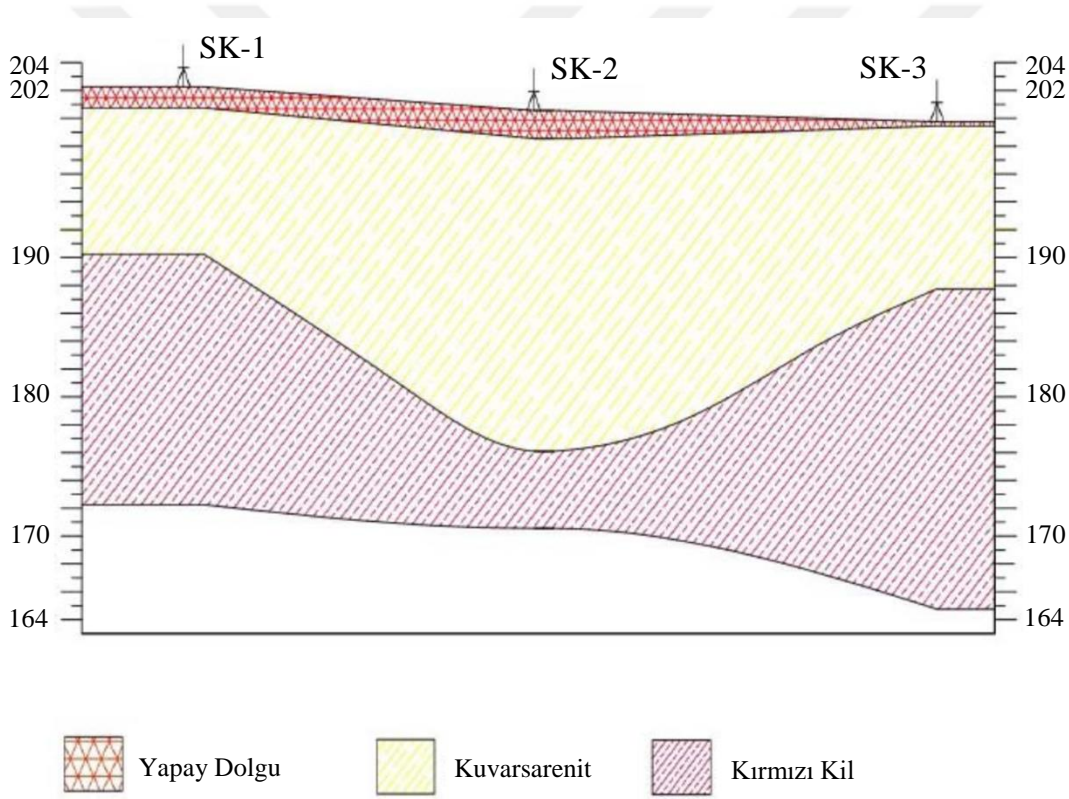
2.5. Saha İncelemesi ve Jeolojik Veri Toplanması

Şev stabilite analiz yöntemine karar vermeden ve proje dizayn işlerine başlamadan önce sahada (arazide) inceleme yapmak önem taşımaktadır. Saha incelemesi yapılmadan bilgisayar başında gerçekleştirilecek dizayn projelerinde sık sık sorunlar meydana gelmektedir.



Şekil 2.6. Saha incelemesi ve verilerin toplanması

Özellikle topoğrafik şartların göz önünde bulundurulmaması veya dizayn projesinin gerçekte uygulanabilirliği konusunda aksaklıkların yaşandığı projeler birçok defa revizeye uğramaktadır. Bu tez çalışmasında incelenen alan Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Proje tasarım aşamasındayken 6 farklı noktada sondaj çalışmaları yapılmıştır. Sondaj çalışmalarına göre 0-2 metre arasında yapay dolgu seviyesi olduğu tespit edilmiş ve yapay dolgu altında Aydos Formasyonuna (Osa) ait kırıklı ve çatlaklı kuvars arenit tespit edilmiştir. Aydos formasyonu altında ise Kurtköy Formasyonuna (OPk) ait kahverengi, kırmızımsı kil yer almaktadır (Şekil 2.7). Sondajdan alınan numuneler laboratuvar ortamında incelenmiştir. Bu incelemeler ve sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen bilgiler, sayısal modelleme ve stabilite hesaplarında kullanılmak üzere kayıt altına alınmıştır.



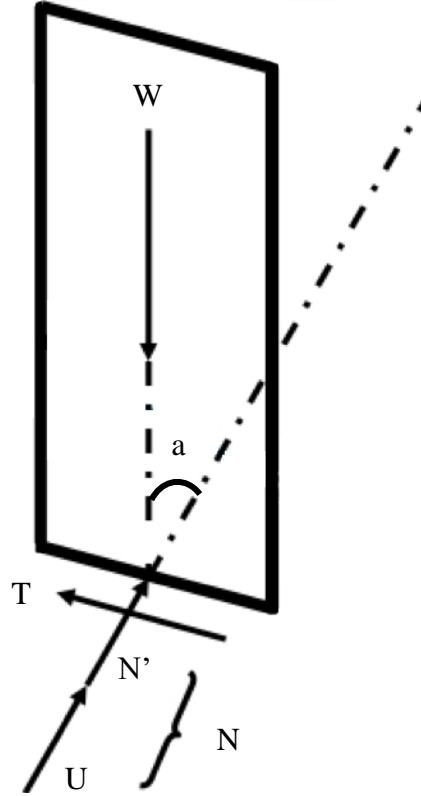
Şekil 2.7. Proje alanının litolojik kesit tespiti

Tespitlerin ardından gerçekleştirilen deneyler sonucunda yapay dolgu birim ağırlığının 20 kN/m^3 , içsel sürtünme açısının 35° ve kohezyonun 5 kPa olduğu tespit edilmiştir. Kuvarsarenit için gerçekleştirilen deney sonuçlarında birim ağırlığının 18 kN/m^3 , içsel sürtünme açısının 40° ve kohezyonun 20 kPa olduğu tespit edilmiştir. Saha incelemesi neticesinde projenin gerçekleştirileceği alanda yapay bir dolgunun bulunduğu tespit edilmiş ve inceleme başlatılarak birçok bilgiye ulaşılmıştır.

3. ŞEVLERİN STABİLİTE ANALİZ YÖNTEMLERİ

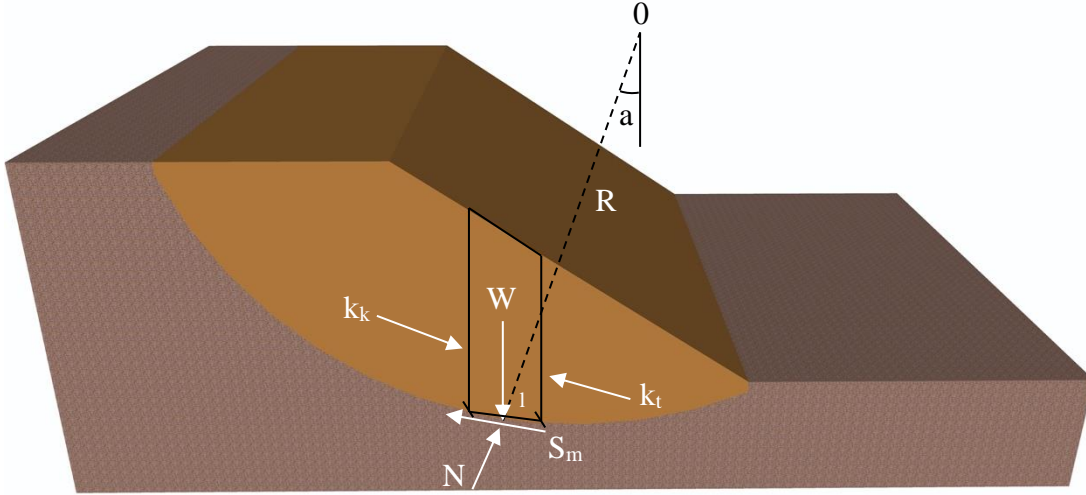
3.1. Fellenius Yöntemi

Fellenius metodu 1927 yılında suya doymuş killi zeminler üstünde inşa edilecek şevlerin incelenmesini hedef alan bir yöntemdir. Şev inşası bittikten sonra stabilite şartlarının incelendiği yöntemler arasında yer almaktadır. Bu yöntem ile oluşturulan Limit Denge ilkesi, Fellenius yönteminden sonra oluşturulan stabilite analizlerinin temelini oluşturmaktadır. Toplam gerilme analizi yöntemini temel edinen bu yöntem, kaymaya karşı koyan kuvvet olarak sadece kohezyon değerini dikkate alır. Yenilme yüzeyinin dairesel olduğu kabul edilmektedir. En önemli özelliği kuvvet bileşkesinin tabana paralel olduğudur. Yöntem sadece homojen değil heterojen zeminler için de uygulanabilir durumdadır. Yeraltı su seviyesi ile su basıncının zemine yakın olması ve şev açısının çok düşük olması durumlarında hata oranı artış göstermektedir.



Şekil 3.1. Fellenius şev dilimine etki eden kuvvetler

Fellenius metoduna göre bir şev dilimine etki eden kuvvetler Şekil 3.1’de verilmiştir. W şev diliminin ağırlığını, a kayma merkezi ile dilim alt kenarının orta noktası arasındaki açıyı, T kayma kuvvetini, U boşluk suyu basıncını, N’ efektif normal kuvvetini temsil etmektedir.



Şekil 3.2. Şev dilimi çözümlemesi

Üç boyutlu olarak çizimi yapılan bir şevde, rastgele bir dilim alınarak üzerine etki eden kuvvetler gösterilmiştir (Şekil 3.2). Mohr-coulomb bağlantısı kullanılarak S_m değeri bulunabilir.

$$S_m = \frac{1}{G_s} (c' * l + N - u * l) * \tan(\phi) \quad (3.1)$$

$$N = M * \cos(a) \quad (3.2)$$

$$\sum_{n=1}^n M_o = 0, \sum M * R * \sin(a) = \sum S * R \quad (3.3)$$

$$\sum_{n=1}^n M * \sin(a) = \sum \frac{1}{G_s} * (c' * l + (N - u * l) * \tan(\phi)) \quad (3.4)$$

(3.2) ve (3.4) denklemleri birleştirildiği zaman güvenlik katsayısının formülü aşağıdaki (3.5) denklemi olmaktadır.

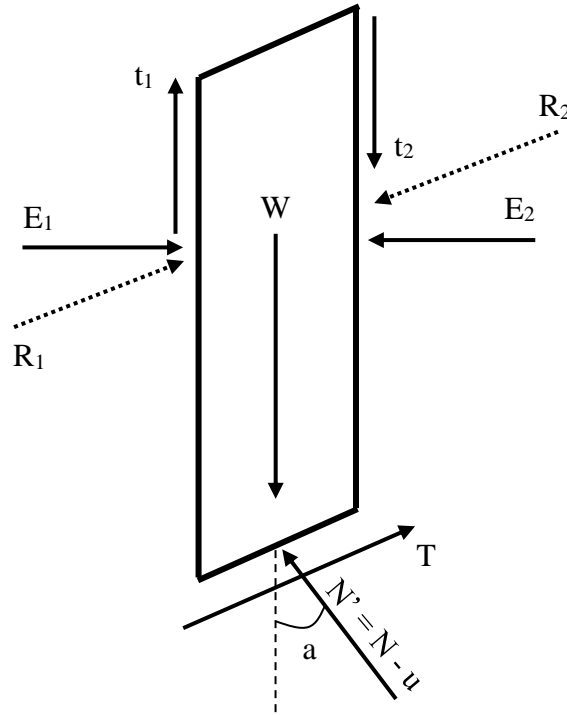
$$G_s = \frac{\sum [c' * l + (M * \cos(a) - u * l) * \tan(\phi)]}{\sum M * \sin(a)} \quad (3.5)$$

Bağlantıları kullanılarak güvenlik katsayısı bulunabilir. Fellenius yöntemi ile kayma dairesi düşey dilimlere ayrılır, kayma güvenliği ise her dilimin ayrı ayrı hesaplanmasıyla ortaya çıkar. Dilimler arasındaki kuvvetler sıfır kabul edilir ve dilim

yönteminin kullanıldığı ilk teknik olarak kabul edilmektedir. Kayma dairesinin ve gerilme çatlak konumlarının belirleyebilir özelliği tercih edilmesinde rol oynamaktadır. Tez çalışmasında gerçekleştirilecek uygulama projesinde bu yöntemin kullanılıp kullanılmayacağı irdelenmelidir.

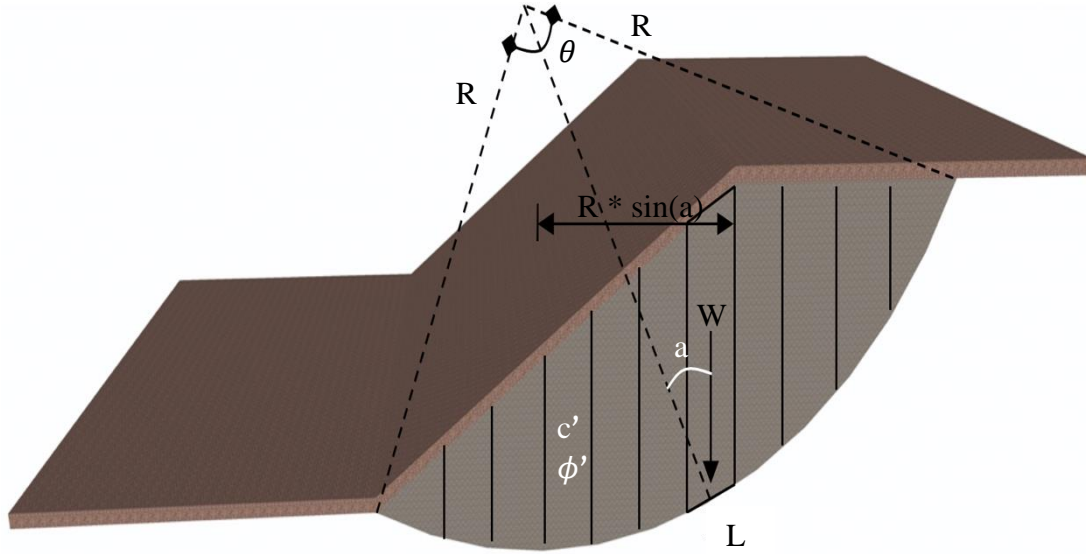
3.2. İsveç Dilim Yöntemi

Fellenius metoduna çok benzerlik gösteren ve Fellenius metodundan faydalanarak geliştirilen bir yöntem olarak bilinmektedir. Fellenius metodunda olduğu gibi İsveç dilim yöntemi de killi zeminlerde efektif gerilme analiziyle kullanılır. En yaygın kullanım alanları; faydalı ömrü çok uzun şev analizleri ve aşırı konsolide olmuş killi zeminlerdir. Yöntemin ana dayanağı seçim dilim sayısının 5'ten büyük olmasıdır. Diğer metotlarla kıyaslandığında; güvenlik katsayı değeri en düşük hesaplanan metotlar arasında yer almaktadır. Tecrübelerle dayanarak elde edilen bilgiler ışığında, eğer kayma yarıçapı çok kısa ve boşluk suyu basınç oranı yüksek olan analizlerde hata payı yükselmektedir. Bu durumda ise Bishop yöntemi daha doğru sonuçlar verildiği görülmüştür. Hangi şev stabilite çözüm yönteminin hangi zeminlerde kullanılacağı değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3.3. İsveç dilim yöntemine göre şev dilimine etki eden kuvvetler

İsveç dilim yöntemine göre bir şev dilimine etki eden kuvvetler Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Etki eden kuvvetlerde t_1 ve t_2 teğetsel ara dilim kuvvetlerini, E_1 ve E_2 normal ara dilim kuvvetlerini, R_1 ve R_2 incelenen dilime bitişik dilimlerden etkiyen bileşke kuvvetleri, W dilimin statik ağırlığını, T dilim taban yüzeyindeki kayma kuvvetini ve N normal kuvveti göstermektedir. Dilim alt yüzeyinin orta noktası ile kayma merkezi O noktasının birleştirilen hattın düşeyden itibaren tamamladığı açı a , boşluk suyu basıncı u , birim hacim ağırlığı γ sembolü ile belirtilmiştir.



Şekil 3.4. İsveç dilim yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetler

Şekil 3.4'de verilen İsveç dilim yönteminde dilime etkiyen kuvvetler için; b dilim kalınlığını, h dilim üst noktasından alt orta noktasına kadar olan düşey mesafeyi, L dilim yayının uzunluğunu, c' efektif kohezyonu göstermektedir. Güvenlik katsayısı; şevi(dilimi) döndürmeye karşı koruyan kuvvetlerin, döndürmeye çalışan kuvvetlere bölümüdür. Buna göre;

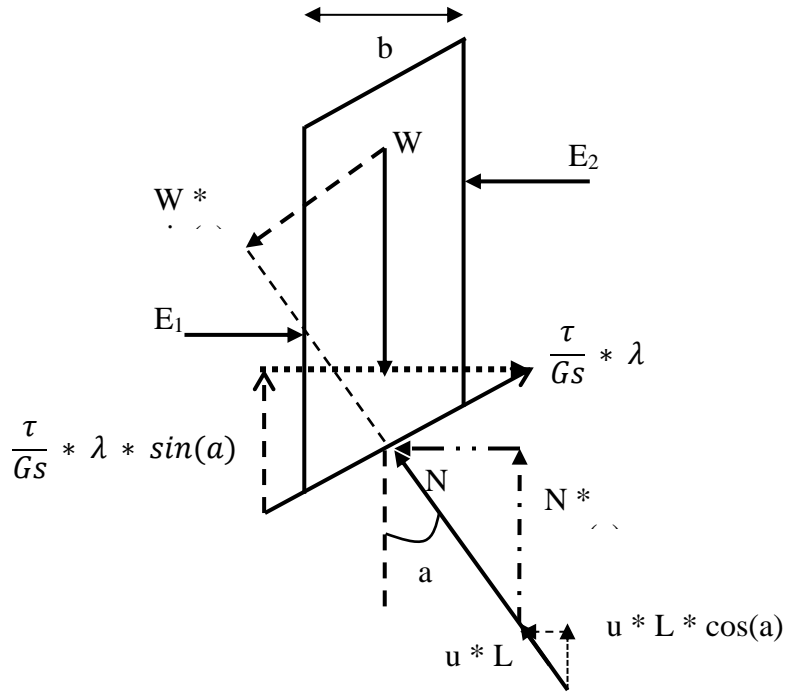
$$G_s = \frac{c' * L + \gamma * b * \tan(\phi') * \sum h * (\cos(a) - r * \sec(a))}{\sum M * \sin(a)} \quad (3.6)$$

(3.6) formülü elde edilir. Formülde r değeri boşluk suyu basınç oranını göstermektedir. Bu sayede eğimli şev yüzeylerin dilimlere ayrılmak suretiyle stabil halde kalıp kalamayacağını tetkik edilmektedir. İsveç dilim yönteminde komşu dilimler tarafından gelen kuvvet bileşkesinin dilim tabanına paralel olduğu kabul edilmektedir. Bunun nedeni ise; İsveç dilim yönteminin Newton'un etki-tepki yasasına aykırı olmasıdır. Çünkü dilimlerin arasında oluşan kuvvetler için gerçekleştirilen (a-1) adet kabul, (a-2)

adet belirsizlikten fazladır. Bu durum statik kurallarının sağlanamaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Kabul sayısı, belirsizlikten fazla olduğu için çözülemeyen denklemlerle karşı karşıya kalınmaktadır. Belirsiz durumdan kurtulabilmek adına, dilimler tarafından meydana gelen kuvvet bileşkelerinin tabana paralel olduğu varsayımı yapılmaktadır. Bilgisayar destekli analiz programlarında İsveç dilim yönteminin kullanımı çok yaygındır.

3.3. Bishop Yöntemi

Bishop metodu 19. yüzyıl ortalarında geliştirilen ve dairesel kayma yüzeyinde bir moment dengesi ve kuvvet denge denklemlerinin yazılabildiği bir yöntemdir. Diğer yöntemlere göre çözüm hesaplamaları daha uzun sürmektedir. Hesaplamaların çok fazla olmasından dolayı zamanla sadeleştirilmiştir. Yöntem 2 ana kabul üzerine inşa edilmiştir. Kabullerin ilki; her ağırlığının tabanın tam ortasına etkiğiştir. Bazı amorf yapıdaki şevlerde bu durum yanlış gibi görünse de tüm dilimlerin tek tek hesaplanması sonucunda olumlu neticeler vermektedir. İkinci kabul ise kayma yüzeyinde kuvvet ve moment denge koşullarının sağlanmasıdır. Kısacası ikinci kural, genel statik denge denklemlerinden faydalanmıştır. Bishop, bilgisayar destekli şev stabilite analiz programlarında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir.

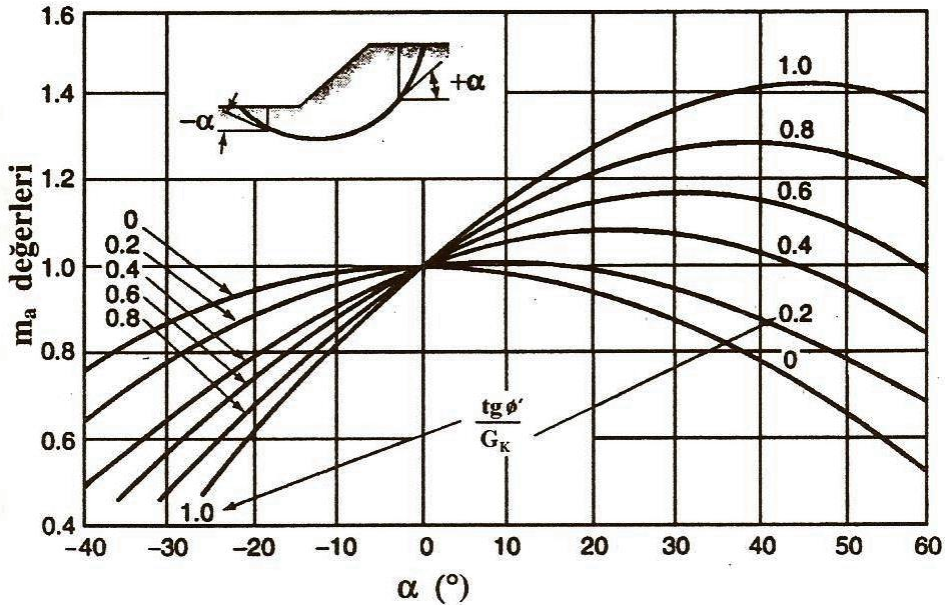


Şekil 3.5. Bishop yönteminde dilim üzerine etkiyen kuvvetler

Dilim ağırlıklarının dilim tabanının tam orta noktasına geldiği kabulü, bazı projelerde büyük hatalar doğurmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte kayma direnci yüksek zeminlerin daha az stabil olan zemin üstlerine bindiklerinde güvenlik katsayısı değeri değişkenlik göstermektedir. Bazı şevlerde ise yer altı su seviyesi ani düşüş gösterebilir. Yer altı su seviyesindeki düşüş hızı ile boşluk suyu basıncındaki düşüş hızında oluşan farklılık stabiliteyi olumsuz etkilemektedir. Meydana gelecek olumsuz etkilerin öngörülebilir boyutlarda olması için bazı abaklar geliştirilmiştir. Bishop yönteminde dilim üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 3.5’de belirtilmiştir. Denge denklemlerinin yazılabilmesi için Şekil 3.4’den faydalanılabilir.

$$G_s = \frac{\sum \frac{1}{m_a} * [c' * b + (W - u * b) * \tan(\phi')] }{\sum W * \sin(a)} \quad (3.7)$$

(3.7) formülünde c' sembolü efektif kohezyonu ve ϕ' sembolü içsel sürtünme açısını, b sembolü dilim genişliğini, W sembolü dilimin ağırlığını, u sembolü boşluk suyu basıncını, a sembolü her dilimin alt taban orta noktasının kayma dairesi merkezi ile yaptığı düşey açıyı belirtmektedir. Formülde a açısı; her dilim için ağırlık merkezinin daire merkezi arasındaki yatay mesafe değerinin yarıçapa bölünmesiyle elde edilecek değerin arcsin(değer) trigonometrik fonksiyonu ile bulunabilir ($a = \arcsin(x/R)$). m_a değeri; içsel sürtünme açısının tanjant değerinin güvenlik katsayısına bölünmesiyle elde edilir. Bishop metodunda faydalanacak abak Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Bishop ve Janbu yönteminde kullanılan abak

Kaynak: Keskin, İ. (2017)

Şekil 3.6 abağı kullanılarak stabilite analizi tamamlanmaya çalışır. Bishop yöntemi kendinden sonraki bazı metotlara ışık olmuştur. Örneğin Janbu yöntemi, Bishop metodunu temel alarak bazı öneriler sunan yöntemlerden bir tanesidir.

3.4. Janbu Yöntemi

Sadeleştirilmiş Bishop metodunu temel almaktadır. Janbu yöntemi kayma yüzeyine uygulanmaktadır. Bu metotta güvenlik katsayısı hesaplanırken bir düzeltme sayısı (f_0) kullanılır. Janbu yöntemi yatay kuvvetlerin dengede olduğunu kabul etmekle birlikte dilimler arasında oluşan kayma kuvvetlerini ihmal eder. Böylelikle 3 bilinmeyen değer için 3 denklem yazılarak çözüm üretilebilir hale gelmektedir. Dairesel halde olmayan kayma yüzeyinde bu metot gerçekçi sonuçlar vermektedir. Zamanla kullanılarak yöntemin bazı noktaları düzenlenerek Basitleştirilmiş Janbu Metodu adını almıştır. Dilim tabanındaki normal gerilme (3.8) formülü ile hesaplanır.

$$N' = \frac{W * (1 - k_v) - S_m * \sin(a) - u_a * \cos(a) + Q * \cos(\xi) + u_\beta * \cos(\psi)}{\cos(a)} \quad (3.8)$$

(3.8) formülünde kullanılan W sembolü dilim ağırlığını, k_v sembolü düşey sismik katsayıyı, a sembolü dilim tabanın yatay düzlemle yaptığı açığı, u_a sembolü boşluk suyu basıncını, u_β sembolü yüzey suyu basıncını belirtmektedir. Toplam yatay kuvvetlerin denge denklemleri (3.9) formülünde verilmiştir.

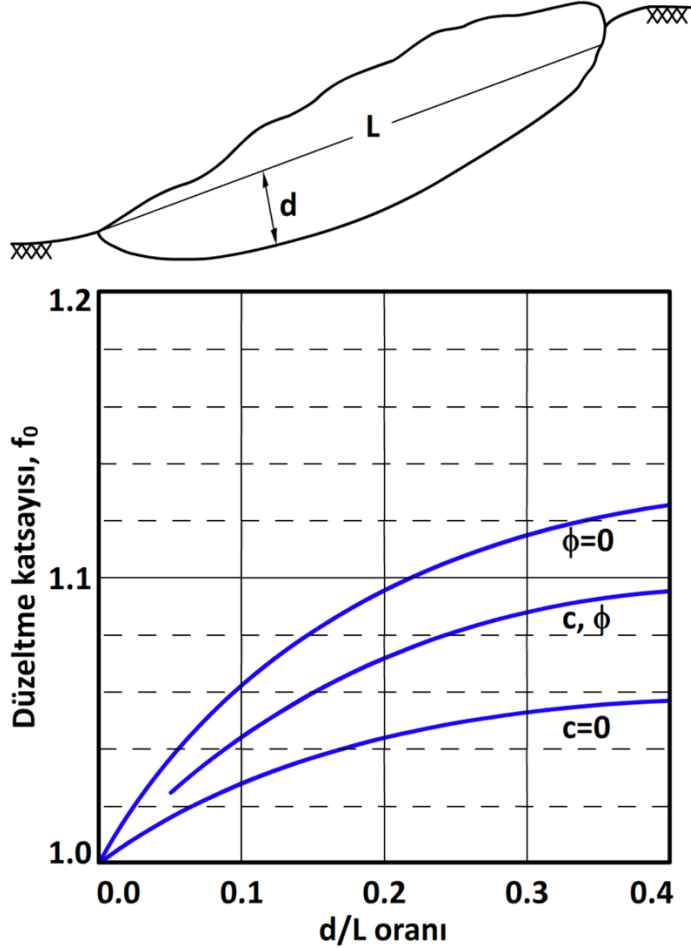
$$\sum_1^n [F_H]_n = \sum_1^n \left[\sum_1^n Q * \sin\xi - \frac{C + N' * \tan\phi}{F} * \cos a + (N' + u_a) * \sin a + Wk_h + u_\beta * \sin\psi \right] \quad (3.9)$$

$$G_s = \frac{\sum_1^n (c + N' * \tan(\phi)) * \cos(a)}{\sum_1^n A_4 + N' * \sin(a)} \quad (3.10)$$

$$A_4 = u_a * \sin(a) + u_\beta * \sin(\psi) + Q * \sin(\xi) + Wk_h \quad (3.11)$$

Sadeleştirilmiş Janbu metodunda güvenlik katsayısının hesaplanması için kurulan denklem (3.10)'da ve A_4 değerinin hesap formülasyonu (3.11)'de verilmiştir. Sırasıyla (3.9), (3.10) ve (3.11) denklemleri göz önüne alındığında moment denge denkleminin çözümlenemediği ve moment dengesinin sağlanamadığı görülmektedir. Düzeltme katsayısı f_0 değerine bu sebeple ihtiyaç duyulmuş ve bir abak oluşturulmuştur.

Düzeltilme katsayısı hesabında kayma yüzeyinin şev orta noktasıyla arasındaki mesafe d ve kayma yüzeyinin başlangıç ve bitiş noktası arasındaki uzaklık değerleri dikkate alınır. Dikkate alınan değerler abaktan kontrol edilir ve hesaplamalarda kullanılmak üzere f_0 değeri belirlenir.



Şekil 3.7. Janbu yöntemi f_0 düzeltme katsayısı abağı

Kaynak: Keleşoğlu, K. (2016)

Düzeltilme katsayısı(faktörü) Şekil 3.7 abağından tespit edilmektedir. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'den yararlanılarak güvenlik katsayısı aşağıdaki gibi tespit edilmektedir.

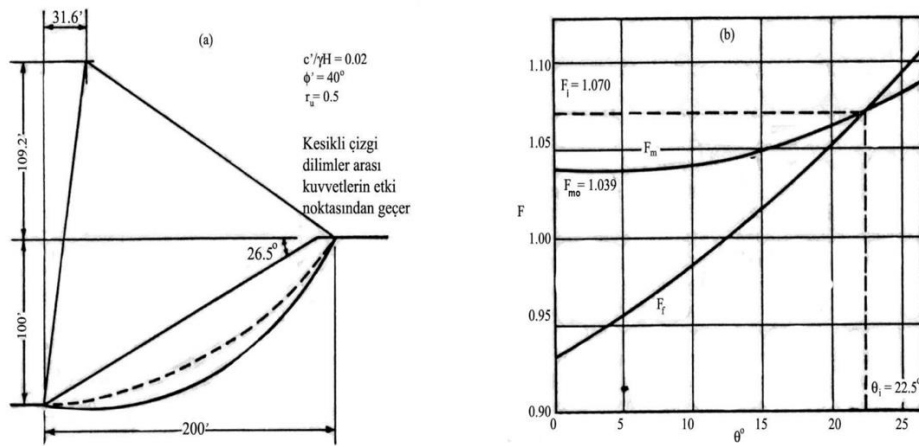
$$G_s = f_0 \frac{\sum [c * b + W - u * b] * \tan(\phi) * \frac{1}{\cos(a) * m_a}}{\sum W * \tan(a)} \quad (3.12)$$

(3.12) formülünde f_0 sembolü düzeltme faktörünü temsil etmektedir. Düzeltme faktörü ilgili (Şekil 3.7) abaktan $f_0 = f(d/L, \text{zemin türü})$ fonksiyonu ile elde edilir. Elde edilecek değer kayma yüzeyinin geometrik büyüklüklerine, kohezyonlu/granüler/siltli vb. gibi zemin türlerine bağlıdır. Granüler iri daneli zemin ($c=0$) olarak, kohezyonlu

ince daneli zemin ($\phi = 0$) olarak sınıflandırılabilir. Janbu metodu yöntemini kullanan bilgisayar destekli yazılımlar, stabilite analizine başlamadan önce hesaplarda kullanmak üzere güvenlik katsayısı değerini sormaktadır. Güvenlik katsayısı değeri belirlenmeden stabilite analizi başlatılamaz. (3.12) denkleminde bilinmeyen bir değer var ise analizden önce, değerler tamamlanarak güvenlik katsayısı bulunmalıdır.

3.5. Spencer Yöntemi

Spencer metodu 1967 yılında geliştirilmiştir ve şev stabilite analizlerinde; kuvvet eşitliğinin sağlanmadığı ve moment eşitliğinin sağlandığını temel almaktadır. Hesaplaması yapılan şevler çok sayıda dilimlere bölüldüğünde ve her dilim için ayrı ayrı kuvvet/moment denge denklemleri yazıldığında çok sayıda işlemin yapılması gerekir. El ile çözümlerde çok uzun zamanlar alabilen bu metot bilgisayar programı gerektirmektedir. El hesaplamalarında kullanılabilecek yöntem olarak tavsiye edilmez. Dilim kenarlarında oluşacak normal ve kesme kuvvetleri bileşkesinin aynı hat üzerinde olması ve ϕ açısında etkidiği düşüncesi savunulmaktadır. Yöntemin metodolojisinde; ilk olarak şev hesaplamaları için ϕ , γ , c , r_u değerleri tespit edilir. Tespitin ardından bir güvenlik katsayısı öngörülür ve bu öngörülen değer için hesaplama işlemleri başlatılır. $c/(G_s * \gamma * H)$ değeri bulunur. Burada H değeri şev yüksekliğini, G_s ise güvenlik katsayısını temsil etmektedir.

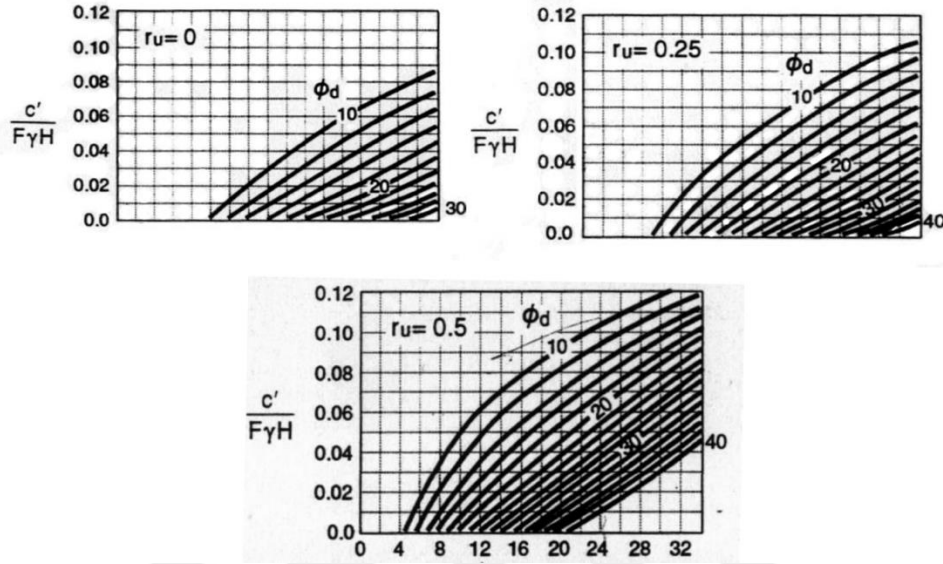


Şekil 3.8. Spencer metodunda kullanılan değerlerin bağlantısı

Kaynak: Bromhead, E.N. (1986)

$c/(G_s * \gamma * H)$ $r - \beta$ arasında ve $r_u - \phi_d$ arasındaki ilişki Şekil 3.8'te verilmiştir. ϕ_d değerinin bulunmasının ardından yeni güvenlik katsayısı değeri $\tan(\phi)/\tan(\phi_d)$ formülüyle elde edilir. Öngörülen güvenlik katsayısı ile yeni hesaplanan güvenlik

katsayısı birbirine eşit ise analiz sonlandırılır. Eşit olmadığı durumlarda ise eşit oluncaya kadar iterasyon gerçekleştirilir. Bu esnada bilgisayar algoritmalarından faydalanmak hesaplamaları hızlandıracaktır.



Şekil 3.9. Boşluk suyu basıncına göre Spencer abakları

Kaynak: Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S. ve Boyce G. M. (1996)

Farklı boşluk suyu basınç değerlerine sahip şevlerde yeni güvenlik katsayısı hesaplamalarında kullanılacak olan ϕ_d değerini bulmak için Spencer abağı Şekil 3.9'da verilmiştir.

$$\phi_d = \tan^{-1} \left[\frac{\tan(\phi)}{G_s} \right] \quad (3.13)$$

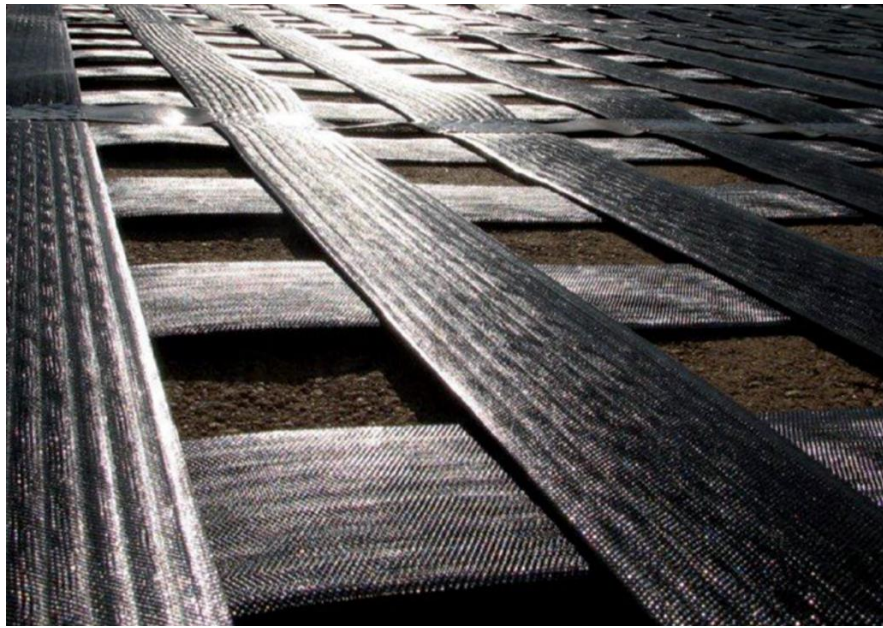
Yeni güvenlik katsayısı ile hesaplamalarda kullanılacak ϕ_d değerinin ilişkisi (3.13) denkleminde belirtilmiştir.

3.6. Uygun Analiz Yönteminin Seçilmesi

Bu tezin uygulama projesinde 26 metre yüksekliğinde 15 metre eninde ve 300 metre uzunluğunda toprakarme dolgu alanı oluşturulacaktır. Dolgu alanları kademe kademe oluşturulacağından, kademeler arasında geogrid donatılar kullanımına uygun olduğu anlaşılmıştır. Şevlerin dilimlere ayrılmasıyla, dilimlerin ağırlık merkezlerinin alt taban orta noktasına denk gelecek topoğrafik yapıya sahip olduğu görülmüştür. Oluşturulacak alan yeni bir dolgu alanı olacağından dolayı yeraltı su seviyesinde ani bir düşüş yaşanmayacağı ortaya çıkmaktadır. Bishop yönteminin uygunluğu açıktır.

4. GEOGRİD DONATILARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ ZEMİN

Gerek toprak eğimlerinin değiştirilmesi gerek mühendislik çalışmaları için gerekli olan dolgu ve yarma işlemlerinde karşılaşılan en büyük zorlukların başında stabilite gelmektedir. Belirli bir amaca hizmet edecek dolgu alanları, istenilen mimari görünüme ve istenilen stabilite analizlerine uygun olması için bazı takviyelere ihtiyaç duyabilmektedir. Oluşturulacak dolgu alanları bazı durumlarda bu takviyeler olmadan stabil halde duramazlar. Özellikle yüksek irtifaya sahip dolgu alanlarında, dolgu işlemleri kademeli olarak yapıldığından kademeler arasında sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Sismik hareketlerde kademeler arasında yüksek çekme kuvvetleri oluşarak sürtünme kuvvetini sönmlemektedir. Oluşan çekme kuvvetlerinin, sürtünme kuvvetinden daha büyük değerde olması stabilitenin bozulması anlamına gelmektedir. Çünkü kayma kuvveti, kaymaya karşı koyan kuvvetlere nazaran daha büyük olacaktır. İstenilen şev, stabil halde duramayarak kayacaktır. Stabilitenin doğal zemin yapısı ile engellenememesi durumda; kademeler arasına geogrid adı verilen donatılar yerleştirilmektedir. Yerleştirilen geogrid donatılar, kademeler arasında oluşan çekme kuvvetlerini taşıyarak doğal zemine ulaştırırlar. Geogrid donatıların çekme mukavemetinin yüksek olması tercih edilmektedir.



Şekil 4.1. Geogrid donatının zeminle etkileşimi

Geogrid donatılar güçlendirilecek zemine yatay şekilde serilirler (Şekil 4.1). Genellikle istinat duvarları betonarme olarak inşa edilirler fakat teknolojinin gelişmesi ve mühendislik hizmetlerinin büyümesiyle, betonarme istinat duvarlarında bazı sorunlar da oluşmaya başlamıştır. Örneğin betonarme perde yüksekliğinin 10 metreyi geçmesi, devrilme momentini karşılayabilmesi için büyük boyutlarda pabuç temellere ihtiyaç duyacaktır. Boyutları yüksek temel ve duvar gövdesi, ekonomik açıdan olumsuz etkiler yaratacaktır. Yüksekliğin 20 metreye veya 100 metreye ulaştığı durumlarda çok daha yüksek maliyetlerle karşılaşılabilmektedir. Baraj inşaatları dışında, geçirimsiz bir yüzey istenmiyorsa dolgu alanı oluşturmak mantıklı bir çözüm olacaktır. Betonarme istinat duvarı yerine, geogrid donatılarla güçlendirilmiş zeminin tercih edilmesi ekolojik dengeye de katkı sağlayacaktır. Betonarme duvar yüzeyleri bitkilendirilemezken, geogrid donatılarla güçlendirilmiş dolgu alanlarının yüzeyleri bitkilendirilebilmektedir.

Dolgu malzemeleri genellikle kayma kuvvetlerini taşıyamazlar. Topraklar nispeten düşük bir güce sahiptir, böylece bir yapı içinde ortaya çıkan tüm kuvvetleri taşıyamazlar (Jayswal, Malekwala ve Rautela, 2014). Kuvvetler, zemin kütlelerinin stabilitesinin bozulmasına ve şev arızasına neden olabilir (Uzuner, 2007). Toprağı geogrid donatı ile güçlendirmek taşıma kapasitesini artırır ve toprağın maruz kaldığı kesme kuvvetini azaltır (Ghazavi ve Lavasan, 2008). Geosentetik donatı kullanımı, taş sütunlarla toprak arasındaki sertlik farkından dolayı gerilmeyi topraktan zemine aktarır ve bu taş sütunlar büyük yer değiştirmeleri önleyebilir (Deb, Basudhar ve Chandra, 2007). Bu sistem, yüksek irtifaya sahip dolgu alanlarında ve eğitim açısı fazla olan şev alanlarında stabiliteyi sağlamak için gerçekleştirilir. 5. Avrupa Geosentetik Kongresi (2012)'sinde dolguyu sıkıştırmanın önemine vurgu yapılmıştır. Yüksek dolgu alanların inşa edilmesi önemli bir beceri gerektirir ve kritik noktalardan birisi dolgunun yerleştirilmesiyle sıkıştırılmasıdır. Nem içeriği belirli bir aralıkta olmalı ve dolgu malzemesi bu nem içeriği ile uygun bir durumda olmalıdır (Gharpure, Kumar ve Scotto, 2012). Konu üzerinde birçok çalışma gerçekleştirilmiş fakat bazı durumlar ele alınmamıştır. Henüz güçlendirilmiş toprak duvar sistemleriyle geogrid gerilme yükünün dağılımı üzerinde etkisini doğrudan değerlendiren bir çalışma bulunmamaktadır (Hatami, Bathurst ve Di Pietro, 2001). Geogrid donatılarının gerilime etkisi incelenmelidir. Bu çalışma, geogrid donatıların gerilime etkisi üzerinde incelemeler ve tespitlerde bulunmuştur.

Karpurapu ve Bathurst (1995) sonlu elemanlar metodunu kullanarak yüksek irtifaya sahip dolgu alanlarını stabil halde tutmayı denediler. Hatami, Bathurst, Di Pietro ve Bianco (2000) sayısal modellemelerini geliştirdiler. Kovacevic, Stanic ve Szavits-Nossan (2001) dolgu çalışmalarında bazı deformasyonların olabileceğini ortaya koyduktan sonra Rimoldi ve Intra (2009) için statik hesaplamalar yapmıştır. Zeminin sabit kalamayacağı durumlarda geosentetik donatıların etkileşimi Palmeira (2009) tarafından incelenmiştir. ASTM D1557 standardında sıkıştırma koşulları ve limit değerleri belirlenmiştir. BS 8006-1:2010 standardında güçlendirilmiş zeminler için uygulama koşulları vurgulanmıştır. Sistemin mimarları Vicari ve Darache (2009) modelleme tekniklerini geliştirmiştir. Boğaziçi Üniversitesinden Güler (2016) terramesh duvar yapısı ile ilgili geoteknik rapor hazırlamıştır. Yapılan birçok çalışmada statik hesaplamalar gerçekleştirilmiş, geogrid donatıların çekme dayanım testleri yapılmış ve modelleme teknikleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmalar neticesinde sıkıştırma konusunda Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³(2,700 kN-m/m³)) ASTM D1557 standardı oluşturulmuştur. Yapısal dolguların minimum sıkışma oranı %95 olmalıdır (ASTM D1557, 2012). Bu standartta kademelerde en az %95 sıkışma oranının sağlanması konusunda vurgu yapılmış fakat %95 sıkışma sağlanamaması durumunda nasıl bir yöntem izleneceği belirtilmemiştir. Neredeyse bundan önce yapılan tüm sayısal modellemede, toprak sıkışmasının güçlendirilmiş toprak duvar davranışına etkisi göz ardı edilmiştir (Bathurst ve Hatami, 2005). Terramesh ünitesine 0,5m mesafede silindir araç çalıştırılmadığından, el ile sıkıştırma sağlanabilir. Duvara bakan yüzeyin hemen arkasındaki 0,5m mesafe, sert bir çelik plaka kullanılarak %95 sıkışma elle sağlanmıştır (Nernheim ve diğerleri, 2009). Farklı sıkışma oranlarının statik hesaplarla ilişkilendirilerek nasıl sonuçlar vereceği konusu irdelenmelidir. Güçlendirilmiş toprak duvarlarda, geogrid donatıların uzunluğu sayısal sonuçlarla elde edilmiştir (Karpurapu ve Bathurst, 1995). Sayısal analizle ilgili toprak-geosentetik kesme ara yüzünün, daha gelişmiş test teknikleri kullanmadıkça değerlendirmesi zordur (Palmeira, 2009). Bunun için kullanılan deneyler ve yöntemleri sürekli bir geliştirme halinde olmalıdır. Geogrid donatılarla güçlendirilmiş zeminlerin faydalı ömrü, donatı kullanılmadan oluşturulan dolgu alanlarına göre daha uzundur. Özellikle depremden dolayı maruz kalınan sismik kuvvetleri geogrid donatılar taşıyacağından uzun süre stabil halde kalabilmektedirler.

4.1. Çamlıca Camii Çevresi

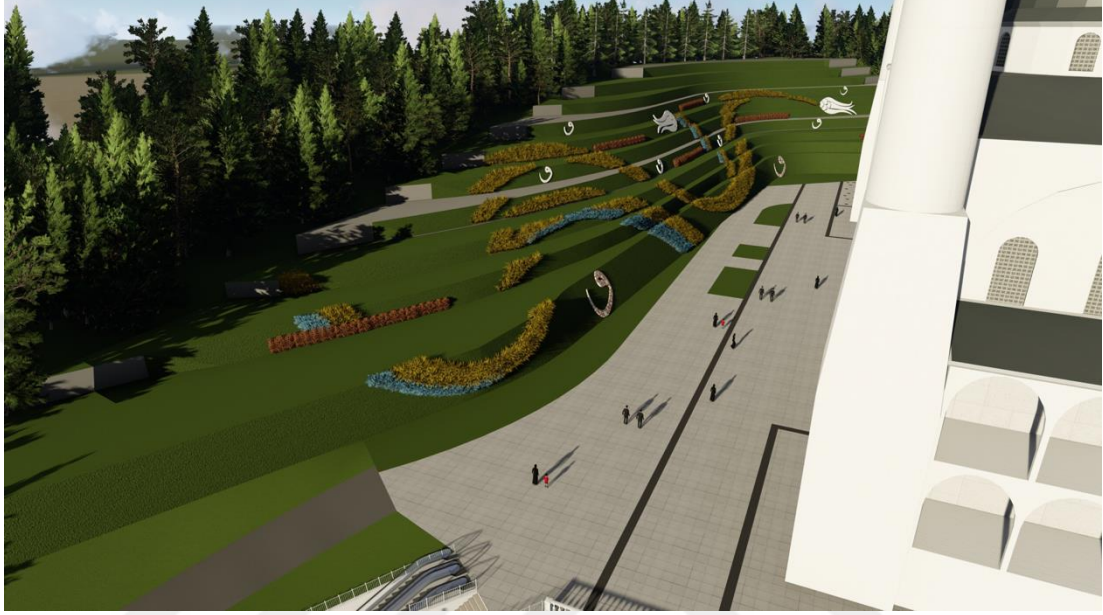
Çamlıca Camii İstanbul'un Üsküdar ilçesinde bulunmaktadır. 2013 yılında inşaatına başlanan ve 2019 yılında tamamlanan Çamlıca Camii çevresinde, 26 metre yükseklikte bir duvar ihtiyacı oluşmuştur (Şekil 4.2). Duvarın inşa edilmemesi durumunda, şev açısı 85° olan yamaçtan, her yağışta toprak kaymaları oluşacak ve camii taşıyıcılarına zarar vererek tehlikeli durum oluşturacaktır.



Şekil 4.2. Çamlıca Camii çevresinde oluşturulacak dolgu alanı

Projelendirme aşamasında böyle bir yükseklikte duvarın betonarme yapılması, olumlu ve olumsuz yanlarıyla mercek altına alınmıştır. Betonarme sisteminin seçilmesi kararı, beraberinde birçok sorunu da getirmektedir. İlk karşılaşılan sorunlardan birisi, 26 metre yüksekliğe sahip betonarme istinat yapısının temel kalınlığı/genişliği ile ilgili olmuştur. Yapılan analizler sonucunda çok büyük boyutların meydana geldiği, yüksek miktarda beton ve demir malzemesinin gerekeceği, bunun da ekonomik olarak tercih edilmemesi gerektiğini ortaya koymuştur. Ekonomiden sonraki en büyük sorunlardan birisi, alanın düzlemsel olmaması olmuştur. Perde duvarın gerektiği alan eğrisel olarak ilerlemekte ve bu eğrinin betonarme kalıplarına nasıl uygulanacağı konusu da yüksek maliyetlere yol açmaktadır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, betonarme istinat yapısından vazgeçilmiştir. Camii çevresine hem ekolojiyi etkilemeyecek veya olumlu yönde etkileyecek hem yeşil alan miktarını arttıracak çözümler aranmaya başlanmıştır. Çözüm ararken göz önünde bulundurulacak diğer bir husus ise uygulanabilirliği

olacaktır. Geosentetik donatılar kullanarak, 26 metre yüksekliğe sahip dolgu alanının oluşturulup oluşturulamayacağı konusunda araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Yapılan analiz sonucunda 26 metre yükseklikte bir dolgu alanı, yaklaşık yüksekliği 2,6 metre olan 10 katmandan oluşacak ve kademeler arasında geogrid donatılar kullanılmak şartıyla uygun bulunmuştur.



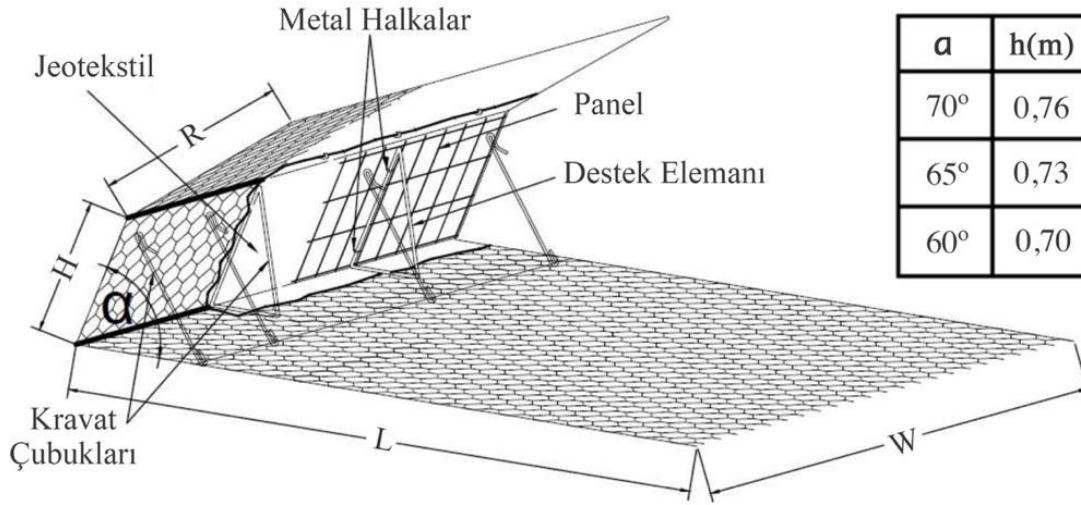
Şekil 4.3. Uygulama sonrası elde edilmesi planlanan mimari görünüm

Gerçekleştirilen fizibilite ve analiz çalışmaları neticesinde Şekil 4.3'deki mimari görünümün elde edilmesi kararlaştırılmıştır. Mühendislik sorunları tek tek aşılmış, analizler uygun sonuçlar vermiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Fakat iklim değişikliği konusu gündeme gelmemiş ve dikkatlerden kaçmıştır.

4.2. Terramesh Duvar Sistemi Uygulama Esasları

Terramesh, sürtünme özelliğine sahip toprak ile çelik tel kafes olarak imal edilmiş takviyelerin etkileşimi sonucu elde edilen eğimli ve takviyeli zemin yapısıdır. Dolayısı ile kademeli olarak gerçekleştirilen terramesh sistemi, toprakarme duvar olarak nitelendirilebilir. Dokuma tel ünitesi, tel örgü paneli, dirsek ve kravat çubuklarından oluşan terramesh duvar sistemlerinde ağırlıktan dolayı oluşan gerilme kuvvetleri, sürtünme ile donatılara aktarılır. Bu ürünler sadece stabilite, dayanıklılık ve uygun maliyet açısından değil aynı zamanda çevre dostu çözümler açısından iyi bir deneyim sağlamıştır (Elvis ve diğerleri, 2018). Kademe donatılarının birbirine bindirilmesi ile gerilme kuvvetleri temele aktarıldıktan sonra zemin taşıma gücü dikkate alınarak

sönümlenir. Bu sistem, yüksek irtifaya sahip dolgu bölgelerinde ve eğim açısı fazla olan şev bölgelerde stabilite sağlamak amacıyla gerçekleştirilir.



Şekil 4.4. Terramesh duvar sistemi ve elemanları

Geosentetik donatılı istinat yapıları terramesh sistem duvar, yeşil terramesh Duvar, bloklü duvar, prekast panelli duvar ve bohçalama duvar olarak 5 grupta incelenebilir. Gabion duvar sistemi ise ağırlık tipi istinat yapıları sınıfında incelenmelidir. Stabil olmayan zemin, deprem ve yoğun yağış altındaki davranışları göz önünde bulundurularak daha stabil hale getirilmek istenmiştir. Terramesh proje çalışmaları esnasında, harita alımları birbirine yakın noktaların koordinatları kayıt altına alınmış ve kot değerleri değerlendirilmek üzere belirlenmiştir. Sondaj ve zemin etüt çalışmaları sonucunda yaklaşık kübaj hesabı 65.000 m³ toprak bölgenin stabil olmadığı anlaşılmış olup bu bölgenin stabilizasyonu sağlamak için kazı yapılmasına karar verilmiştir. Terramesh ile ilgili Boğaziçi Üniversitesinin 22.04.2016 tarihli raporunda Analizler basitleştirilmiş Bishop yöntemi ve dairesel kayma daireleri kullanılarak yapılmıştır. Limit denge metoduna göre kritik yüzey analizleri otomatik olarak oluşturulan potansiyel kayma yüzeylerinde kontrol edilmektedir. (Güler, 2016) denilmektedir. Toprak stabilizasyonu sağlanamayan ve gevşek zemin yapılarını iyileştirmek için her türlü inşaa yapılarının stabilitesini sağlamak amacıyla terramesh duvar sistemi uygulanabilmektedir. Özellikle yüksek irtifaya sahip istinat duvarı ihtiyacını karşılamaktadır. Fazla yüksekliğe sahip istinat duvarları veya betonarme perde duvarlarda kayma ve dönme momentleri yüksek olacağından, duvar kesitleri büyümektedir. Bazı durumlarda duvar kesitleri imal edilmemekte, burulma/burkulma veya kayma momentleri karşılanamadığından betonarme veya harç kullanılan

imalatlardan kaçınılmaktadır. Yeşil terramesh duvar sistemi uygulanmaya başlanmadan, temelin oturacağı zemin balçıklardan arındırılmalı ve gerekli hallerde zemin iyileştirilmesi yapılmalıdır. Terramesh statik projeleri MacSTARS programı ile çözümlenmektedir. Duvarın oturacağı zeminin ve her kademenin en az %95 sıkışma oranına sahip olması baz alınmalıdır. Dolayısıyla duvarın oturacağı zemin ve her kademe de proktor deneyi tekrarlanarak değerlendirilmesi gerekmektedir. %94 ve daha düşük seviye sıkışma oranına sahip zemine terramesh sistemi inşa edilmemeli (zemin iyileştirilmeli), kademelerin herhangi birinde bu değerin sağlanamaması halinde tekrar sıkılaştırma sağlanmalıdır.



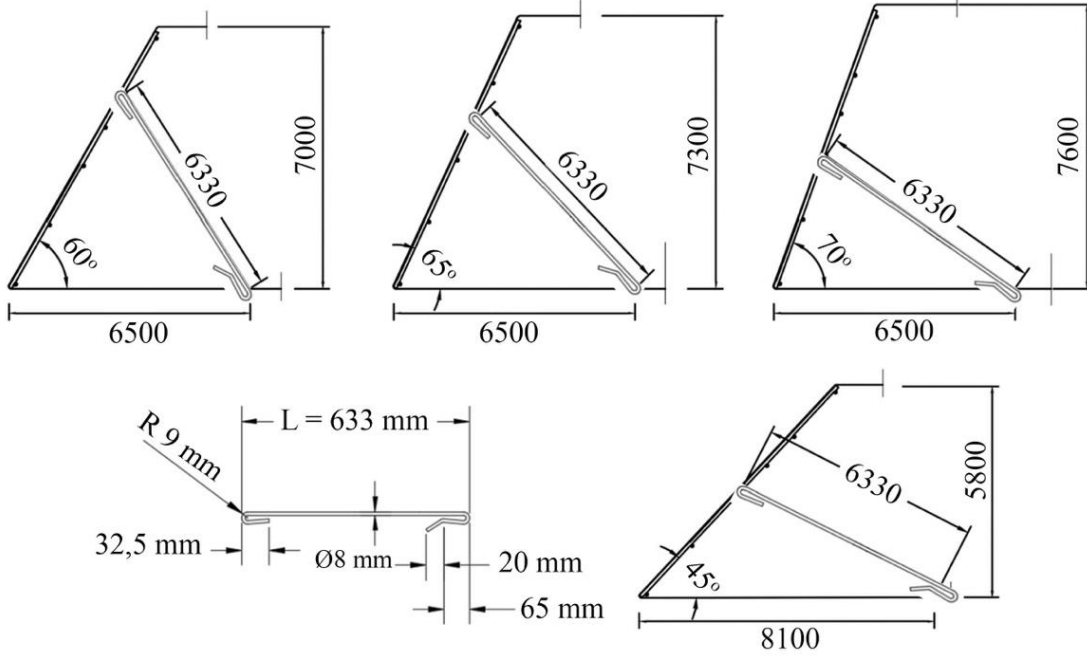
Şekil 4.5. Geogrid donatılarla güçlendirilmiş zemin katmanları

Sistemin inşa edilebilmesi için yeşil terramesh ünitesi, eğimli yüzeye rijitlik kazandıracak çelik hasır, geogrid donatı ve dolgu malzemesi gerekmektedir (Şekil 4.5). Jeogrid(geogrid) bindirme genişliğinin en az 10 cm olması gerekmektedir.

4.2.1. Yeşil terramesh ünitesi

Yeşil terramesh ünitesi görünür yüzey bölgesinde rijitliği sağlayan, dolgu alanına istenilen açıyı veren ve geogrid donatılarla birlikte çalışan bir yapı malzemesidir. Ünite panel çelik hasır, destek çubukları, polivinilklorür (PVC) kaplı galvaniz kafes ve nebati toprağın akışını engelleyen keçe olmak üzere 4 temel unsurdan meydana gelmektedir. Her ünite 3 m genişliğinde, 2 üçgen destek elemanı ve 4 kravat destek

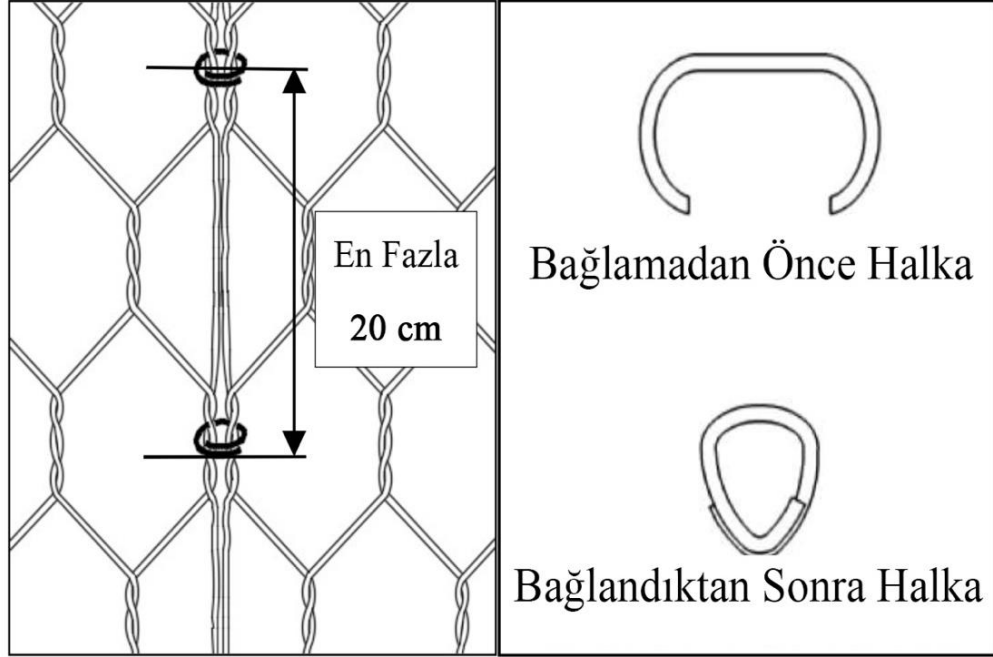
çubuğuyla desteklenmektedir. Panel çelik hasır (Ø8), yüzey bölgesinde rijitlik sağlamakla birlikte keçeyle destek olarak nebati toprak akışını da engellemeye katkı sağlamaktadır. Destek çubukları, ünite açısını ayarlamak için üçgen prizma olarak tasarlanır ve montajı yapılarak istenilen açı değeri sağlanmaktadır. Terramesh projelerinde genellikle 70°, 65°, 60° ve 45° açılar tercih edilmektedir.



Şekil 4.6. Kravat destek çubukları ve ünite açıları

Polivinilklorür (PVC) kaplı galvaniz kafes, ünitenin en ön kısmına yerleştirilir. Nebati toprağın akışını engelleyen keçeyi sabitleme, kademeler arası sürtünme kuvveti oluşturma ve kademelerin tek parça halinde çalışmasını sağlamaktadır. Ünite genişliği 3 m olduğundan, ikinci ünite yerleştirildiğinde kafeslerin birlikte çalışmasını sağlamak için bağlantı halkaları kullanılmaktadır. Bağlantı halkaları en fazla 20 cm mesafelerle montajlanmalı, kullanılan malzeme olarak galmac veya polimer kaplamalı bağlama teli tercih edilmelidir. Gerçekleştirilen projelerde metrekare başına ortalama 15-20 adet montaj halkası kullanılmıştır. Halkaların montajı sırasında elle bağlama tabancalarının yanında, 6 bar basınçlı hava kompresörüne bağlanarak da montajlanabilir. Pnömatik tabancaların kullanılması durumlarında hava borusu en fazla Ø10mm ve en fazla uzunluğu 30m olarak sınırlandırılmalıdır. Değerlerin sağlanamaması halinde pnömatik tabanca, yeterli hava basıncına sahip olmadığından halkaların montajı sırasında güç kaybından birleşmeyi sağlayamayacaktır. Galvaniz kafeslerin montajı sırasında açı kontrolleri yapılmalıdır. Açı kontrollerinin hatalı

yapılması, üst katmanlara çıkıldığında eğim açılarındaki hataları düzeltmek için alt katmanların sökülmesi gerekecek, projeye mali yük eklenecektir.



Şekil 4.7. Ünitenin halkalarla birbirine bağlanması

Galvaniz kafes tel sürekli güneş ışınlarına maruz kalacağından ve üzerine ekilecek olan bitkilerin sulama ihtiyacını karşılanırken su ile temas edeceğinden, korozyona uğraması olağandır. Korozyona uğramaması ve dayanıklı olması için çözüm bulunmalıdır. Örneğin polivinilklorür kaplama yapılması çözüm yollarından birisi olabilir. PVC kaplama sayesinde galvaniz kafesler daha uzun ömürlü olacaktır. Böylelikle proje ömrü de uzayacaktır. Tel kaplama çekme gerilmesi 35-55 kg/mm² aralığında olmalıdır (TS EN 10244-2, 2014). Kaplama çelik tel özellikleri TS EN 10244-2 standardında belirtilmiştir. Galvaniz tele bitişik halde serilen gözenekli keçenin amacı nebati toprağın akmasını engellemektir. Bitkilerin yetişmesi için eğimli yüzeyden dolgu alanına doğru en az 30 cm nebati toprak sıkıştırılmalıdır. Nebati toprağın serilmemesi durumunda, bitkiler nitelikli dolgu içerisinde yaşamını sürdüremeyecektir. Nebati toprak ile yüzeyde bulunacak çim, çalı veya bitki çeşitleri yaşamlarını devam ettirebilecek ve projelendirme çalışmalarında planlanan görüntü, daha net şekilde elde edilebilecektir. Sistem üzerine dikilecek bitkiler; mimari görünümün sağlanabilmesi için peyzaj mimarlarınca belirlenebilir fakat dikilecek bitkilerin ağırlıkları stabilite analizlerinde dikkate alınmalıdır. Bu nedenle projelendirme aşamasında bitkilere karar vermek zorunludur. Sonradan ortaya çıkabilecek bitki değişikliği kararı stabiliteyi bozabilecektir.



Şekil 4.8. Pnömatik tabanca ile halka birleştirme işlemi

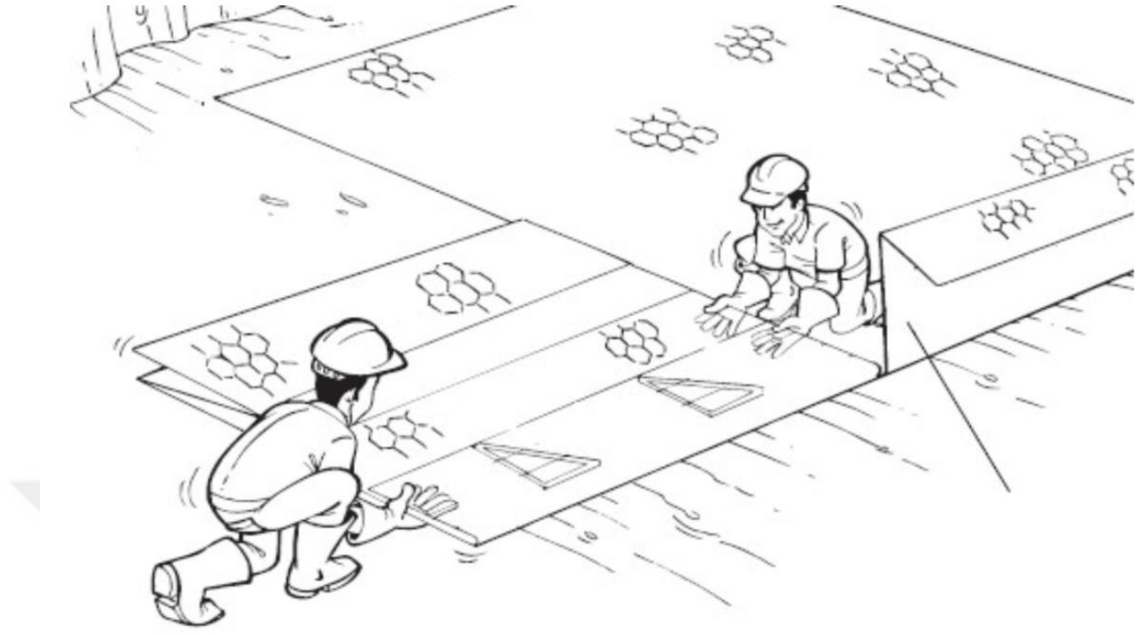
Yeşil terramesh üniteleri fabrika veya atölyelerde oluşturulur. Tek parça halinde katlanarak şantiye alanına gönderilir. Şantiye alanına inen üniteler iş makineleri veya işçiler tarafından montajı yapılacak bölgeye götürülür. Önceden terramesh konusunda eğitim almış kalifiye işçiler, üniteleri tek parça halinden eğimi ayarlayarak açmaya başlar.



Şekil 4.9. Kapalı halde şantiyeye gelen terramesh üniteleri

Kapalı halde montaj noktasına gelen ünite kanatları işçi eliyle açılır. Ünitenin zemin ile temas halindeki bölgesinden destek alınarak, eğimli yan yüzeyler belirtilen açıda

uygun şekilde montajlanır. Montaj sırasında açığı ayarlayabilmek için üçgen destek elemanları veya kravat çubukları açıları değiştirilmek suretiyle faydalanılır.



Şekil 4.10. Ünite kanatlarının açılması işlemi

Terramesh üniteleri açıldıktan sonra halka ile birleştirme işlemi yapılır. Bu adım, iki veya daha fazla terramesh ünitesinin birlikte çalışabilmesi için önemlidir. İki ayrı terramesh ünitesinin aynı anda çalışabilmesi için eğim açılarının da aynı olması gerekmektedir. Bu tez çalışmasının uygulamasında ünite açısı 70° olarak belirlenmiş ve uygulaması yapılmıştır.

4.2.2. Geogrid donatısı

Projelendirilme sırasında kademelerin arasında sürtünme kuvveti oluşturmak amacıyla geogrid donatılar kullanılmaktadır. Projenin statik durumuna ve hesaplama sonuçlarına göre bazı bölgelerde geogrid donatılarına ihtiyaç duyulabildiği gibi bazı bölgelerde sadece toprak ile dolgu alanı inşa edilebilmektedir. Bunun anlaşılabilmesi için gerekli stabilite analizlerinin tamamlanması gerekmektedir. Jeogrid donatılar, dolgu işlemi tamamlandıktan sonra %95 veya daha fazla sıkışma sağlandığı takdirde döşenebilmektedir. Yapısal dolgunun sıkışması minimum ≥ 95 olmalıdır (ASTM D1557, 2012).



Şekil 4.11. Geogrid donatılarının yerleştirilmesi işlemi

Optimum donatı genişliği, geogrid donatı genişliğinin yaklaşık 4 katıdır (Latha ve Somwanshi, 2009). Geogrid donatı yerleşimleri, dolgu yüksekliği arttıkça daha çok enerji gerektirecektir. Çünkü yükseklik değeri arttıkça insan gücü ile donatıların taşınması zorlaşacaktır. Bunun için iş programı yapılırken, insan gücü ile taşınamayacak malzemeler için vinç yardımı göz önüne alınmalıdır. Aksi halde iş programının akması kaçınılmaz olacaktır.

4.3. Terrameshte Depremsellik ve Varsayımlar

Bilindiği üzere depremler ivme (yatay ve düşey doğrultularda) yaratarak, kütlelere kuvvetler uygularlar. Bu kuvvetler, zemin kitlesinin stabilitesini bozabilirler ve şev kaymalarına yol açabilirler (Uzuner, 2007). EN 1998-4:2005 normlarına göre depremsellik basitleştirilmiş pseudo-statik analiz metoduyla yapılmaktadır. Kütlelere etkiyen düşey ve yatay sismik katsayıları tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{PGA}{r} = 0,20 g \quad (4.1)$$

$$k_v = \frac{a k_h}{2} = \pm 0,10 g \quad (4.2)$$

Donatılı zemin duvarlarda $300 * a * S(\text{mm})$ mertebesinde deplasmana müsaade edilebilen duvarlarda ağırlık yapısı r katsayısı 2 olarak alınır (EN 1998-5:2004, 2004). Çamlıca Camii'nin bulunduğu Üsküdar ilçesi Ferah mahallesi 1. derece deprem bölgesinde bulunduğundan deprem yönetmeliği gereği etkin yer ivmesi katsayısı A_0 oranı 0,4 olarak belirlenmiştir. Polimer şerit donatılı istinat duvarları tasarımı BS 8006-1:2010 standardına göre uzun dönemdeki tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Kısmi güvenlik katsayıları BS 8006-1:2010 standardında tablo halinde sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Duvar Yükleme Durumlarına Göre Kısmi Güvenlik Faktörleri

Efektler	Kombinasyonlar		
	A	B	C
Güçlendirilmiş Toprak Gövdesinin Kütlesi	$f_{fs}=1.5$	$f_{fs}=1.0$	$f_{fs}=1.0$
Takviyeli Toprak Duvar Üstünde Dolgu Kütlesi	$f_{fs}=1.5$	$f_{fs}=1.0$	$f_{fs}=1.0$
Yapının Arkasındaki Toprak Basıncı	$f_{fs}=1.5$	$f_{fs}=1.5$	$f_{fs}=1.0$
Trafik Yüğü: Güçlendirilmiş Toprak Bloğu	$f_q= 1.5$	$f_q=0$	$f_q=0$
Takviyeli Toprak Bloğunun Arkasında	$f_q= 1.5$	$f_q=1.5$	$f_q=0$

Kaynak: BS 8006-1:2010+A1:2016 (2016)

Çizelge 4.1'de belirtilen kombinasyon özellikleri şöyle sıralanabilir. Kombinasyon A, tüm yüklerin en yüksek değerini baz alır ve en yüksek donatı gerilmeleri ve taşıma gücü hesaplanır. Kombinasyon B, genellikle çekme direncinin hesaplandığı kombinasyondur. Duvarı devirmeye yönelik olan yüklerin en yüksek değerlerini duvarın kendi en düşük kütlesi ile karşılamaya çalışır. Bu sebeple tabanda kayma tahkiki için en kötü senaryoyu belirler, donatıların çekme mukavemetleri ve sıyrılmaya tahkikleri belirlenir. Kombinasyon C, ölü yüklerin kısmi güvenlik faktörleri olmadan analize katar. C kombinasyonu kısa dönem kontrollerinde temeldeki oturumları hesaplamak için kullanılır. Kombinasyonlar BS 8006-1:2010+A1:2016 standardında sunulmuştur. Yeşil terramesh projelerinde nebati toprak üzerine ekilecek bitkiler dört mevsim yeşil kalan bitkilerden seçilirse, mevsim şartlarından etkilenmeksizin görüntüsünde değişiklik yaşanmayacaktır. Projelendirme çalışmalarının tamamlanabilmesi için tasarımda bazı varsayımların yapılması gerekmektedir. Tasarım aşamasında yapılan varsayımlar Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tasarımda Yapılan Varsayımlar

Yapılan Varsayım Adı	Varsayım Değeri
Önem Faktörü	I = 1
Pik Yer İvmesi	PGA = 0.4 g
Tasarım Ömrü	75 Yıl
Tasarım Sıcaklığı	20 °C
Yapısal Dolgu PH Değeri	4.0 – 9.0

Tasarım çekme kuvveti aşağıdaki formülden hesaplanabilmektedir.

$$Td = \frac{Tb}{fm} \quad (4.3)$$

Formülde Td tasarım çekme kuvvetini, Tb nominal çekme kuvvetini ve fm faktörü temsil etmektedir. %2 uzama gösteren geogrid donatılarda çekme mukavemeti 46,30 kN/m, %5 uzama gösteren donatılarda ise 110,60 kN/m çekme mukavemeti kabul edilmektedir. Geogrid donatılar için uzama güvenlik katsayısı ise 1,38 olarak kabul edilmektedir. İlave sürşarj yüklerinin bulunmadığı, birim ağırlığın 20 kN/m³, içsel sürtünme açısının 35°, kohezyonun 5 kPa stabilize dolgu özellikleri ve yeşil terramesh sisteminin oturacağı zemin için birim ağırlık 18 kN/m³, içsel sürtünme açısı 40°, kohezyon 20 kPa varsayım olarak kabul edilmiştir. Çamlıca camii de uygulanan terramesh yüksekliği 26 metre olup 10 kademe olarak projelendirilmiştir. Her kademe kendi içerisinde 70 cm kalınlığında katmanlardan meydana gelmektedir. Toplam yüksekliğin 26,00 metre olduğu düşünüldüğünde sistemin yaklaşık olarak 38 katmandan oluştuğu anlaşılabilmektedir. Bu da 38 defa kompaksiyon işleminin uygulanacağını göstermektedir. Kompaksiyon işlemlerinin her katman sıkıştırıldıktan sonra tekrarlanması gerekmektedir. Yeterli sıkışmanın sağlanamaması durumunda sismik kuvvetlerin etki etmesi, stabilitenin bozulmasına neden olacaktır.

5. DENEY PROGRAMLARI

Bu tez çalışmasının amacına ulaşması için birçok deney gerçekleştirilmiştir. Dolgu malzemesinin elek analizi, kompaksiyon deneyi, uygulama projesinde kullanılan geogrid donatılarının çekme deney sonuçları 5.1 ve 5.2 bölümlerinde sunulmuştur. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçları baz alınarak stabilite analizi gerçekleştirilecektir. Bu sebeple deney sonuçları ile stabilite analizleri bağımlı işler olarak nitelendirilebilir. Sıkıştırma deneyince istenilen değer elde edilemeyince, aynı deneylerin tekrarlanması gerekecektir.

5.1. Dolgu Malzemesi Elek Analizi ve Sıkıştırma Deneyi

Özel geoteknik çalışmaların yürütülmesi için zemin özellikleri EN 14475 standardında belirlemiştir. Bu standarda göre kademeli dolgularda minimum sıkıştırma oranı %95 olmalıdır. Sıkıştırma oranı dolgu kademeleri için hayati önem taşımaktadır. İstenilen sıkıştırma oranının sağlanmadığı durumlarda ve su drenajının tam anlamıyla yapılmadığı durumlarda toprak akımlarının meydana geldiği gözlemlenmiştir. Geosentetik takviyeli zeminlerin tasarımında uygun drenaj önlemleri alınmalıdır (Abu-Farsakh ve diğerleri, 2007). Akmanın olduğu boşluğa giren sular stabiliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Boşlukları dolduran su, aktif basınçtan bağımsız olarak istinat duvarına baskı yapar (Okman, 1998). Toprak basıncı sadece geogrid donatıya veya dolgu malzemesi özelliklerine bağlı değildir. Yanal toprak basınçları sadece donatı sağlamlığına değil, dikey boşlukları, dayanma basıncı, dayanma yerlerine ve dayanma genişliğine de bağlıdır (Ambauen ve diğerleri, 2015). İlk ünite üzerine yapılacak dolgu malzemesinin tabaka kalınlığı önemlidir. 70 cm kalınlık tek seferde sıkıştırıldığında yeterli düzeyde sıkıştırma sağlanamayacağı öngörüsüne varılmış ve katmanlar 25 santimetre yüksekliğine ulaştığında sıkıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Sıkıştırma işlemi titreşimli silindir ve el kompaktörü ile sağlanmıştır. EN 14475 numaralı özel geoteknik çalışmalar standardında belirtilen %95 sıkıştırma oranının sağlanamadığı durumlarda, dinamik kompaksiyon yöntemi kullanılarak istenilen sıkıştırma oranı sağlamaya çalışılmıştır. Sıkıştırma oranını etkileyen en önemli faktörlerin başında

gradasyon özellikleri gelmektedir. İstenilen sıkışma oranını sağlamak için en uygun dolgu malzemesi gradasyon özellikleri Çizelge 5.1’de belirtilmiştir. Elek analizi, dane boyutu özelliklerini belirlemek üzere uluslararası geçerlilik kazanmış bir analiz yöntemidir.

Çizelge 5.1. Dolgu malzemesi gradasyon özellikleri

Elek Boyutu (mm)	% Geçen
125	100
75	85 – 100
12.5	25 – 100
2 (No.10)	15 – 100
0.59 (No.30)	10 – 65
0.075 (No.200)	< 15

Dolgu malzemesinin c_u değeri 5’ten büyük ve plastisite indisi PI 6’dan küçük olarak dikkate alınmıştır. Deney sonuçları incelenirken bazı kademelerde %95 sıkışma oranının sağlanamadığı ortaya çıkmıştır. İstenilen sıkışma oranı sağlanamadığından imalata ara verilmiş ve vibrasyonlu silindirler tekrar dolgu üzerinde sıkıştırma yapmıştır. Sıkışma küçük bir oranda yükselmiş fakat yine istenilen değer elde edilememiştir. Dinamik kompaksiyon yoluna başvurulmuş ve istenilen değerler ancak dinamik kompaksiyon yöntemi ile elde edilebilmiştir.

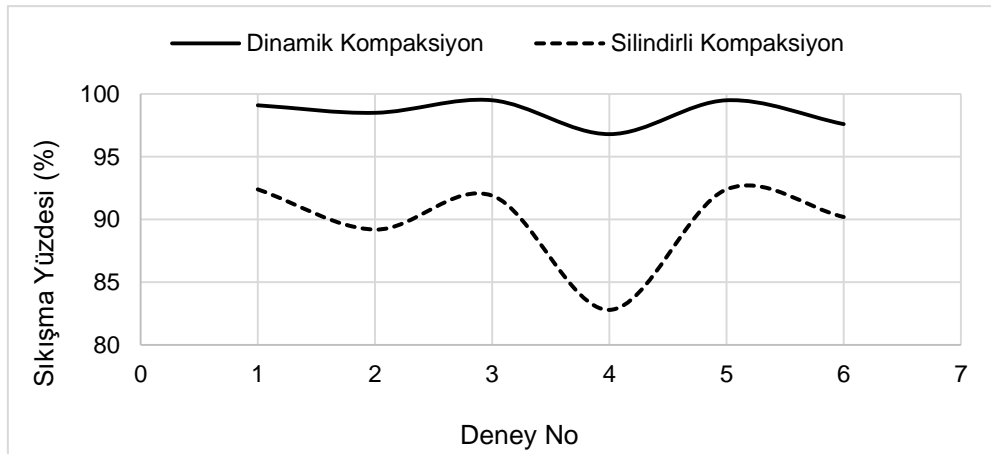
Çizelge 5.1’de belirtilen özelliklerde dolgu zemin malzemesi belirlenmiş ve imalat aşamasına geçilmesinde bir engel kalmamıştır. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)) standardında dolgu malzemesinin nasıl deneylerden geçmesini belirlemektedir. Malzeme gradasyonu belirlendikten sonra dolgu işlemi başlatılarak sıkıştırılmıştır. Deney iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk deney sonucu titreşimli silindir ile sıkışma işlemine tabi tutulduktan sonra yapılmıştır. Vibrasyonlu silindir ile sıkıştırma işlemi gerçekleştirildikten sonra istenilen %95 sıkışma oranının sağlanamamıştır. İkinci deney sonucu ise dinamik kompaksiyon işlemi uygulandıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Sıkışma oranının %95 veya daha üzeri bir değere çıkması için dinamik kompaksiyon metodu uygulanmıştır. Dinamik kompaksiyon, bir yükün belirli bir yükseklikten bırakılarak zeminin daha fazla sıkışmasını sağlamak amacıyla

gerçekleştirilir. Dinamik kompaksiyon etki derinliği, darbe başına verilen enerji ile doğru orantılıdır.

Çizelge 5.2. Nükleer metotla gerçekleştirilen zemin deney sonuçları

Deney No	1	2	3	4	5	6
Tabaka No	210	210	210+35	210+35	210+70	210+70
Yaş Yoğunluk (kg/m ³)	2398	2372	2384	2322	2394	2355
Kuru Yoğunluk (kg/m ³)	2255	2242	2264	2203	2263	2220
Rutubet Miktarı (kg/m ³)	143	130	120	119	131	135
Rutubet Yüzdesi	%6,3	%5,8	%5,3	%5,4	%5,8	%6,1
Optimum Rutubet	%6,4	%6,4	%6,4	%6,4	%6,4	%6,4
Maksimum Kuru Yoğunluk	2275 kg/m ³	2275 kg/m ³	2275 kg/m ³	2275 kg/m ³	2275 kg/m ³	2275 kg/m ³
Sıkışma Yüzdesi	%92,4	%89,2	%91,9	%82,8	%92,4	%90,2
Dinamik Kompaksiyon Sıkışma Yüzdesi	%99,1	%98,5	%99,5	%96,8	%99,5	%97,6

Dinamik kompaksiyon deney sonuçları çizelge 5.2’de verilmiş ve titreşimli kompaksiyon ile Şekil 5.1’de karşılaştırılmıştır. Önce silindirli araç ile yapılan sıkıştırma sonuçları kayıt altına alınmış ve dinamik kompaksiyon yöntemi ile tekrar sıkıştırılmıştır. Dinamik kompaksiyon, vinç yardımı ile bir yükü belirli yüksekliğe kadar çıkarılarak serbest bırakılması yöntemidir.



Şekil 5.1. Sıkıştırma deney sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 5.1’de elde edilen deney sonuçlarına göre silindirik kompaksiyon ile yapılan sıkıştırma sonucunda %95 sıkışmanın elde edilemediği görülmüş ve dinamik kompaksiyon ile istenilen değerin üzerine çıkmıştır. Kullanılan dolgu malzemesinin Çizelge 5.1’de belirtilen özelliklere uygun halde olup olmadığını kontrol etmek için gerçekleştirilen elek analizi sonuçları Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de verilmiştir. Aynı ayrı değerlendirilecek olan bu numuneler, tez çalışmasının uygulama projesinde kullanılacak olan dolgu malzemesinin seçilmesinin temelini oluşturacaktır. Gradasyon özellikleri belirlendikten sonra şartlara uygunluğu kontrol edilecektir. Zemin malzemesi seçilirken sıkışma özelliği de dikkate alınmalıdır. En düşük kuvvete maruz kalarak çok sıkışabilen malzemelerin tercih edilmesi olumlu sonuçlar vermektedir. Düzgün bir sıkışma için tabaka kalınlıklarının değiştirilebileceği unutulmamalıdır. EN 14475 numaralı standart, tabakanın hangi yükseklik değerine çıktığında sıkıştırılması gerektiği konusunda özellik belirtmemiştir.

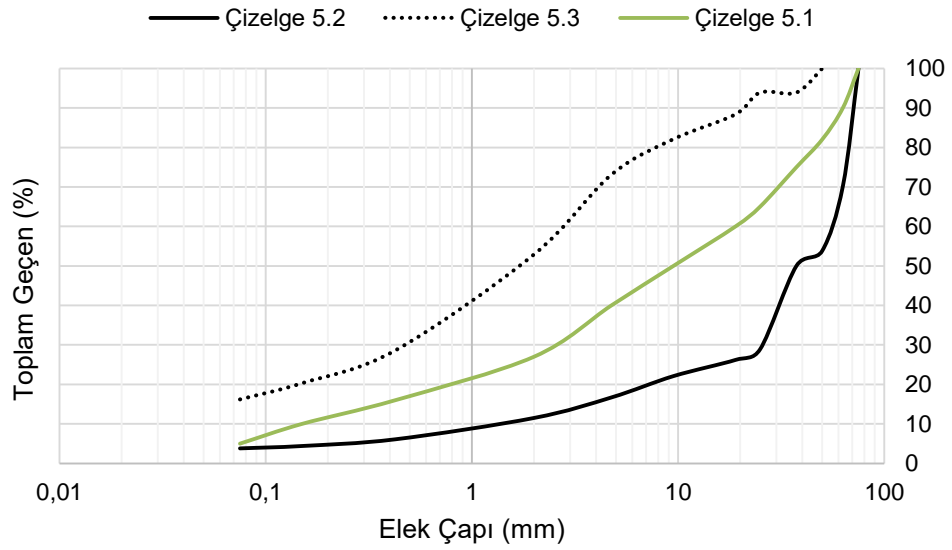
Çizelge 5.3. Kuru kütlesi 2034,80g olan numunenin dane çapı dağılımı

Elek Adı	Elek Çapı (mm)	Elekte Kalan Numune	Kalan	Toplam Kalan	Toplam Geçen
3	75	0,00 g	% 0,0	% 0,0	% 100
2. ½	63	607,34 g	% 29,8	% 29,8	% 70,2
2	50	332,51 g	% 16,3	% 46,2	% 53,8
1. ½	37,5	77,02 g	% 3,8	% 50,0	% 50,0
1	25	430,83 g	% 21,2	% 71,1	% 28,9
¾	19	53,50 g	% 2,6	% 73,8	% 26,2
¾	9,5	84,66 g	% 4,2	% 77,9	% 22,1
No. 4	4,75	109,98 g	% 5,4	% 83,3	% 16,7
No. 10	2,00	105,55 g	% 5,2	% 88,5	% 11,5
No. 40	0,425	108,84 g	% 5,3	% 93,9	% 6,1
No. 100	0,150	35,74 g	% 1,8	% 95,6	% 4,4
No. 200	0,075	11,68 g	% 0,6	% 96,2	% 3,8

Çizelge 5.4. Kuru kütlesi 1275,51g olan numunenin dane çapı dağılımı

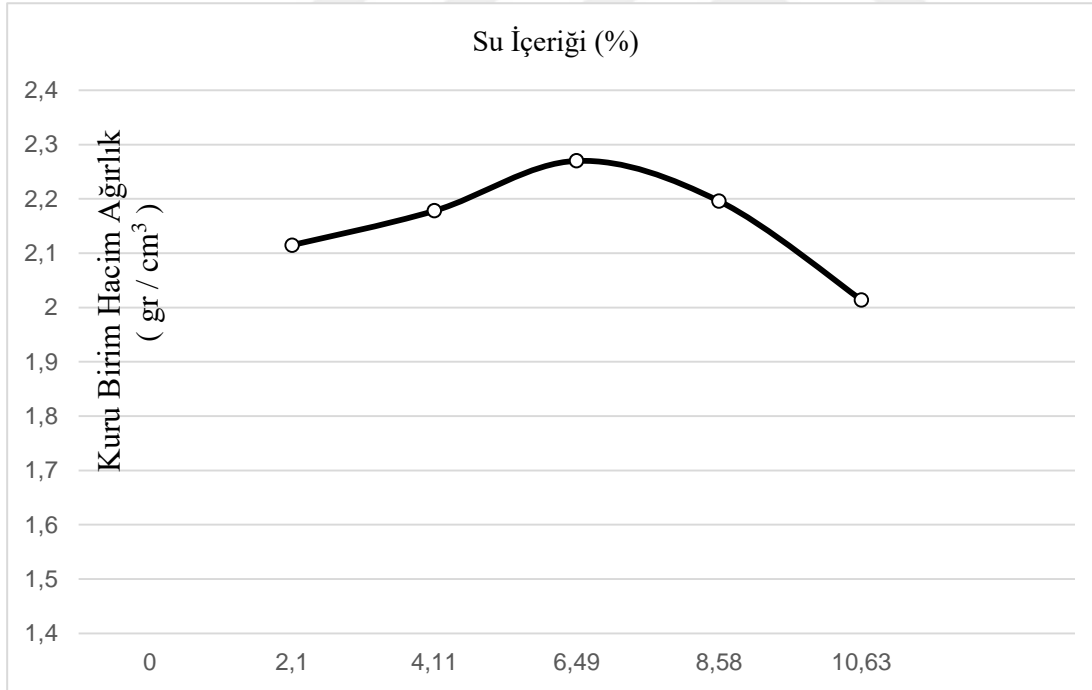
Elek Adı	Elek Çapı (mm)	Elekte Kalan Numune	Kalan	Toplam Kalan	Toplam Geçen
3	75	0,00 g	% 0,0	% 0,0	% 100
2. ½	63	0,00 g	% 0,0	% 0,0	% 100
2	50	0,00 g	% 0,03	% 0,0	% 100
1. ½	37,5	78,43 g	% 6,1	% 6,1	% 93,9
1	25	0,00 g	% 0,0	% 6,1	% 93,9
¾	19	70,04 g	% 5,5	% 11,6	% 88,4
¾	9,5	80,00 g	% 6,3	% 17,9	% 82,1
No. 4	4,75	114,15 g	% 8,9	% 26,9	% 73,1
No. 10	2,00	258,24 g	% 20,2	% 47,1	% 52,9
No. 40	0,425	310,04 g	% 24,3	% 71,4	% 28,6
No. 100	0,150	106,21 g	% 8,3	% 79,7	% 20,3
No. 200	0,075	51,50 g	% 4,0	% 83,8	% 16,2

Şekil 5.2 incelendiğinde, çizelge 5.1 değerlerinin altında kalan numune uygun sayılabilir. Çünkü çizelge 5.1 değerler çizgisi ortalama olarak çizilmiştir.



Şekil 5.2. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.2 sonuçları ile Çizelge 5.1 değerleri karşılaştırıldığı zaman No.200 elekten %15 oranından daha düşük bir geçiş sağlanması istenmiştir. Bu nedenle Çizelge 5.3'deki dolgu malzemesinin kullanımının uygun olduğu anlaşılmıştır. Dolgu malzemesi gradasyon özellikleri tablosunda verilen özelliklerle karşılaştırıldığı zaman, numunenin dolgu malzemesi olarak kullanılabilceğini göstermektedir. No.10 ve No.200 elek çapı irdelendiğinde, No.10 elek çapından geçen malzeme miktarı %15-100 arasında sınırlandırılmış olmakla birlikte deney sonuçlarında No.10 elek çapından geçen miktar %88,5 olarak belirlenmiştir. Gradasyon özelliklerinde No.200 elek çapı için sınır değerlerin %15'ten küçük olması şeklinde sınır getirilmiş ve deney sonuçlarında No.200 elek çapından geçen numune değerinin %3,8 olduğu belirlenmiştir. Elek çapı sınır değerlerinde aksi bir durum bulunmaması durumunda dolgu malzemesinin kullanılabilirliğine kanaat getirilerek imalata devam edilir. Gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen gradasyon grafiğine ek olarak numunenin çakıl yüzdesi %26,9 kum yüzdesi %56,9 ve silt+kil yüzdesi %16,2 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.3. Numunenin su içeriği tespiti

Gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen gradasyon grafiğine ek olarak numunenin cu katsayısı 41.776, Cr süreklilik katsayısı 9.160, çakıl yüzdesi %83,3, kum yüzdesi %12,9 ve silt+kil yüzdesi %3,8 olarak tespit edilmiştir. Terramesh kademelerine dolgu malzemeleri serilirken dane dağılım çapları da tekraren kontrol

edilmelidir. Numunenin optimum su içeriği %6,5 ve birim hacim ağırlığı 22,256 kN/m³ olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçlarının irdelenmesi ile dolgu malzemesi gradasyon özelliği, taşıma gücü değerlerinde istenilen değerler elde edildiğinden bir üst kademenin imalatlarına geçilebilmektedir. Her kademe imalatında bu işlemler tekrarlanarak stabilite açısından sorun olmadığı tespit edilmelidir. Terramesh ünite yüzeylerinin yeşil alan olarak gösterilebilmesi için, ünite yüzeyinden en az 30 cm kadar bitkisel toprak yerleştirilmelidir. Bitkisel toprak yeşilliğin yaşamını idame ettirebilmesi için zorunlu olarak yapılmaktadır. Bu sebeple terramesh ünite stabilitesinin bozulmaması, zeminde şişmelerin olmaması için ünite yüzeyinden en az 1 metre mesafeye kadar el kompaktörü ile sıkıştırma sağlanmalıdır. Kademe deneyleri sırasında el kompaktörü ile sıkıştırma yapılan bölgeden muhakkak numune alınıp incelenmelidir. Çünkü el kompaktörü ile sıkıştırma yapılan zeminlerde istenilen sonuca ulaşmak için tekraren sıkıştırma yapılması gerekebilir. Yeterli sıkışma oranı sağlanamazsa bir üst kademenin imalatına geçilememektedir. Üst kademe imalatına geçilememekle beraber, stabilitenin bozulmasına da neden olabilmektedir.

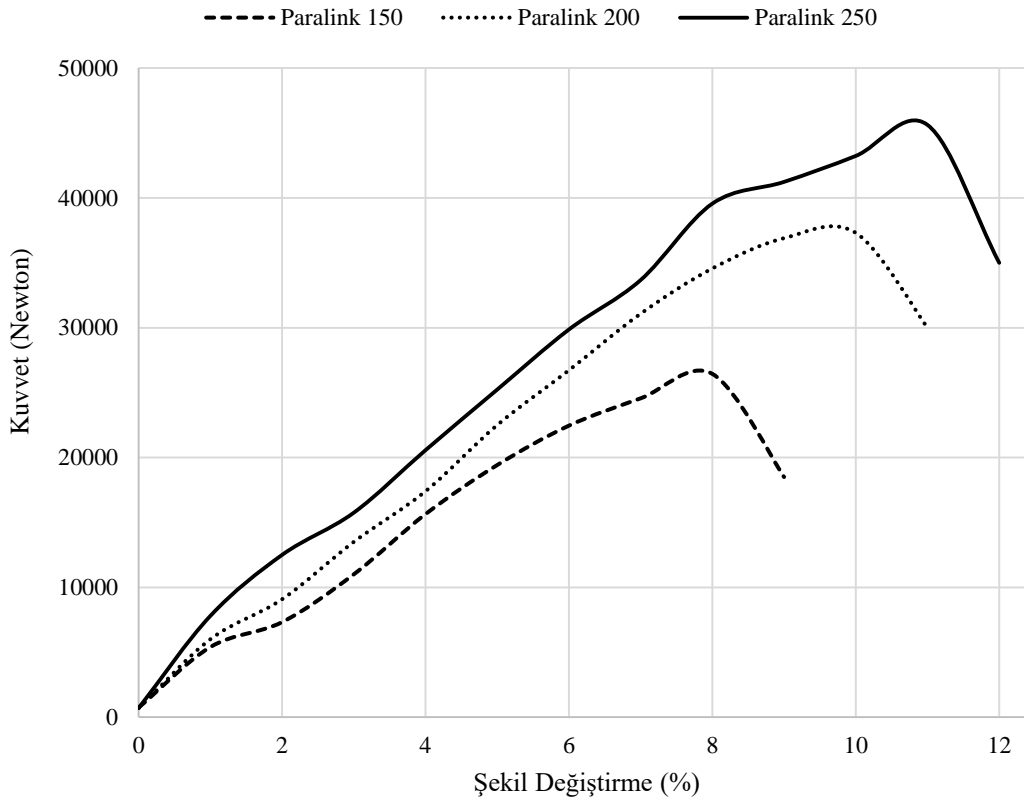
5.2. Geogrid Donatı Çekme Deneyi

Geogrid donatılar kademeler arasında sürtünme kuvveti oluşturarak stabil halde kalmasında büyük rol oynamaktadır. Sürtünme kuvvetinin iletilmesi sırasında çekme kuvvetlerini karşılayamazsa, donatı kopacak ve stabilite bozulacaktır.



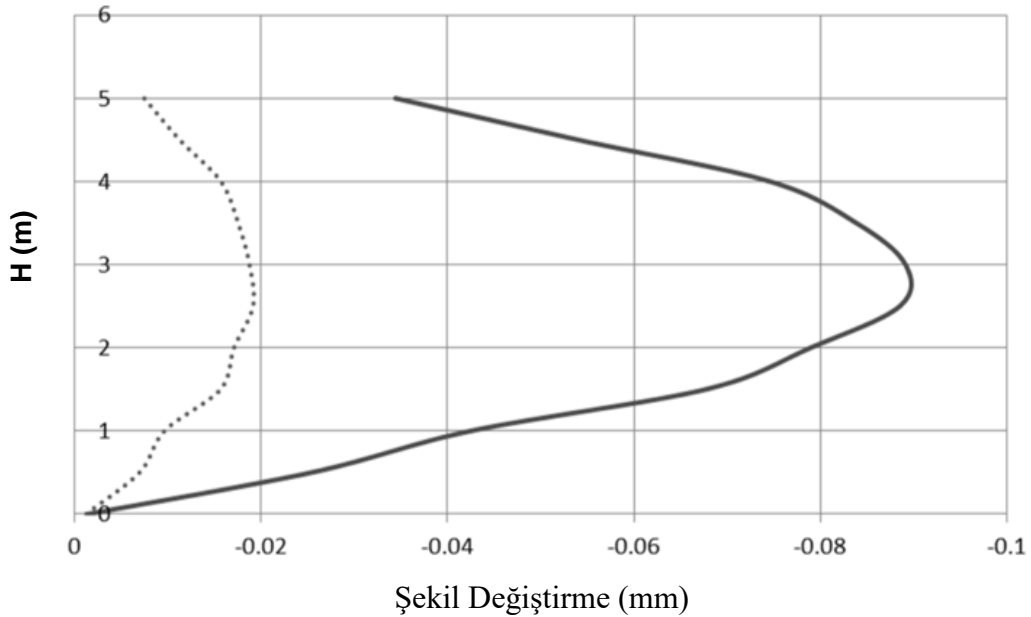
Şekil 5.4. Paralink 150, paralink 200 ve paralink 250 çekme deneyleri

Proje aşamasında donatıların çekme kuvvetleri statığı sağlayacak şekilde seçilirken ekonomik olmasına da dikkat edilmelidir. Tez uygulamasında paralink 200 ve 250 numuneleri istediğimiz özellikleri sağlasa da ekonomik olması açısından paralink 200 donatısının kullanılması uygun görülmüştür. Geogrid donatıların çekme deneyleri birçok kişi tarafından geçmiş yıllarda yapılmıştır. Geosentetik donatı kum üzerine yerleştirilerek üst yarısı dolduruldu (Tatlısöz ve diğerleri, 1998). Farklı özelliklerdeki 3 tip paralink çelik donatısının hacim ağırlıkları da farklılık göstermektedir. Paralink 250 ağırlığı 690 kg iken paralink 200 ağırlığı 590 kg'dır. Kullanılan donatının ağırlığı da dolgu alanında ekstra yük oluşturacaktır. Statik hesaplamalarda dikkate alınan bu ağırlık zamanla sıkışmaya da olumlu yönde etki yapacaktır. Paralink donatıları polyester filamentlerden oluşturulmuş polimer şeritler olarak anılmaktadır. Bu donatılarda sünme özelliği önemli faktörlerden bir tanesidir. Paralink donatılar kademeler arasına yerleştirildiğinden dolayı, kaymaya çalışan yüzey ile donatı arasında içeriye doğru kuvvet oluşturur. Kaymaya karşı koymaya çalışacak bu kuvvet güvenlik katsayısına olumlu etki sağlamaktadır. Şekil 5.4'de gerçekleştirilen farklı 3 tipteki donatı çekme deneyinin sonuçları Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Paralink çekme deneyi sonuçları

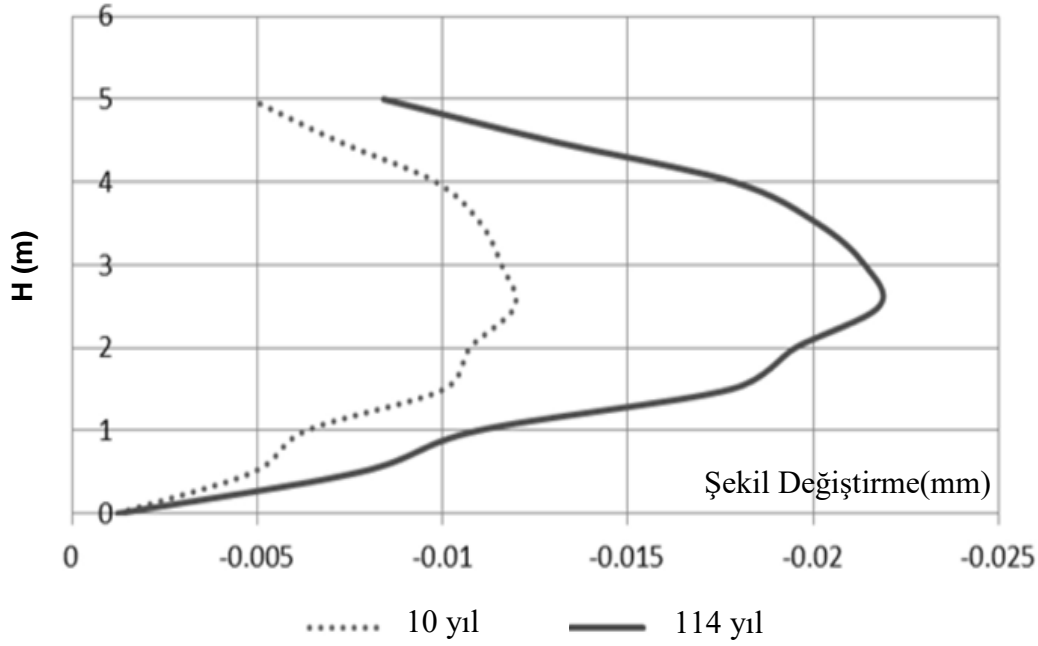
Şekil 5.4'deki deney sonuçlarına göre paralink 200 donatısının maksimum taşıdığı yük Şekil 5.5'de görüldüğü gibi 37,31 kN olarak ortaya çıkmıştır. %2 uzama oranındaki dayanımı ise 22,5 kN olduğu görülmüştür. Projede istenilen 20 kN özellik bu sayede sağlanmış olacaktır. Tekrarlanan stabilite analizlerine göre; paralink 150 donatısı projede kullanılırsa, yaklaşık 8 kademeye donatı yerleştirilmesi gerekecektir. Gereken donatı derinliği ise yaklaşık 12 metre uzunluğunda olacaktır. Paralink 200 donatısı kullanılırsa 5 kademeye donatı yerleştirilmesi gerekecektir. Paralink 150 donatısında olduğu gibi 12 metre derinliğe sahip olacaktır. Paralink 250 donatısı tercih edilseydi 5 kademeye donatı gerekecek ve derinliği diğer paralink donatılarında olduğu gibi 12 metre olacaktır. Bu karşılaştırma yapıldığında paralink 150, paralink 200 ve paralink 250 donatıları arasından; stabil halde durabilecek ve en ekonomik donatının paralink 200 olduğu anlaşılmaktadır. Bu tez çalışması, bazı durumlarda her kademeye geogrid donatı yerleştirilmesinin gerekmediğini ortaya koymuştur.



Şekil 5.6. Çift bükümlü çelik hasır duvarın yatay yer değişimi

Kaynak: Zannoni, E., Vicari, M., Scotto, M. (2009)

Şekil 5.6'da Zannoni tarafından 2009 yılında yapılan bir çalışmada çift bükümlü çelik altıgen hasır duvarın zamana bağlı şekil değişimi diyagramı oluşturulmuştur. Kesikli şekil değişimi çizgileri 10 yıl içerisinde karşılaşılan, kesiksiz şekil değişimi çizgileri ise 114 yıl sonra meydana gelecek şekil değişimleri temsil etmektedir. Şekil değişimlerinin milimetre mertebesinde gerçekleşmesi başarılı görülse de uzun yıllar sonra deformasyonlar artmaktadır.



Şekil 5.7. Yüksekliği 5 m olan duvarın yıllara göre şekil değişimi

Kaynak: Zannoni, E., Vicari, M. ve Scotto, M. (2009)

Terramesh uygulamasının yaklaşık 120 yıl ömrü olduğu düşünülmektedir. Bunun asıl nedenlerinden birisi de kullanılan çeliklere GSY ile kaplama yapılmasıdır. Zannoni ve arkadaşları bu konuda çeşitli deneyler gerçekleştirmiş ve Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de gösterilmiştir. 10 yıl süre için şekil değişimi değerleri 0,02mm değerlerine yakınken yaklaşık 100 yıl çekme kuvvetlerine maruz kalarak 0,08mm değerine kadar yükselbilmektedir. Yükselme değeri yaklaşık 4 kat artmaktadır. Ünite kullanılan her türlü çelikler yaklaşık 2 mm kalınlığında GSY ile kaplanmış olup çıplak çelik çubuklar hiçbir bölgede kullanılmamıştır. Kaplama işleminin laboratuvar ortamında yapılması olumlu sonuçlar verecektir. Kaplama yapılmaması durumunda, kullanılan çelikler zemin içerisindeki su ve minerallerle doğrudan tepkimeye girerek korozyona uğramasına neden olacaktır. Korozyona uğrayan donatı, toplam donatı alanının azalmasına sebep olacak ve çekme mukavemetinin bir kısmını kaybedecektir. Proje ömrünün uzatılabilmesi için geogrid donatılarının dış kaplama malzemesi değiştirilebilir. Kaplama malzemesinin değişmesi proje maliyetine doğrudan etki yapacaktır. Bu sebeple proje ömrü ve malzeme cinsi belirlenirken yaklaşık maliyet irdelenmelidir.

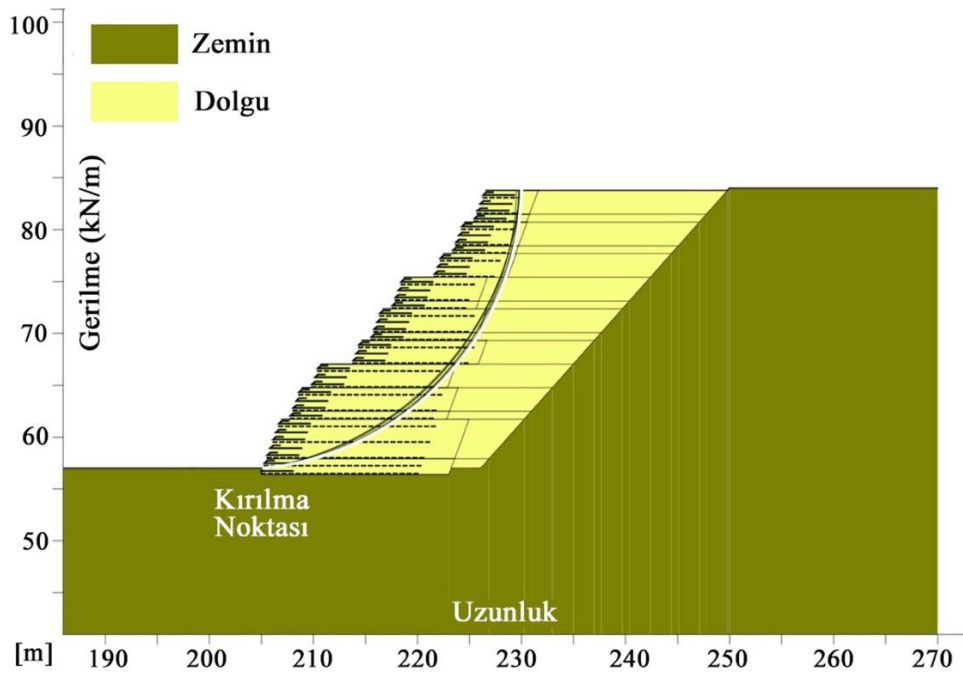
Bu bilgiler ışığında gerek malzemelerin mekanik özellikleri gerek gerçekleştirilen deney sonuçları stabilite analizleri için yeterlidir. Analizler bishop yöntemine dayanmaktadır.

6. STABİLİTE ANALİZLERİ

Zemindeki gerilmeler, dolgu malzemelerinin ve geogrid donatılarının deneysel sonuçları irdelenirken tasarımın 20 °C sıcaklıkta gerçekleştiği, dolgu malzemesinin pH değerinin 4,0-9,0 arasında olduğu, deneylerde %2 uzama gösteren geogrid donatılarda çekme mukavemeti 46,30 kN/m, %5 uzama gösteren geogrid donatılarda çekme mukavemeti 110,60 kN/m olarak belirlenmiştir. Geogrid donatılar için uzama güvenlik katsayısı 1,38 olarak, içsel sürtünme açısının 35°, kohezyonun 5 kPa ve terramesh uygulamasının üzerine oturacağı zeminin birim ağırlığı 18 kN/m³ olarak belirlenmiştir. Analizlerde Macstars W programından yararlanılmıştır.

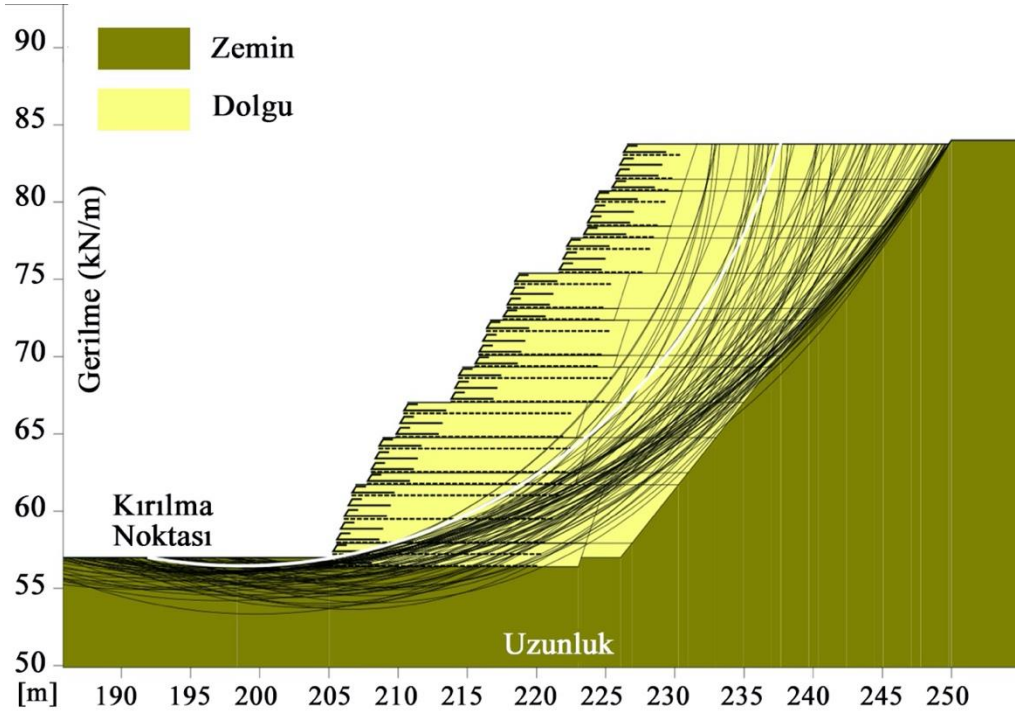
6.1. Analiz Sonuçları

10 kademeden oluşan sistem, toplam 26 metre yüksekliğe sahiptir. Analizlerde bishop ve dairesel yöntem kullanılmıştır. Analiz sonuçları her paralink donatısı için ayrı ayrı verilmiştir. Çalışma konularından bir tanesi, farklı çekme dayanımlarına sahip paralink donatılarının zemin gerilmesi üzerindeki etkisini belirlemektir. Analiz sonuçları diyagramında, beyaz renkte bulunan diyagram çizgileri akma noktasını ve siyah renkte bulunan diyagram çizgileri ise ortalama gerilme değerlerini göstermektedir.



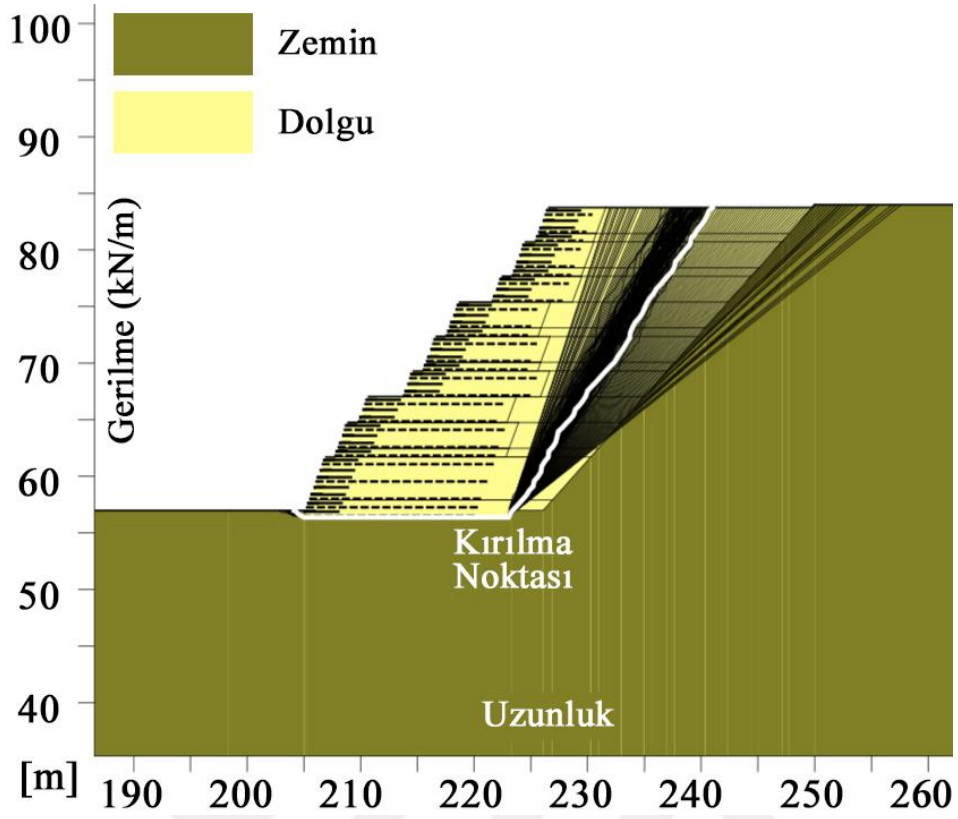
Şekil 6.1. Paralink 200 donatısının ilk kademe zemin gerilmesine etkisi

Şekil 6.1’de paralink 200 donatısının ilk kademe üzerine 12 metre uzunluğunda serilmesi ile elde edilen kayma gerilmesi diyagramı sunulmaktadır.

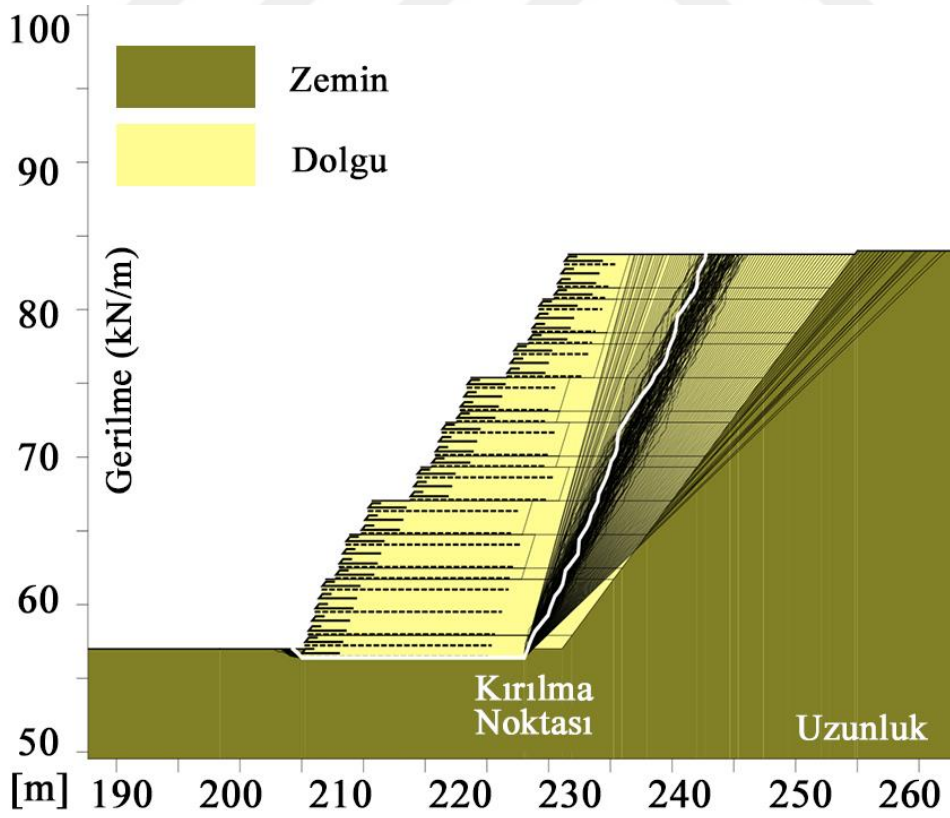


Şekil 6.2. Paralink 150 donatısının ilk kademe zemin gerilmesine etkisi

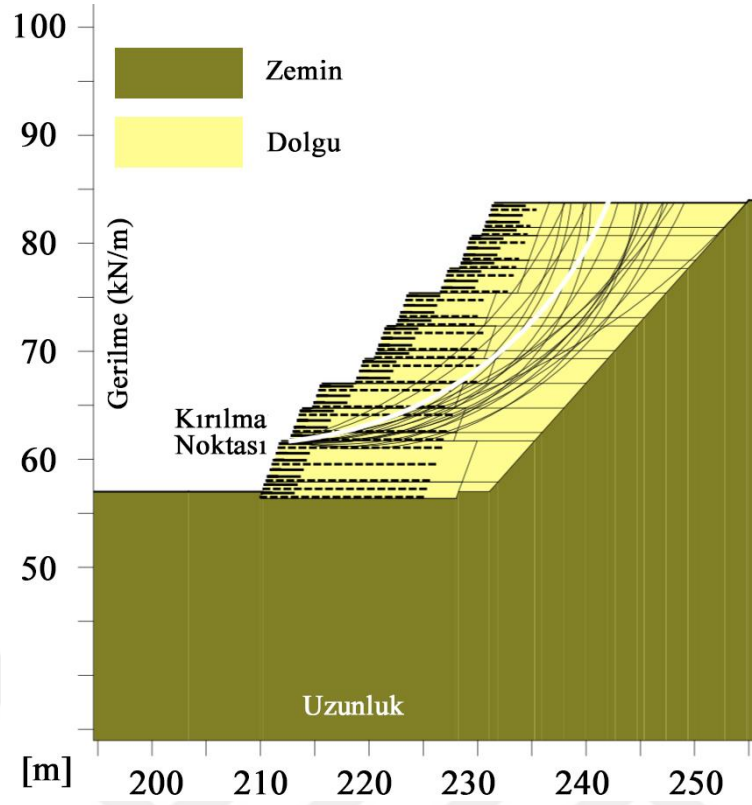
Paralink 150 ve paralink 200 donatıları ile ayrı ayrı analiz edilmiş olan gerilme diyagramları verilmiştir. Aynı zemin numuneleri kullanılmış fakat farklı çekme dayanımlarına sahip geogrid donatılar kullandığı için farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Şekil 6.1’de kayma/kırılma noktası ilk kademenin başlangıç seviyesinde oluşurken, Şekil 6.2’de kırılma noktası ilk kademe başlamadan meydana gelmiştir. Sistemin stabil kalabilmesi için kırılma noktasının kademenin üst seviyelerinde olması veya kırılma noktasının hiç oluşmaması gerekmektedir. Analizde sadece ilk kademe üstüne geogrid paralink donatılar yerleştirilmiştir. Oluşan çekme kuvvetlerinin sönmülenebilmesi için ikinci kademe üzerine paralink 200 donatılar yerleştirilerek tekrar analize alınmıştır. İlk kademeye paralink 150 donatısının yerleştirildiği sayısal modellemede, ikinci kademeye paralink 150 donatısı yerleştirilmiştir. İkinci kademeye yerleştirilen iki farklı dayanıma sahip donatıların, zemin gerilmesine nasıl etkideğini tespit etmek bundan sonra gerçekleştirilecek analizlere önayak oluşturabilecektir. İkinci kademe analizleri incelendikten sonra, hangi donatının kullanılacağına karar vermek mümkün olmaktadır. Bazı analizlerde bu değer üçüncü kademenin incelenmesine neden olabilir. Birinci ve ikinci kademe analizlerinde bazen çok yakın değerler çıkabilmekte ve seçimi zorlaştırabilmektedir.



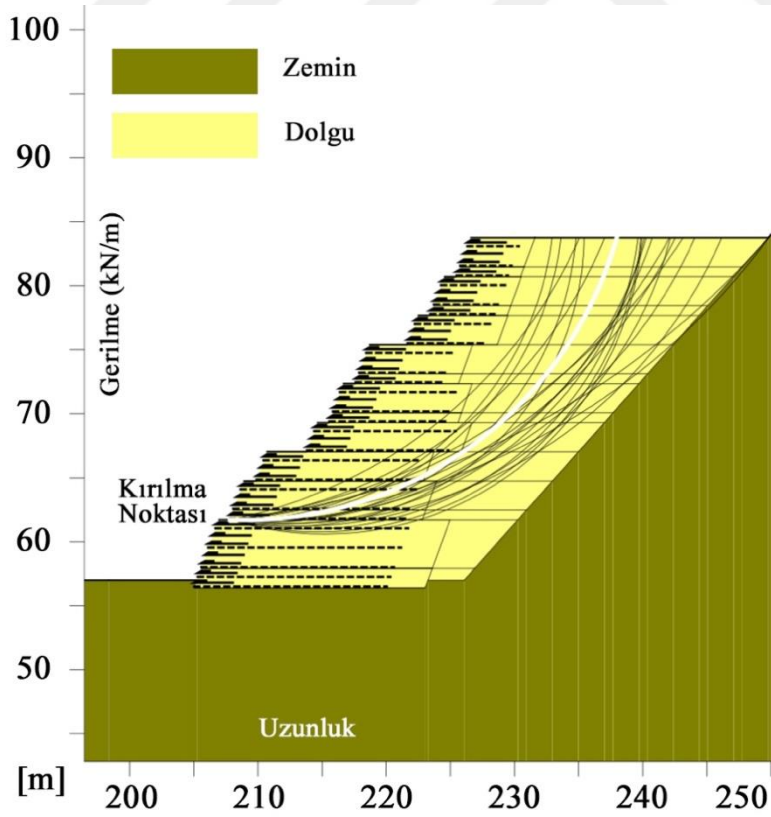
Şekil 6.3. İkinci kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi



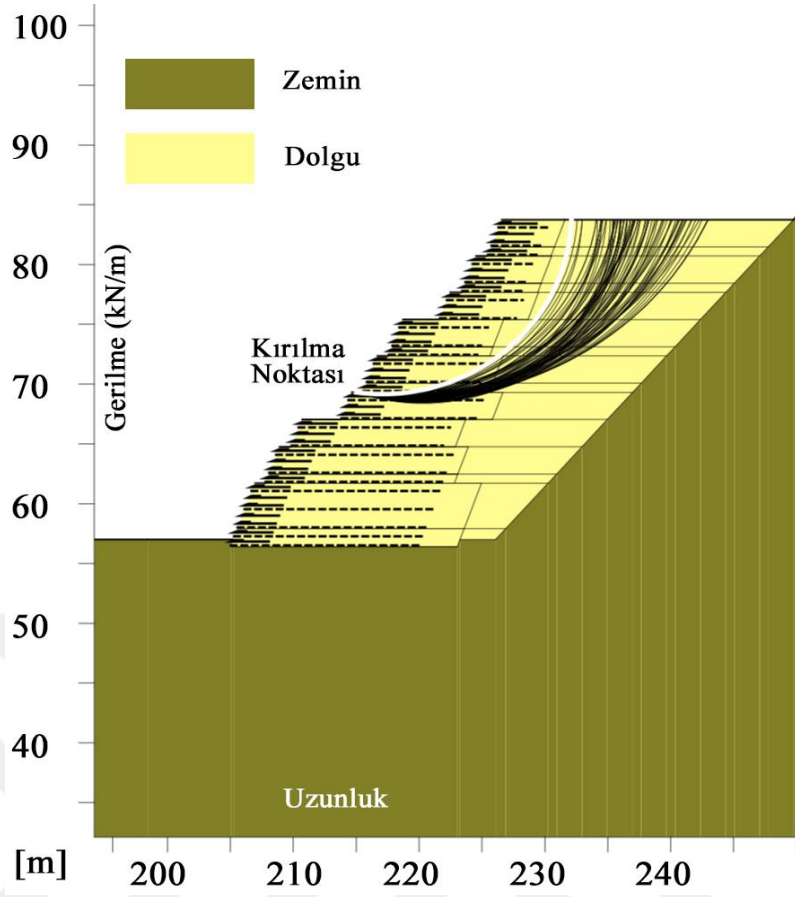
Şekil 6.4. İkinci kademe paralink 150 donatısının gerilmeye etkisi



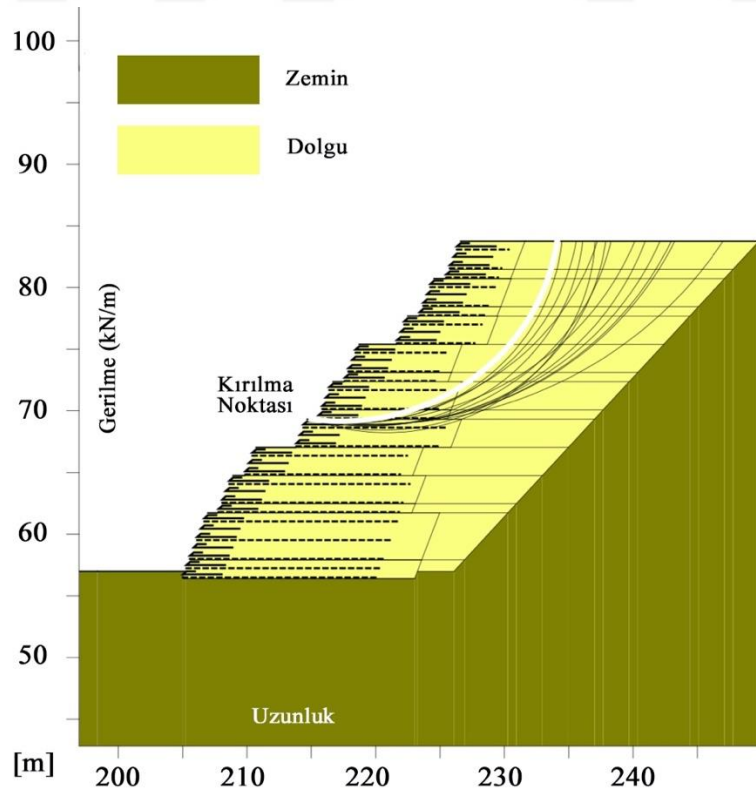
Şekil 6.5. Üçüncü kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi



Şekil 6.6. Dördüncü kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi



Şekil 6.7. Beşinci kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi



Şekil 6.8. Altıncı kademe paralink 200 donatısının gerilmeye etkisi

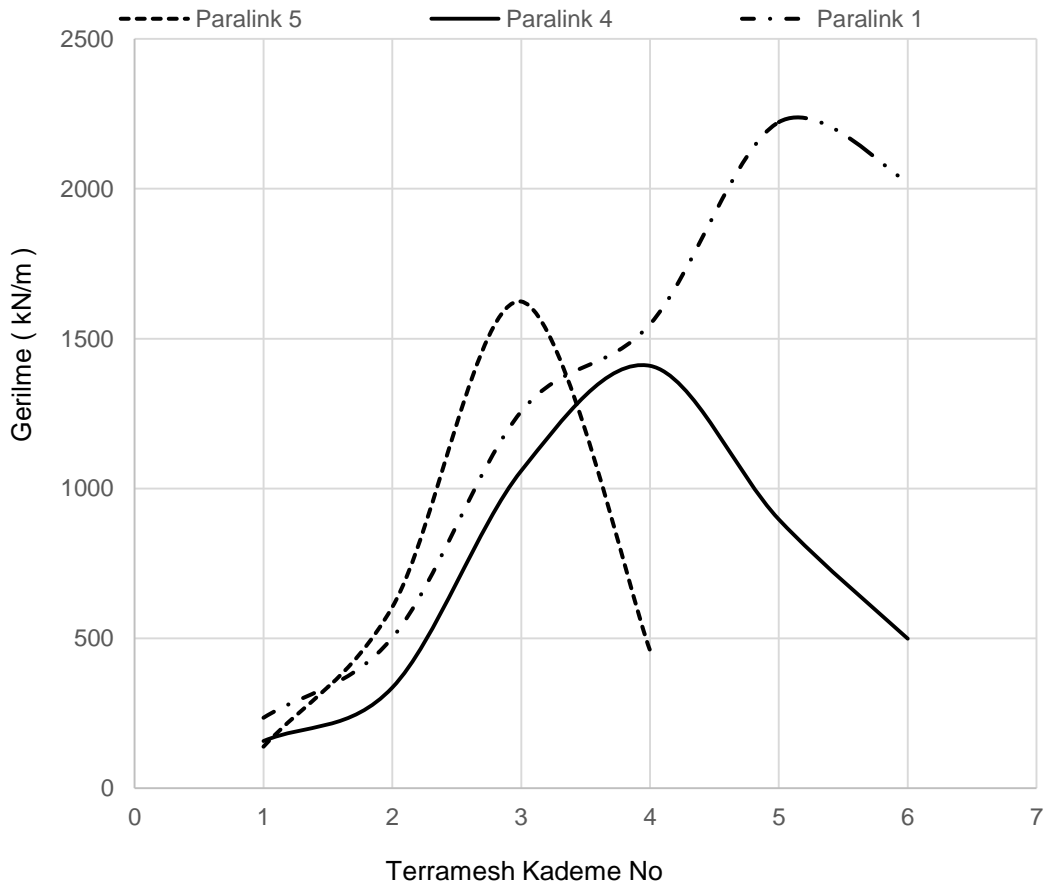
Paralink 200 donatısının daha olumlu sonuçlar verdiği tespit edildikten sonra üst kademelerde paralink 200 donatısı kullanılmıştır. Üçüncü kademeye yerleştirilen geogrid donatı kırılma noktasını üst kademeye kadar çıkartmış ve gerilme bölgeleri Şekil 6.5’de görüldüğü gibi düşüş göstermiştir. Dördüncü kademeye yerleştirilen 12 metre uzunluğundaki donatı kırılma noktasını değiştirememiş olsa bile gerilme dağılımını azaldığı Şekil 6.6 diyagramında görünmektedir. Beşinci kademe donatısının ardından kırılma noktası 3 kademe birden yükselmiş fakat yükseldiği bölgede yoğun bir gerilim olduğu Şekil 6.7’de belirtilmiştir. Bu noktada gerilmelerin fazla olması akma tehlikesini oluşturduğundan güçlendirilmelidir. Eklenen geogrid donatısı ile kırılma noktası aynı kalmış ve gerilme değerlerinin düşüş gösterdiği Şekil 6.8’de görünmektedir.

Çizelge 6.1. Paralink 200 donatısının kademe gerilmelerine etkisi

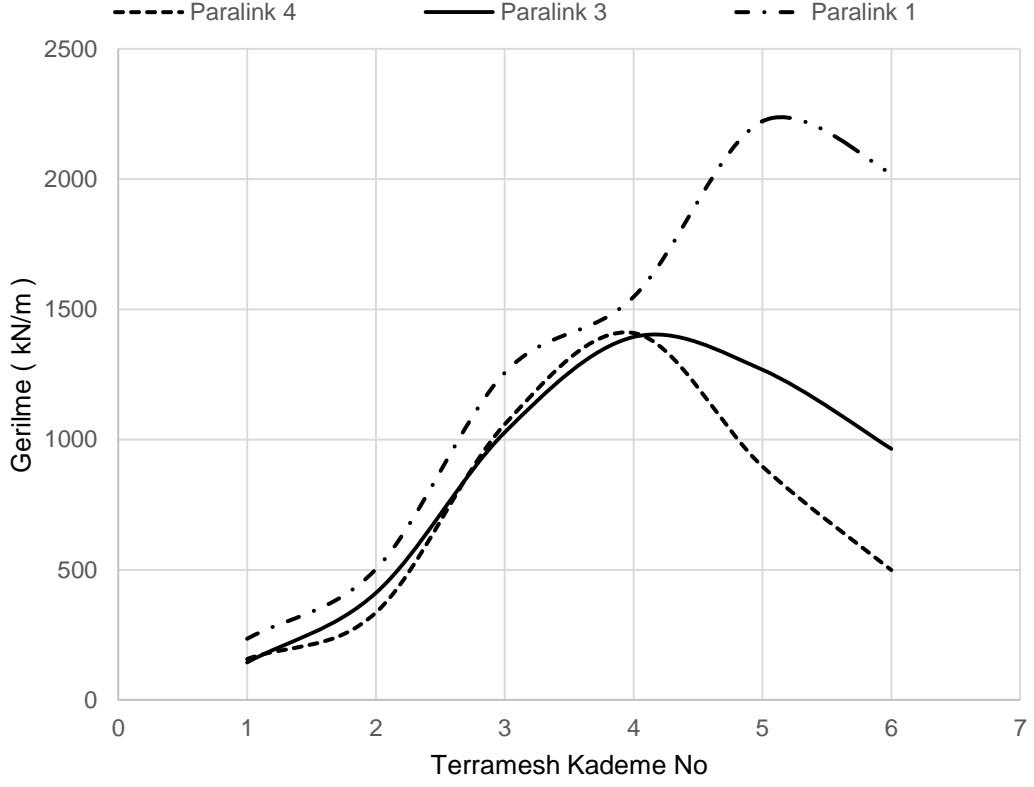
Tabaka No	Paralink 1 (kN/m)	Paralink 2 (kN/m)	Paralink 3 (kN/m)	Paralink 4 (kN/m)	Paralink 5 (kN/m)
1	235,2	216,3	144,2	157,5	138,7
2	502,4	617,0	411,4	336,0	604,6
3	1256,9	1542,2	1028,1	1058,9	1623,9
4	1548,2	2091,3	1394,2	1409,3	459,7
5	2222,6	1902,4	1268,3	896,7	6,5
6	2022,5	1446,7	964,5	499,0	6,2
7	1756,7	765,4	510,3	5,2	5,1
8	1506,1	490,7	327,1	4,3	2,4
9	1356,4	183,4	122,3	2,6	1,4
10	927,1	100,2	6,7	1,9	0,5

Toprak takviyesinin kritik bölgeye yerleştirilmesi ile taşıma kapasitesini ve zemin gerilmesi incelenmelidir (Chung ve Cescante, 2006). Kademelere geogrid donatı eklendikten sonra gerçekleştirilen gerilme analiz sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Kademelere donatı eklendikten sonra üst kademeye etkiyen gerilme kuvvetlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Jeosel-toprak granül bazlı toprak tabakalarında donatılar güçlendirme işlemi için kullanılır (Bathurst ve Karpurapu, 1993). Çalışmada

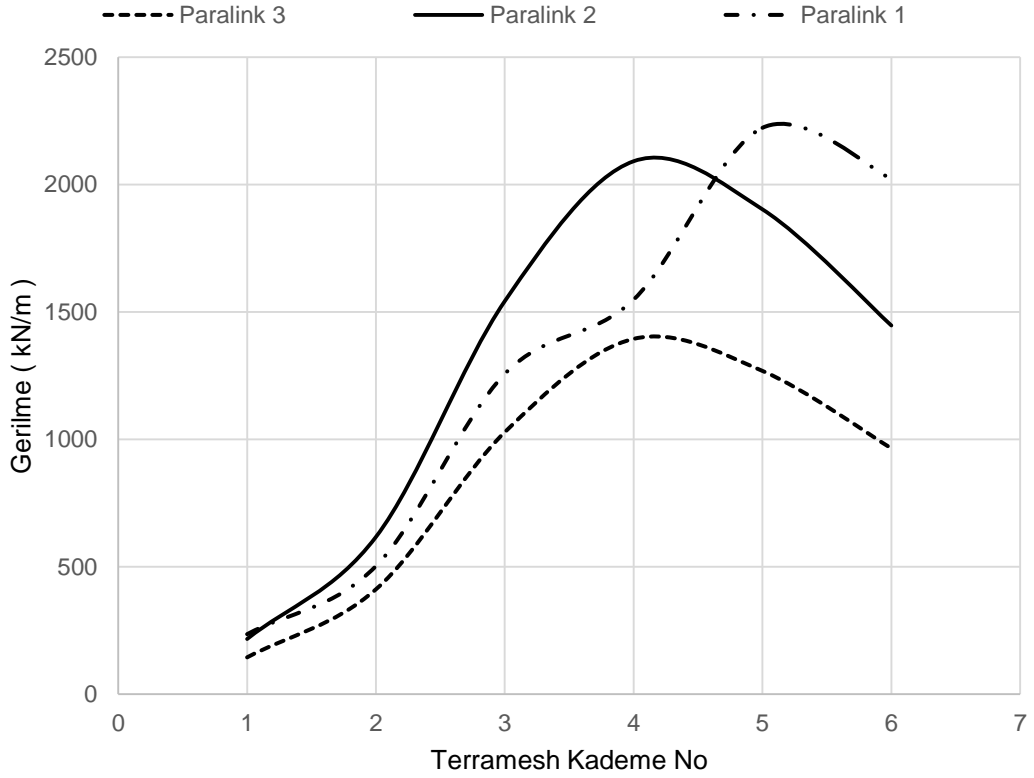
yerleştirilen geogrid donatılar da bu sebeple kullanılmıştır. Paralink 4 ve paralink 5 donatılarında gerilme kuvvetleri çok düşük miktarlara indiğinde sönümlendiği kabul edilmektedir. Oluşan çok küçük gerilme kuvvetleri kademeler arasındaki sürtünme kuvvetinden ve terramesh üniteleri tarafından sönümlenmektedir. Böylelikle stabilite sağlanmış olacaktır. Sürtünme kuvvetinin gerilme kuvvetlerini sönümleyemediği durumlarda, geogrid donatısının çekme dayanımını yükseltmek olumlu çözümlerden bir tanesi olacaktır. Geogrid donatısının dayanımını yükseltmek, proje maliyetini arttıracaktır. Projelendirme aşamasında fizibilite ve yaklaşık maliyet hesaplamalarından önce donatı cinsi seçilmelidir. Proje ve tasarım çalışmaları tamamlandıktan sonra stabilite analiz adımlarına geçilmelidir. Eğer stabilite analizleri sonucunda, geogrid donatısının yeterli olmadığı görülürse geogrid donatısının dayanım kuvveti artırılabilir. Seçilen geogrid donatısının çekme dayanımı, stabilite açısından olumlu tarafta bulunuyorsa; geogrid donatısının çekme dayanımını arttırmaya ihtiyaç olmayacaktır.



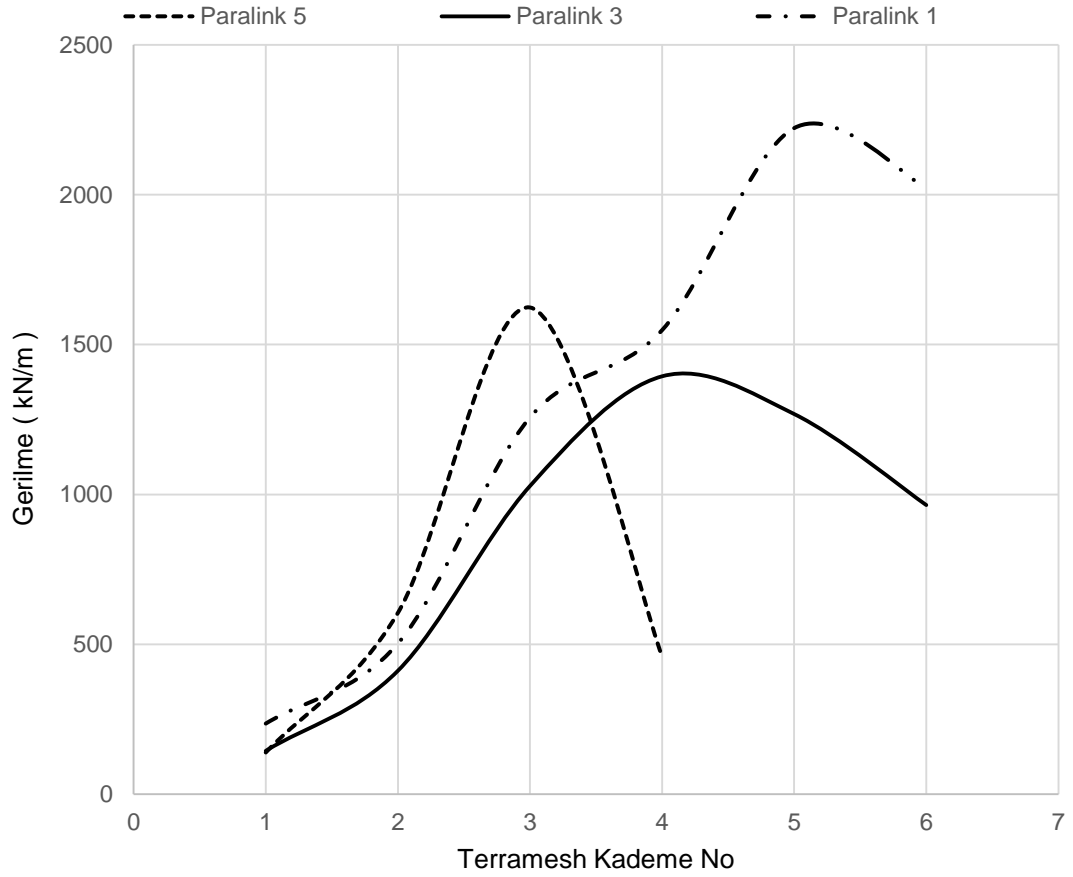
Şekil 6.9. Gerilmelerde 5, 4, ve 1. kademe karşılaştırılması



Şekil 6.10. Gerilmelerde 4, 3, ve 1. kademe karşılaştırılması



Şekil 6.11. Gerilmelerde 3, 2, ve 1. kademe karşılaştırılması



Şekil 6.12. Gerilmelerde 5, 3, ve 1. kademe karşılaştırılması

Şekil 6.9’da paralink 1, ilk kademeye geogrid donatı yerleştirildikten sonra oluşan gerilme diyagramını göstermektedir. Paralink kelimesinden sonra gelen sayı, hangi kademeye kadar donatı yerleştirildiğini göstermektedir. Paralink 2 ise ikinci kademeye donatı yerleştirildikten sonra oluşan gerilme diyagramını temsil etmektedir. Sırayla paralink 5’e kadar her kademeye donatı yerleştirilerek bir üst kademeye geçilmiş ve analizler yapılmıştır. Analiz sonucunda 6. kademeye kadar (paralink 5) yerleştirilen geogrid donatılar, gerilme kuvvetlerini sönmüştür. Kırılma noktası 6. kademede, terramesh yüksekliğinin orta noktasından daha üst bir kademede oluşmuştur. Şekil 6.9, 6.10, 6.11 ve 6.12 diyagramları üzerinde hangi kademelerin kıyaslandığı belirtilmiştir. Genel olarak duvar davranışı, yük dağılımı ve deformasyon/gerilme ilişkileri tutarlıydı (Rowe ve Skinner, 2001). Bu çalışmada geogrid donatılarının ve sayılarının zemin gerilmesine büyük etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Analiz sonuçları, donatı uzunluğunun ve aralığının duvar deformasyonlarını ve gerilmelerini en aza indirmede önemli bir rol oynamaktadır (Ling ve diğerleri, 2004). Böylelikle 65.000 m³ dolgu alanı başarılı bir şekilde stabil hale getirilmiştir. 6 ve daha üstünde bulunan

kademeler için geogrid donatı ekonomik olması açısından kullanılmamıştır. Aynı sistem ile dayanımı daha yüksek olan gabion duvarlar, 86 metre yüksekliğe kadar uygulanmıştır. Yapının üzerinde 6,61m yüksekliğinde bir ek mevcuttur ve bu nedenle toplam 86,96 metre yüksekliğe ulaşmaktadır (Lelli ve diğerleri, 2015).

6.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışma, yüksekliği fazla olan duvar veya dolgu yapılarının stabil kalabilmesi için birçok gerçeği ortaya çıkartmıştır. Dolgu alanlarının hem stabil halde kalmasını hem en ekonomik çözümü üretmiştir. Geogrid donatılarının seçimi ve yüksekliğe bağlı olarak hangi yöntem ile çözülmesi gerektiğini göstermiştir. Bu tez çalışmasında aşağıdaki maddelerin doğruluğu anlaşılmıştır.

- Yaklaşık 30 metreye kadar yüksekliğe sahip duvar veya dolgu sistemler için terramesh sistemi uygulanabilir. Betonarme yapıların azami yüksekliği 30,0 metre civarlarındadır (Rimoldi ve Intra, 2009). 30 metre yüksekliğe sahip betonarme duvarın yapılabilmesi için çok büyük miktarda çelik donatı ve beton gerekeceğinden, terramesh sistemin daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır.
- Dolgu alanlarının veya terramesh sisteminde kullanılan dolgu malzemesinin sıkışması için en etkili yöntem dinamik kompaksiyon yöntemidir. Vibrasyonlu kompaksiyon, dolgu malzemesini sıkıştırabilmekte fakat dinamik kompaksiyon daha yüksek oranda sıkışma sağladığı ortaya çıkmıştır. ASTM D1557’de belirtilen dolgu malzemesinde %95 oranında sıkışma sağlanamazsa, dinamik kompaksiyon metodu çözüm olacaktır.
- Terramesh sistemde her kademedede geogrid donatılar kullanılmayabilir. Üst kademelere doğru dolgu yükü azalacağından, üst kademelerde çekme kuvveti az miktarda oluşur ve dolgu malzemesinin sürtünmesi ile sönmülenebilir.
- Geogrid donatılarının çekme dayanımı arttıkça, dolgu malzemesi ile arasındaki sürtünme kuvveti artar. Sürtünme kuvvetinin artması geogrid donatılarının daha çok çekme kuvveti karşıladığı anlamına gelir.
- Dayanımı yüksek geogrid donatılar, üst kademeler de oluşacak çekme kuvvetinin bir miktarını karşılayarak, kırılma noktasını güvenli tarafa ötelemektedir.

7. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Birinci Dünya İklim Değişikliği Konferansı 1979 yılında Cenevre'de gerçekleştirildi (Koo, 2001). İklim değişikliği konusu, konferansa katılan bilim insanları tarafından mercek altına alındı. Ülke temsilcileri ve bilim insanları, iklim değişiminin gerçekliğini kabul ederek, alınabilecek önlemler konusunda çalışmalar yaptılar. Bu çalışmalarda iklim değişikliğinin sağlık, biyolojik ve ekolojik etkileri üzerinde durulmuş fakat ekonomiye etkisi üzerinde durulmamıştır. İklim değişikliği, her alanda etkisini daha fazla hissettirmektedir. Küresel ısınma ile kutuplardaki kütleli buz erimeleri hızlanır. Buz erimeleri ise küresel ısınmayı hızlandırır. Bu olay, küresel ısınmanın sonsuz bir döngü haline geldiğini göstermektedir. Severinghaus (1998) çalışmasında, Grönland buzullarının eridiğini belirterek, küresel ısınmanın önemini vurgulamıştır. Son 10 yılda buzulların %2,7 azaldığı tespit edilmiştir (Parkinson ve diğerleri, 2000). Her ne kadar iklim değişikliği eğilimlerini tespit etmek için erken olsa da son iklim değişikliğinde büyük tepkiler olduğu açıkça görülmektedir (Walther ve diğerleri, 2002). Günümüzde küresel ısınmanın fiziki olarak hissedilebilir düzeye gelmesiyle, birçok alanda aksaklıklar oluşmaya başlamıştır. Atmosferdeki karbondioksiti (CO₂) geri çekmenin bir yolu bulunmadıkça, iklim değişikliği ile yaşamın öğrenilmesi gerekmektedir.

Motorlu araçlardan atmosfere sera gazı salınımını önlemek için tedbirlerin alınmasıyla otomotiv ekonomisi olumsuz yönde etkilenmektedir. Atmosferde bulunan element dengelerinin bozulmasıyla etkilenen sağlık sektöründe, önlemler alınmaya başlanmış ve sağlık sektörü ekonomisi önemli ölçüde etkilenmiştir. Elektromanyetik fotonlar yayan aydınlatma cihazları, elektronik cihazların tümü, geniş bir sektör yelpazesine sahip radyo manyetik cihazlar, inşaat malzemeleri üreten fabrikalar ve hayatın her noktasında kullanılan enerji kaynakları aslında iklim değişikliği ile ekonomi arasındaki bağlantının somut bir ispatıdır. İklim değişikliği ile ekonomiyi ilişkilendiren çok az sayıda araştırma vardır (Mendelsohn ve diğerleri, 2004). Küresel ısınma ile ekonomi arasındaki bağlantı çok az sayıda çalışmaya konu olsa da bundan sonra yapılacak olan araştırmalar sektörlere indirgenmelidir. Çünkü; ortalama hava

sıcaklık değerinin 1 °C artması veya ortalama yağış miktarının 1 kg/m² değişmesi, tüm sektörlere aynı etkiyi yapmayacaktır. İklim değişikliğinin tarım sektöründeki sosyo-ekonomik etkilerinin belirlenmesi (Akalin, 2014) alışmasında benzer konu vurgulanmıştır.

Değişen meteorolojik şartlar ile inşaat sektöründeki iş yönetimi de zorlaşmıştır. Yağış miktarlarındaki artışlar, çalışılması gereken gün sayısını etkilemekte ve dolayısıyla iş programlarını aksatmaktadır. İş programlarının aksaması ise projenin maliyetine doğrudan olumsuz etki yapmaktadır. İş kolları detayına indiğimizde, yağış miktarlarındaki artışlar inşaat yapılarındaki drenaj sistemlerini etkilemektedir. İnşaat sektöründe projeler ve planlamalar, normal iklim koşullarına göre oluşturulmaktadır. İnşaat yapısını etkileyecek yağış miktarları, yıl içerisinde normal iklim koşullarında en çok yağış alan mevsimlere göre planlanmaktadır. Planlamalar yapılırken normal iklim koşullarına göre hareket edildiği için iklim değişikliği konusu dikkate alınmamaktadır. Bunun en somut örneklerini İstanbul ilinde görmek mümkündür. İstanbul'da 2019 yılının ilk yarısında 24 bina, şiddetli yağış sonrası toprak kaymaları sonucunda çökmüş veya tahliye edilerek yıkılmıştır. Altyapılar yağış miktarlarını taşıyamadığı için can ve mal kayıpları yaşanmış, otoyollarda çökmeler meydana gelmiştir. Bu çalışmaya konu olan ve 2019 yılında inşaatı tamamlanan İstanbul'daki bir projede, iklim değişikliğinden etkilenerek dolgu alanlarında çökmeler meydana gelmiştir. Su taşkınları ve inşaat yapılarının göçmesi sadece İstanbul'da değil, iklim değişikliği sebebiyle tüm dünya üzerinde artmaya başlamıştır.

İklim değişikliği, ekonomisini de etkilediğinden inşaat sektörü üzerinde belirgin rol oynamaya başlamıştır. Dolaylı olarak sanayi, otomotiv ve istihdamı ile bağlantılı olduğundan projelendirme aşamasında dikkate alınmalıdır. Meteorolojik değişimlerin dikkate alınmadığı projelerde, sonradan oluşan sorunların (ökme, kayma, çatlama vb.) özümü için ciddi faturalar oluşabilmektedir. Oluşacak bu faturalar, inşaat maliyetini doğrudan etkileyecektir. İklim değişikliğinin inşaat sektörünü hangi düzeyde etkilediğinin belirlenmesi önemli adımlardan birisi olacaktır. Bu amaçla konunun öneminden bahsedilmiş, iklim değişikliğinin göstergesi olan veriler açıklanmış ve son olarak terramesh duvar sistemi ile ekonomi bağlantısı incelenmiştir. Bu tez çalışması, sonuç ve tartışma bölümü ile sonlanmıştır. Bu çalışmada, iklim değişikliğinden dolayı terramesh duvar sisteminin nasıl etkilendiği ve oluşacak sorunlar için nasıl bir çözüm üretileceği incelenmiştir. Projenin teknik açıdan kusursuz

şekilde hazırlandığı düşünülse de sonradan doğal afet olarak değerlendirilebilecek yağışlar neticesinde maliyet analizlerinin nasıl etkilendiğini gösteren 8 aylık bir araştırmanın sonucu gösterilmektedir. Maliyet analizlerinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı iş kalemi fiyatları kullanılmıştır. Yine bu çalışma, iklim değişikliğinin inşaat maliyetlerini doğrudan etkilediğini ispatlayarak etki seviyesini belirlemek için geliştirilmeye açık bir formül üretmiştir.

7.1. İklim Değişikliğinin İstanbul Ölçeğindeki Etkisi

İklim değişikliği, Klimatoloji dalında incelenen atmosferik veya astronomik değişimlerdir. Nedeni ne olursa olsun iklim koşullarındaki büyük ölçekli (küresel) ve önemli yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş gelişen değişiklikler olarak da tanımlanabilir (Türkeş, 1997). İçine 1,3 milyon adet Dünya'nın sığabileceği güneş, aynı zamanda Dünya'nın iklimini de kontrol altında tutmaktadır. Güneş ışınlarının yaklaşık %50'si yeryüzüne çarparak yansır. Atmosferde bulunan karbondioksit, azot oksit, buhar, metan gibi gazların etkisiyle yansıyan ışınlar tekrar yeryüzüne gönderilir. Bunlara sera gazları denir. Bilimsel çalışmalar, sera gazlarının bulunmadığı bir dünyada hava sıcaklığının ortalama -18 °C olacağını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla güneş ve sera gazı etkisi iklimleri kontrol eder. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPPC), gelecekte yaşanacak iklim değişikliği boyutunu ortaya koymuştur. Küresel hava sıcaklığı değerlerinde 2100 yılına kadar 1-3,5 °C artış olacağı beklenmektedir (IPPC, 2001). Küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 20. yüzyılın başından günümüze değin yaklaşık olarak 0.8 C° arttı (Türkeş, 2006). 2030 yılına kadar küresel ısı 2-5 °C arasında artacaktır (McEldowney, 1996). Yaşanacak bu hava sıcaklık değişimleri ve sera gazı etkileri birleşerek, iklim değişikliğini hızlandıracağı açıktır.

(Nordhaus, 2007) çalışmasında; iklim değişikliği ile ekonomi arasında belirsiz bir bağlantının varlığına değinmiştir. Ülkemizde iklim değişikliği ile ekonomi arasında bir bağlantının kurulması için öncelikle meteorolojik veriler incelenmelidir. İnceleme sonucunda iklim değişikliğinin hangi boyutlara ulaştığı, bundan sonraki zamanlar için hangi boyutlara ulaşacağı ve olası etkenler dikkate alınarak formüllerle düşünceler desteklenmelidir. Bu tez çalışmasına konu olan Çamlıca Camii yeri incelendiğinde; projeye en yakın meteoroloji istasyonu 17062 numaralı İstanbul Kadıköy Rıhtım İstasyonudur. Bu istasyonda 1935 yılından bugüne kadar hava sıcaklık değerleri, toplam yağış miktarları ve yağışlı gün sayıları kayıt altına alınarak Çizelge 7.1'de sunulmuştur. Çizelge 7.1'deki bilgiler; bu tez çalışmasında kullanılmak üzere resmi

yollarla alınmış ve kaynak gösterilerek kullanılması için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden gerekli izinler alınmıştır. İstanbul'da iklim değişikliğinin varlığını ispatlayabilmek için, geçmiş yıllara ait meteorolojik veriler mutlaka incelenmelidir. İklim değişikliğinin ekonomik etkilerini inceleyenler için güven oranının %95 olduğu belirlenmiştir (Tol, 2018). Bu yüksek güven oranının nedeni ise çalışmaların gerçek verilere dayanmasıdır.

Çizelge 7.1. Kadıköy rihim istasyonu meteorolojik verileri

Yıl	Ortalama Min.	Ortalama Max.	Yağış	Aylık Ortalama
1935	10,0	18,6	56,97	10,25
1936	10,7	18,9	59,96	10,08
1937	10,9	19,2	61,37	10,33
1938	10,2	18,3	56,64	8,92
1939	10,5	18,8	68,67	9,58
1940	9,6	17,5	72,57	11,00
1941	9,4	17,9	56,78	10,92
1942	8,9	17,2	53,82	10,42
1943	9,4	17,6	69,72	9,17
1944	10,2	18,4	57,07	11,50
1945	9,5	18,5	47,84	9,58
1946	10,5	19,3	42,07	9,33
1947	10,2	18,9	49,03	10,17
1948	9,5	17,5	52,44	10,25
1949	9,4	17,1	62,17	10,75
1950	10,1	18,7	53,71	9,67
1951	10,6	18,8	63,58	11,08
1952	10,6	19,2	55,87	9,50
1953	9,4	17,6	68,72	10,75
1954	9,9	18,5	44,81	11,08
1955	10,8	19,0	68,84	10,17
1956	9,2	17,9	46,46	10,33
1957	10,4	18,5	46,72	8,92
1958	10,5	18,8	56,38	9,33
1959	9,0	17,6	69,21	10,33
1960	10,3	19,0	44,90	10,25
1961	9,9	18,8	52,03	8,67
1962	10,4	19,5	78,75	10,75
1963	10,6	18,5	67,17	11,75
1964	9,5	17,8	54,66	9,42
1965	9,9	18,0	65,09	10,33
1966	11,6	19,8	51,85	9,83
1967	10,0	18,5	45,83	10,17
1968	10,2	18,6	68,43	10,42
1969	10,3	18,5	54,21	9,83
1970	10,7	19,2	63,02	10,00
1971	10,4	18,6	55,24	9,75

Çizelge 7.1. (devamı) Kadıköy rıhtım istasyonu meteorolojik verileri

1972	10,2	18,4	52,65	9,25
1973	10,0	18,3	53,36	9,83
1974	10,1	18,4	53,91	9,33
1975	10,7	18,7	65,81	10,92
1976	9,7	17,7	46,08	11,58
1977	10,5	18,8	49,67	10,42
1978	10,4	18,5	66,94	11,75
1979	11,1	19,1	62,64	11,75
1980	10,3	18,1	72,40	12,08
1981	10,6	18,6	87,23	12,50
1982	10,2	18,3	49,16	10,83
1983	10,5	18,3	54,71	12,17
1984	10,6	18,7	48,38	11,92
1985	9,6	18,2	65,13	11,08
1986	10,9	18,3	47,92	9,50
1987	10,2	17,7	67,38	10,58
1988	10,6	18,2	60,03	10,92
1989	11,0	18,4	37,98	9,00
1990	11,1	18,7	45,20	10,00
1991	10,8	17,1	73,14	11,08
1992	10,4	17,6	55,90	8,92
1993	10,3	17,9	46,04	9,08
1994	12,0	19,4	52,85	8,75
1995	11,3	18,6	58,28	10,83
1996	10,9	17,9	57,19	11,83
1997	10,4	17,3	75,88	12,25
1998	11,7	18,6	64,51	10,83
1999	12,2	19,3	52,37	9,67
2000	11,4	18,9	56,29	9,42
2001	12,1	19,6	61,34	9,42
2002	11,7	19,1	50,14	9,67
2003	10,6	18,6	52,58	10,50
2004	11,0	18,7	55,48	9,33
2005	11,1	18,4	69,69	13,17
2006	11,3	18,8	49,80	7,83
2007	12,3	20,5	32,78	7,92
2008	12,7	20,7	54,90	12,25
2009	12,6	20,5	55,17	11,42
2010	13,3	20,7	51,43	8,25
2011	11,7	18,5	19,93	7,92
2012	12,6	20,4	43,88	8,08
2013	13,0	19,9	26,51	7,33
2014	13,4	20,9	55,71	11,67
2015	13,0	20,7	71,73	10,17
2016	13,1	21,0	55,26	11,42
2017	12,4	20,6	60,35	10,08
2018	13,7	20,1	63,07	13,50

Çizelge 7.1’de 1935 yılından 2018 yılına kadar aylık ortalama minimum ve maksimum sıcaklık değerleri, aylık ortalama yağış miktarları ve aylık ortalama yağışlı gün sayıları verilmiştir. Yağışlı gün sayısının küsuratlı olmasının sebebi; aylık yağışlı gün sayılarının değişken olmasıdır. Örneğin 2018 yılında İstanbul’da 162 gün yağış olmuştur. 1 yılda 12 ay bulunduğundan, aylık ortalama 13,5 gün yağışlı gün olarak hesaplanmaktadır. 1935 yılından 2018 yılına kadar aylık ortalama minimum sıcaklık, ortalama maksimum sıcaklık, ortalama yağış miktarı değerlerinde artışların olduğu görülmektedir.

7.2. İklim Değişikliğinin Dolgu Alanına Hasarları

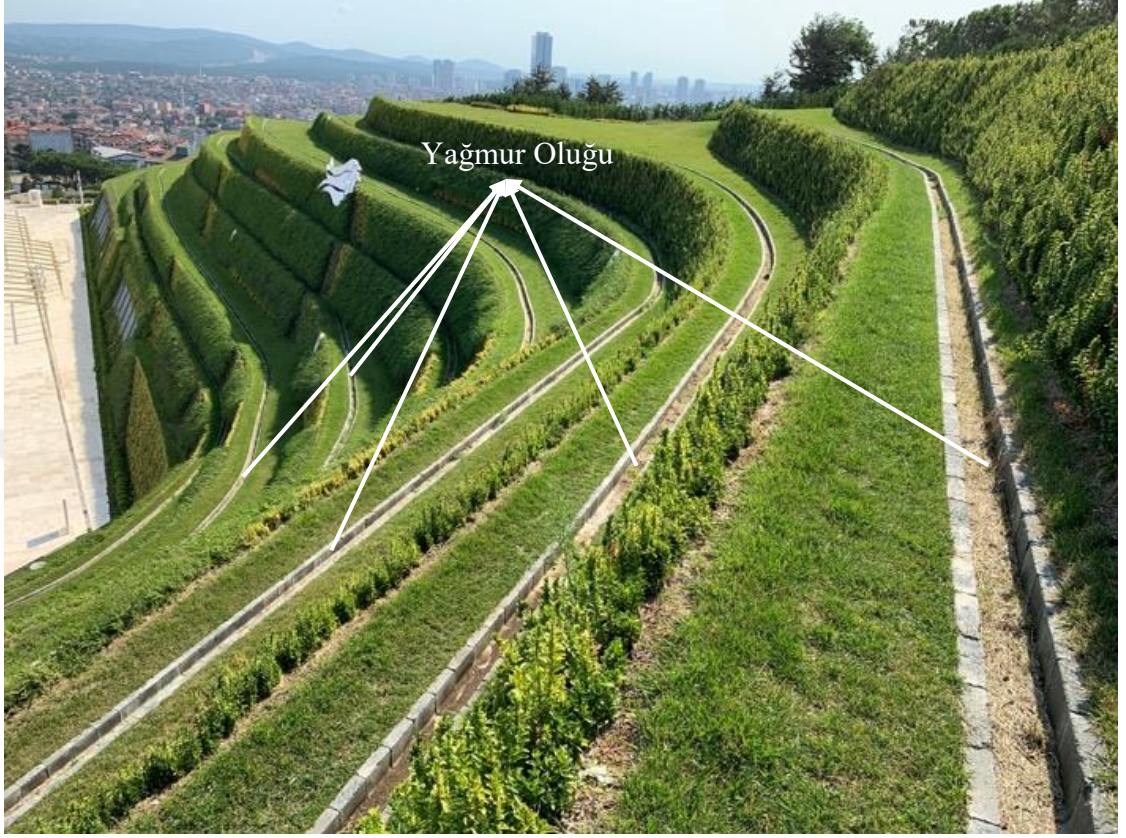
İmalat aşamasında iklim değişikliğinin etkileri ile Şekil 7.1’deki hasarlar oluşmuştur. Oluşan hasarı karşılamak ve aynı sebepten dolayı hasarın oluşmasını engellemek için yağmur oluğu Şekil 7.2’de görüldüğü gibi ekstra imalat olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.1. İklim değişikliğinin dolgu alanına zararı

Proje fizibilite çalışmalarında yağış miktarlarına göre drenaj sistemleri düşünülmüş ve projeye uygun olarak imalatları gerçekleştirilmiştir fakat iklim değişikliğinin önemli ölçüde hissedildiği İstanbul ilinde, fizibilite çalışmalarında planlanan yağış

miktarlarının üzerinde yağışlar oluşmuştur. İklim değişikliğinin dikkate alınmaması ile birlikte yağış miktarındaki artışlar drenaj sistemlerinin yetersiz kaldığını göstermekte ve hasarlar oluşturmaktadır.



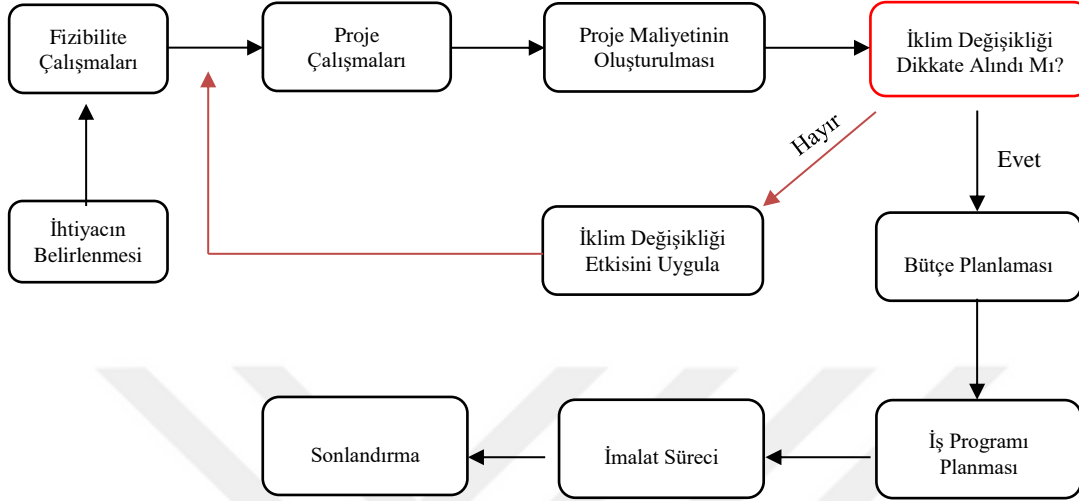
Şekil 7.2. Yağmur oluğu ve iklim değişikliği ihtiyaçları

Projede 10 kademe, 26 metre yükseklikte bir duvar ihtiyacı oluşmuş ve bu yüksekliğe sahip betonarme perde ekonomik olmayacağından dolayı terramesh sistemi seçilmiştir. Projede geosentetik donatı kullanılmadığı varsayılarak maliyet analizi yapılmıştır.

7.3. İklim Değişikliğinin İnşaat Ekonomisi İş Kırılım Yapısındaki Yeri

İnşaat ekonomisinin iş kırılım yapısı, projenin tamamlanabilmesi için işi parçalara bölerek yönetmek anlamına gelmektedir. İnşaat sektöründe proje çalışmaları için öncelikle ihtiyacın ne olduğu belirlenmektedir. İhtiyacı karşılayabilecek projelerin oluşturulabilmesi için fizibilite çalışması yapılmaktadır. Fizibilite çalışması esnasında oluşabilecek sorunlar ele alınmakta ve bu sorunların çözümü adına araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma, inşaat ekonomisi iş kırılım yapısında değişikliğin gerektiğini ortaya koymaktadır (Şekil 7.3). Çünkü; mevcut durumda iklim değişikliği dikkate alınmamaktadır. Proje maliyetinin oluşturulmasından sonra iklim değişikliği

dikkate alınır, proje yaklaşık maliyetine ekstra bir yük getirmeyecektir. İklim değişikliği dolayısı ile 3,3 milyon dolar ilave harcama yapılmıştır (Bosello ve diğerleri, 2006). Dünyanın farklı bölgelerindeki iklim değişikliğini analiz etmek için ortak bir ekonomik model kullanılmalıdır (Oliver ve diğerleri, 2001).



Şekil 7.3. İş kırılım yapısında iklim değişikliğinin yeri

7.4. Terramesh Duvar Sisteminin Maliyet Analizi

Yapı ekonomisi açısından en kritik maliyet tahmininin ön karar (ön tasarım) evresinde ortaya çıktığı kabul edilmektedir (Göktürk, 2007). Ön tasarım aşamasında ise her iş kalemi için ayrı ayrı hesap yapılması gerekmektedir. Terramesh duvar sistemi maliyet analizinde her iş kalemi için ayrı bir poz numarası oluşturulmuştur.

Çizelge 7.2. Maliyet analizinde kullanılan iş kalemleri

Sıra	Poz No	Poz Adı	Birimi	Birim Fiyatı
1	01.010	Yalıtımcı Ustası	saat	15,70 ₺
2	01.210	Yalıtımcı Usta Yardımcısı	saat	11,70 ₺
3	01.501	Düz İnşaat İşçisi	saat	11,50 ₺
4	01.502	Erbab İşçi	saat	12,25 ₺
5	01.507	Birinci Sınıf Usta	saat	15,70 ₺
6	04.112	Elektrik Enerjisi	kwh	0,57 ₺
7	04.278/3G	Muhtelif Tel	kg	5,20 ₺
8	04.278/3F	Galvanizli Tel	kg	4,30 ₺
9	04.601/2D	Geotekstil Keçe Bedeli	m ²	1,40 ₺
10	04.632/01C	Jeomembran Bedeli	m ²	18,45 ₺
11	08.002/1KA	Makine ile Bağlayıcı Madde	m ³	0,83 ₺
12	10.130.1008	Kırmataş Temini	m ³	36,00 ₺
13	10.450.2812	Ø200 Drenaj Boru Bedeli	mt	30,00 ₺
14	KGM/15.140	Stabilize Serimi Makine Bedeli	m ³	1,59 ₺
15	SNBF.14	Kırmataş Nakliyesi	m ³	50,85 ₺

İş kalem isimlerinin tekraren yazılmaması için poz numaralarının kullanılması oldukça faydalıdır. Kullanılan poz numaraları ve birim fiyatları, Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından resmi olarak yayınlamaktadır (CSB 2019). Duvar sistemi analizinde kullanılan iş kalemlerinin fiyatları Çizelge 7.2’de sunulmuştur. Terramesh duvar imalatlarının bir kısmı Çizelge 7.2’de verilen iş kalemleri ile oluşturulabilir. Duvar sistemi oluşturulurken her katmanın ayrı ayrı maliyeti hesaplanır. 1 m³ stabilize dolgu için hangi miktarda kırmataş gerektiği, hangi miktarda bağlayıcı madde gerektiği ve makine ile serimi sırasında makine bedelleri, gerçekleştirilen analizler sonucunda belirlenmiştir. Örneğin 1 m³ stabilizenin serilebilmesi için 10.130.1008 poz numaralı kırmataş temini, 08.002/1KA poz numaralı makine ile bağlayıcı madde temini ve 15.140 poz numaralı makine ile stabilizenin serim bedeli gerekmektedir. İş kalemlerinin analizleri Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca onaylanmıştır. Hangi imalat için hangi iş kalemlerine ihtiyaç duyulduğu, iş kalemlerinin birimi, gerekli miktarı, birim fiyatı, analiz sonuçları ve bağlantıları Çizelge 7.3’de sunulmuştur.

Çizelge 7.3. İş kalemleri birim fiyatları

İmalat Adı	Gerekli İş Kalemi Pozu	Birimi	Gerekli Miktar	Birim Fiyatı	Toplam Maliyet
1 m ³ Stabilize	10.130.1008	m ³	0,7	36,00 ₺	27,04 ₺
	08.002/1KA	m ³	0,3	0,83 ₺	
	KGM/15.140	m ³	1	1,59 ₺	
1 m ² Çit Yapımı	04.278/3G	kg	2,15	5,20 ₺	15,42 ₺
	04.278/3F	kg	0,335	4,30 ₺	
	01.507	sa	0,1	15,70 ₺	
	01.502	sa	0,1	12,25 ₺	
1 m ² Keçe Serimi	04.601/2D	m ²	1,1	1,40 ₺	13,39 ₺
	01.210	sa	0,15	11,70 ₺	
1 m ² Jeomembran Yalıtım Yapılması	01.010	sa	0,4	15,70 ₺	28,07 ₺
	01.501	sa	0,2	11,50 ₺	
	04.632/01C	m ²	1,05	18,45 ₺	
	04.112	kwh	0,2	0,57 ₺	
1 mt Drenaj	10.450.2812	mt	1	30,00 ₺	31,73 ₺
	01.501	sa	0,15	11,50 ₺	

Çizelge 7.2’de belirlenmiş olan iş kalemlerinin birim fiyatları ile Çizelge 7.3’de belirlenmiş olan imalat için gerekli iş kalemleri analizleri birleştirilebilir. Birleştirme sonucunda her imalat için birim fiyat bulunabilir. Her imalat için birim fiyatların bulunması inşaat maliyetinin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Ashworth (1998)’e göre

yaklaşık maliyetin bilinmesi, dengeli harcama planını ortaya koymaktadır. İmalat birim fiyatlarını belirledikten sonra proje yaklaşık maliyetini bulabilmek için, imalat metrajlarının (miktarlarının) bilinmesi gerekmektedir. Her imalatta toplam maliyetin bulunması, metraj ve birim fiyat değerlerinin çarpılmasıyla elde edilir. Her imalat fiyatlarının toplanması, projelerin yaklaşık maliyet değerini verecektir. Bu tez çalışmasına konu olan proje üzerinden hesaplamalar yapılarak, Çizelge 7.4’de metraj değerleri verilmiştir. İmalat birim fiyatları Çizelge 7.3’den alınmıştır.

Çizelge 7.4. Yaklaşık maliyet hesabı

İmalat Adı	Birim Fiyatı(a)	Birim	Metraj(b)	Maliyet(a*b)
Stabilize Serimi	27,04 ₺	m ³	64393,13	1.741.190,24 ₺
Çit Yapımı	15,42 ₺	m ²	5012,89	77.298,76 ₺
Keçe Serimi	13,39 ₺	m ²	7640,35	102.304,29 ₺
Yalıtım Yapımı	28,07 ₺	m ²	6359,99	178.524,92 ₺
Drenaj Yapımı ø200	31,73 ₺	mt	12159,98	385.836,17 ₺
Kırmataş Nakliyesi	50,85 ₺	m ³	64393,13	3.274.390,66 ₺
			Toplam Maliyet	5.759.545,04 ₺

Çizelge 7.4’de proje yaklaşık maliyetinin nasıl hesaplandığı ve toplam maliyet miktarı gösterilmiştir. Normal şartlar altında projenin tamamlanabilmesi için 5.759.545,04 ₺ yatırım gerekmektedir. Teknik detaylara ve gerilme büyüklüğüne göre bu rakam daha yüksek çıkabilmektedir. Dikkat edilirse yaklaşık maliyet oluşturulurken hava sıcaklığından, yağış miktarlarından bahsedilmemiştir. Bu değerler proje oluşturma aşamalarında dikkate alınmasına rağmen, normal iklim koşullarının geçerli olduğu kabul edilir. İkinci bölümde İstanbul ilinde iklim değişikliği yaşandığı meteorolojik verilerle ispatlanmıştır. Proje aşamasında iklim değişikliği dikkate alınmadığından, yağışlar için oluşturulan drenaj sistemleri yetersiz kalmıştır. Yağış miktarındaki artış, stabilize üzerinde lokal çökmelerin yaşanmasına sebep olmuş ve bu çökmeler onarıma alınmıştır. Oluşan çukurlar dolgu malzemeleri ile doldurulmuş ve olayın tekrar yaşanmaması için önlemler alınmıştır. Alınan önlemlerde, yağış miktarındaki artışı rögarlara taşıyabilmek ve çökmeleri engellemek için 1.383 metretül yağmur oluğu imalatı gerçekleştirilmiştir. Yağmur oluğu imalatı gerçekleştirmek projeye ekstra maliyetin yansımaya neden olmuştur. Öngörülemeyen bu maliyet iklim değişikliği sonucu meydana gelmiştir. Proje çalışmaları esnasında iklim değişikliği dikkate alınsaydı, 14.012/2 pozu SNBF.27-Y pozu Y.15.001/1A pozu metrajlarından belirli bir miktar daha az imalat gerçekleştirerek aynı imalat yapılabilirdi. Fakat iklim

değişikliği dikkate alınmadığı için böyle bir durumla karşı karşıya kalındı. Bu durum ise projede öngörülemeyen ekstra maliyetler oluşmasına neden olmuştur. Oluşan ekstra maliyetin hesap analizi Çizelge 7.5’de sunulmuştur.

Çizelge 7.5. Ekstra maliyet hesabı

Poz No	İmalat Adı	Birimi	Birim Fiyatı	Metraj	Maliyet (₺)
14.012/2	El ile Kazı	m ³	59,31	345,75	20.506,43
SNBF.27-Y	Moloz Nakliyesi	ton	27,44	3831,60	105.139,11
24.064	Yağmur Oluğu	mt	35,88	1383,00	49.622,04
03.671(Y)	Vinç Ücreti	sa	101,35	174,00	17.634,90
37.092/3	Bitkisel Toprak	m ³	45,94	1363,20	62.625,41
Y.15.001/1A	Makine ile Kazı	m ³	4,01	2049,00	8.216,49
12.218223	300mm B.Boru	mt	683,00	64,61	44.128,63
12.2190/1	Taban Elemanı	ad	17	278,87	4.740,79
12.2192/1	Konik Elemanı	ad	17	212,45	3.611,65
12.2196/2	Gövde Bileziği	ad	68	193,95	13.188,60
23.255/İB-7	Izgara Kapak	kg	2040	6,99	14.259,60
				Toplam Maliyet	343.673,65

Ekstra maliyet analizinde, oluşan çukurların kapatılması için 6.816 m² alana 20 cm kalınlığında toplam 1.363,20 m³ bitkisel toprak temin edilmiştir. İklim değişikliğinden dolayı oluşan fazla yağışların tahliyesi için 683 metretül ø300 çapında yağmursuyu tahliye hattı döşenmiş ve Çizelge 7.5’e yansıtılmıştır. Yağmursuyu hattının tamamlanabilmesi için 17 adet taban ve konik elemanı ile birlikte 68 adet gövde bileziği kullanılmıştır. Çizelge 7.5’de kullanılan birim fiyatları için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Birim Fiyat Kitabından yararlanılmıştır. Toplam maliyeti Çizelge 7.4’de belirtilen projede, iklim değişikliği nedeni ile 343.673,65 ₺ ekstra maliyete ihtiyaç duyulmuştur. Yaklaşık %6 oranında maliyet artışı gerçekleşmiştir. Gerçekleşen bu maliyet artışının, birim metrekare ve çeşitli parametrelere bağlı olduğu tahmin edilmiştir. Duvar imalatında, her kademenin alan miktarları ve oluşan ekstra maliyetleri yerinde incelenerek hesaplanmıştır (Şekil 7.4). Yağmursuyu hattı için oluşan ekstra maliyetler ise tüm kademelere eşit oranda dağıtılmıştır. Her kademe de oluşan hasarların düzeltilmesi için oluşan maliyetler Şekil 50’de belirtilmiştir. Kademe kademe hesaplanan bu maliyetler, sadece iklim değişikliği sebebiyle oluşan aksaklıkların giderilmesi için kullanılmıştır. Her kademe eşit olarak 2,6m yüksekliğine sahip olup, yağışa maruz kalan alan miktarları yerinde ölçülerek Şekil 7.4’de sunulmuştur. İklim değişikliği hasarlarının önüne geçmek için, her kademeye toplam kaç metre uzunluğunda yağmur oluğu yapıldığı bilgisi de eklenmiştir.

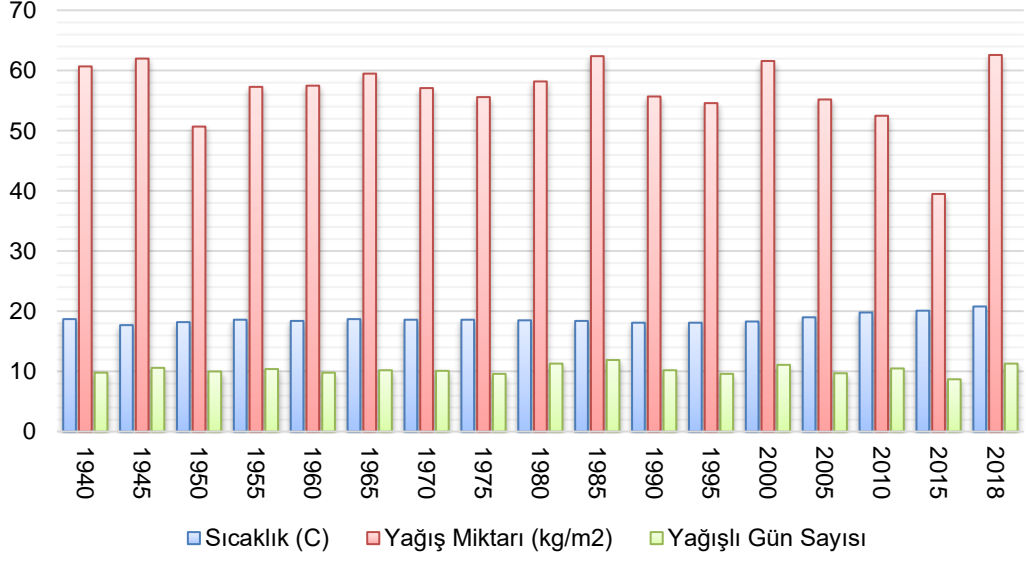
10. Kademe	52 m oluk	690 m ² alan	58.800 ₺	2,6m
9. Kademe	59 m oluk	1538 m ² alan	109.452 ₺	2,6m
8. Kademe	108 m oluk	861 m ² alan	38.322 ₺	2,6m
7. Kademe	124 m oluk	820 m ² alan	33.935 ₺	2,6m
6. Kademe	148 m oluk	715 m ² alan	27.288 ₺	2,6m
5. Kademe	164 m oluk	647 m ² alan	23.120 ₺	2,6m
4. Kademe	173 m oluk	456 m ² alan	17.850 ₺	2,6m
3. Kademe	176 m oluk	302 m ² alan	14.516,65 ₺	2,6m
2. Kademe	217 m oluk	129 m ² alan	9.810 ₺	2,6m
1. Kademe	162 m oluk	121 m ² alan	10.580 ₺	2,6m
				Zemin

Şekil 7.4. İklim değişikliğinin duvarlarda oluşturduğu maliyetler

Her kademenin metrekare cinsinden alanı Şekil 7.4’de gösterilmiştir. Toplam 6.279 m²’lik alan, direkt olarak yağışla temas halindedir. Yüzey alan miktarı arttıkça maliyetin de artacağı açıktır. Yüzey alanı ile maliyetin doğru orantılı olması, üretilecek formül için temel noktası olacaktır. Şekil 7.4 incelendiğinde; iklim değişikliğinden dolayı oluşan hasarların ortadan kaldırılması için her kademede harcanan ekstra maliyet kayıt altına alınmıştır. Maliyetler incelendiğinde ise yağış düşen alan ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Yağışla temas eden alan büyüklüğü arttıkça, maliyetin de arttığı gözlemlenmiştir. Çünkü alan ne kadar büyük olursa o kadar çok yağış alarak deformasyonların daha fazla olmasına neden olacaktır. Üst kademelere doğru yağmur oluşu metrajlarında düşüş olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise, ilk kademedan son kademeye doğru katman boylarının kısalmasıdır. Bir üst katmana geçildiğinde, katmanlar ihtiyaca göre açılmalar yapabilir ve palye alanını genişletebilir. Palye, iki katman arasında yürünebilir yol alanı olarak tanımlanabilir. Yağmur oluşu metrajının düşmesiyle maliyetin düşülmesi gerektiği düşünülse de palye alanının yani yağmurla temas eden toplam yüzey alanının fazla olması; maliyeti artırıcı bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

7.5. İklim Değişikliğinin Etkisi

Normal şartlar altında sorunsuz olarak bitirilmesi beklenen proje, iklim değişikliğinden kaynaklanan sebeplerden dolayı hem zamanında bitirilememiş hem de daha yüksek maliyet oluşturmuştur. Dünya’nın çeşitli yerlerinde gerçekleştirilen çoğu proje, iklim değişikliği projelendirme aşamasında dikkate alınmadığı için benzer sorunlara yaşamaya başlamıştır.



Şekil 7.5. Son 83 yılın meteorolojik veri diyagramları

İklim değişikliği sadece hava sıcaklıklarının artması değildir. İklim değişikliği; havanın daha sıcak ve yağışların düzensizliğine doğru evrilmektedir. Şekil 7.5’de belirtilen değerler 5 yıllık ortalama sıcaklık, yağış miktarı ve yağışlı gün sayısıdır. Örneğin 1940 yılı için belirtilen Şekil 7.5’teki yağış miktarı değeri; Çizelge 7.1’de verilen 1935, 1936, 1937, 1939 yıllarına ait aylık yağış miktarı değerlerinin ortalamasıdır. Her 5 yıl periyodunda ortalama değerler alınmıştır. Şekil 7.5’den anlaşılacağı üzere 1935 yılından bugüne kadar İstanbul ilimizde hava sıcaklığı yaklaşık 2 °C artma eğilimi göstermiştir. Sıcaklık faktörü dolgu alanlarındaki nem oranını azaltacağından, maliyet analizi ile sıcaklığın ters orantılı olduğu bulunabilir. Tahmin edildiği üzere formül üretilirken en kritik bilgi, yağış miktarı ve yağışlı gün sayısıdır. Yağış miktarı ile maliyet doğru orantılıdır. Yağış miktarı arttıkça, ekstra maliyetler artacaktır fakat yağışlı gün sayısı da etkileyici faktörlerden biridir. Yani, yağışlı gün sayısının artması ve yağış miktarının değişmemesi durumunda; maliyeti etkileyici unsur meydana gelmeyecektir. En tehlikeli senaryo, yağışlı gün sayısının azalması ve yağış miktarının artmasıdır. Çünkü, yağışlı gün sayısının azalması durumunda; yağış miktarının artması normalin üzerinde yağış olduğunu göstermektedir. Örneğin 1 ayda 10 yağışlı gün olduğunu ve ortalama 20 kg/m² yağış miktarı olduğunu düşünelim. Günde ortalama 2 kg/m² yağış düştüğü anlamına gelir. Başka bir durumda 1 ayda 5 yağışlı gün olduğunu ve ortalama 22 kg/m² yağış miktarı olduğunu düşünelim. Günde ortalama 4,4 kg/m² yağış düştüğü anlamına gelir ve bir önceki duruma göre yağış miktarı yaklaşık 2 kat artmış olacaktır. Bu konuda önemli

olan anlık yağışlardır. Verilen örnekten anlaşılacağı üzere; iklim değişikliği maliyeti ile yağış miktarı doğru orantılıdır. Sıcaklık, yağışlı gün sayısı, yağış miktarı, yüzey alanı gibi etkenlerin doğru veya ters orantılı olduğunu saptamak; formül üretilirken iterasyonlarda büyük kolaylık sağlayacaktır. 8 ay boyunca kayıt altında tutulan maliyetler, incelenen son 83 yıllık meteorolojik verileri ile bilgisayar destekli programlarda binlerce iterasyon yapılarak eşleşme sağlanmaya çalışılmıştır.

Çizelge 7.1 incelendiğinde, yağış miktarındaki artışa nazaran, yağışlı gün sayısında artış görünmemektedir. Bölgenin daha fazla yağış alması ve yağışlı gün sayısındaki stabil durum; anlık şiddetli yağışların yaşandığı anlamına gelmektedir. Son 83 yılda maksimum hava sıcaklığının 2 °C artması, minimum hava sıcaklığının giderek düşmesi ve yağış miktarının artması; iklim değişikliğinin ispatı niteliğindedir. Yağmursuyu tahliyesinin düşünülmüş olmasına rağmen Şekil 7.1'de görüldüğü gibi yağışlar, dolgu alanlarında su toplanmaları nedeniyle hasarlar oluşmuştur. Mevcut tahliye kanalları, yağış miktarındaki ciddi artışlardan dolayı suları tahliye edememiştir. Toplanan sular dolgu alanına zarar vererek, öngörülemeyen ekstra maliyetler doğurmuştur. Bu çalışma, ürettiği yeni bir formül ile ekstra maliyetlerin gelişigüzel gerçekleşmediğini ispatlamıştır. Formül oluşturulurken Excel Makro programı kullanılmış ve lineer regresyon yöntemiyle iterasyonlar gerçekleştirilmiştir.

$$k = \begin{cases} 1.46, & h < 3 \\ 1.63, & 3 < h < 15 \\ 1.94, & 15 < h < 30 \\ 2.52, & h > 15 \end{cases} \quad (7.1)$$

$$Em = \frac{M}{100} * \left[\frac{A}{u*k} + \frac{h}{10} + \left\{ \frac{1}{\lambda} * \left(\frac{Cmax}{Cmin} - 1 \right) \right\} + \frac{Ym}{Yg*10} \right] \quad (7.2)$$

Denklemden kullanılan Em iklim değişikliğinin projede oluşturacağı ekstra maliyeti, M yaklaşık maliyeti, A yağışla temas eden yüzey alanının m² cinsinden değeri, u uzun kenarın metre cinsinden değeri, k bu tez çalışmasında üretilen denge katsayısı, h dolgu alanı yüksekliğinin metre cinsinden değeri, λ sıkışma oranının % cinsinden değeri, Cmax ortalama maksimum hava sıcaklık değeri, Cmin ortalama minimum hava sıcaklık değeri, Ym yağış miktarının kg/m² cinsinden değeri, Yg yağışlı gün sayısını belirtmektedir. Denge katsayısı k değeri (7.1) denklemden bulunmaktadır. Örneğin 2 metre yüksekliğe sahip dolgu alanı için 1.46 değeri, 26 metre yüksekliğe sahip dolgu alanı için 1.94 değeri alınmalıdır. λ sıkışma oranı uluslararası ASTM D1557 standardından alınır. Bu çalışmada λ değeri 0.95 (%95 sıkıştırma) olarak tespit

edilmiştir. Oluşturulan formülün ispatını yapmak için Şekil 7.4'den gerçek maliyet değerlerinin alınıp, (7.2) formülünden elde edilecek sonuçlarla karşılaştırılması gerekmektedir. Toplam 10 kademedan oluşan uygulama projesinde, her kademenin metrekare cinsinden alan miktarı ve iklim değişikliğinden dolayı oluşan hasarların tamiri için harcanan bedellerin Türk Lirası cinsinden değeri Şekil 7.4'de verilmiştir. Oluşturulan formül ile her kademe için hesap yapıldıktan sonra, gerçek maliyet değerine bölünmelidir. Bölme işlemi sonucunda karşımıza çıkan değer doğruluk oranını verecektir. Toplam alan için formülden oluşacak sonucunun, toplam gerçek maliyete bölünmesi ise formülün toplam doğruluk oranını verecektir. Bu yöntem ile 1 tanesi toplam maliyet olmak üzere 11 ayrı doğruluk testi yapılmış olacaktır. Toplam doğruluk oranının yüksek fakat kademe doğruluk oranlarının düşük çıkması gibi bir durumla karşılaşılması durumunda, formülün geliştirilmesi gerekebilir.

Çizelge 7.6. Oluşturulan formülün doğruluk oranları

Kademe	Gerçek Maliyet (₺)	Formül Hesabı (₺)	Doğruluk Oranı
1	10.580	9.955,86	%94,10
2	9.810	9.354,49	%95,36
3	14.516,65	13.778,45	%94,91
4	17.850	17.407,47	%97,52
5	23.120	22.572,45	%97,63
6	27.288	26.067,47	%95,53
7	33.935	33.096,57	%97,53
8	38.322	38.458,94	%99,64
9	109.452	109.844,06	%99,64
10	58.800	59.355,07	%99,06
Toplam	343.673,65	339.890,83	%98,90

Her kademede yüksek doğruluk oranı sağlanmıştır. Formül, kademe hesaplamalarında %94 oranlarında doğru sonuçlar verirken; toplam maliyette ise %98,90 gibi yüksek doğruluk oranı ortaya koymuştur (Çizelge 7.6). Çalışma sonunda şu sonuçlar elde edilmiştir.

- Üretilen (7.2) formülü, %98,90 gibi yüksek bir oranda doğru sonuç vermektedir.
- Hava sıcaklığının düşmesi inşaat maliyetini arttırır.
- Yağış miktarı artarsa veya yağışlı gün sayısında azalma olursa (birim yağış miktarında artış olursa) inşaat maliyeti artar.
- İklim değişikliği, iş yönetimini etkileyerek iş programlarını aksatmakta ve yaklaşık maliyetin %6'sı kadar ekstra maliyet oluşturmaktadır.
- İklim değişikliği etkisi arttıkça, inşaat ekonomisi de olumsuz yönde etkilenmeye devam edecektir.

Oluşturulan formülün yüksek bir oranda doğru sonuç verdiği ispatlanmıştır. Hava sıcaklık değerindeki düşüşün inşaat maliyetini arttırdığı belirtilmişti. Hava sıcaklık değerinin tek başına proje maliyetini etkilemediğini vurgulamak gerekir. Yağış miktarındaki artış, yağışlı gün sayısı ve ortalama sıcaklık değerlerinin aynı anda etkidiği göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Tek başına aylık ortalama hava sıcaklık değerinin proje maliyetine etkisi ayrı bir çalışma konusu olabilir.

(7.2) formülünden anlaşılacağı üzere hava sıcaklık değerlerinin değişmediği durumlarda dahi, aylık ortalama yağışlı gün sayısı ve aylık ortalama yağış miktarı değerlerindeki artışlar, proje maliyetine doğrudan etki yapabilecek durumdadır. Sadece yağışlı gün sayısı veya sadece yağış miktarı değil, iki faktörün de aynı anda yükselişte olduğu durum göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. İklim değişikliği bu teze konu olan uygulama projesine yaklaşık olarak %6 ekstra maliyet oluşturmuş olsa da proje büyüklüğü arttıkça bu oranın yükseleceği unutulmamalıdır. Özellikle yol ve havalimanı projelerinde yüksek miktarda dolgu ihtiyacı olan alanlara ihtiyaç doğacaktır. Bu alanlar iklim değişikliği ile doğrudan temas halinde olan bölgelerdir. İklim değişikliğinin dikkate alınmadığı durumlarda yüksek ekstra maliyetler ile karşılaşılabilir.

İklim değişikliği evrensel bir konudur. Sadece tek bir kişinin, ülkenin veya şirketin mücadele edebileceği bir konu değildir. Küresel mücadele gerektirir. Küresel mücadeleye konu olmadığı düşünülürse, iklim değişikliğinin ilerleme hızı artacaktır. İnsan kaynaklı sera gazı emisyonlarının iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkisinin önlenmesi ve belli bir düzeyde durdurulması için uluslararası iş birliğine gidilmesi

amaçlanmıştır (Dağdemir, 2005). Küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle küresel bir mücadele ön şarttır (Köse, 2018). İklim değişikliğinin müzakere edilmesi ile gelişim ekonomisi belirlenmelidir (Tanner ve Allouche, 2011). Dünya üzerinde birçok alanda etkisini daha sert şekilde gösterecek ve bu çalışmanın uygulama projesine belki de daha çok etki edecektir. İklim değişikliği ilerlemeye yüz tuttuğunda inşaat maliyetleri artık %6 ile sınırlı kalmayacak, belki de %20 ekstra maliyet düzeylerine ulaşacaktır. Bunların yaşanılması istenmiyorsa evrensel şekilde iklim değişikliği ile mücadele edilmeli ve yönetmeliklere konu olan mevsimsel koşullar güncellenmelidir. Özellikle drenaj ve yağmur sularını konu alan altyapı çalışmalarında kullanılan yağış miktarları değerleri, metrekareye düşen yağış miktarı değerleri iklim değişikliği koşullarına göre dikkate alınmalıdır. Günümüzdeki drenaj sistemleri yağmur sularının transferi için yeterli olmaktadır. Henüz proje tamamlanmadan, fizibilite çalışmaları aşamasında iklim değişikliği dikkate alınmalı ve drenaj sistemlerinin taşıyacağı yağmur suyu hesaplamaları dikkatle yapılmalıdır.

Bugünkü şartlarda yaklaşık %6 ekstra maliyet ile sorunlar çözüme kavuşturulabilir. (7.2) formülü ile gelecek tahmin edilmeye çalışılabilir. 2050 yılında maksimum hava sıcaklığının 2018 verilerine göre 2 °C daha yüksek, minimum hava sıcaklığının 1,5 °C daha düşük, yağış miktarının 3 kg/m² daha yüksek, yağışlı gün sayısının 2 gün daha az olduğunu varsayalım.

$$Em = \frac{5.759.545,04}{100} * \left[\frac{6279}{1383*1,63} + \frac{26}{10} + \left\{ \frac{1}{0,95} * \left(\frac{(20,1+2)}{(13,7-1,5)} - 1 \right) \right\} + \frac{(63,07+3)}{(13,5-2)*10} \right] = 391.957,54\text{₺}... (8.1)$$

(7.2) denkleminde faydalanarak 2050 yılında iklim değerleri belirtildiği şekilde gerçekleşirse 343.673,65 ₺ olan öngörülemeyen maliyet, 391.957,54 ₺ olarak gerçekleşecektir. Yaklaşık olarak %7 öngörülemeyen maliyet artışı olacaktır. Birçok alanda öngörülemeyen maliyet artışları yaşanmaktadır. Bu çalışma, ortak bir ekonomik model ortaya koymaktadır. Oluşturulan formül yüksek doğruluk oranı verse de literatürde iklim değişikliğinin dolgu alanları inşaat ekonomisine hangi düzeyde etkidiğini gösteren başka bir çalışma bulunmamaktadır. Benzer bir çalışma bulunmadığından; bu formülün başka bir yöntemle kıyaslanması mümkün olmamıştır. Bu çalışmadan sonra, iklim değişikliğinin inşaat ekonomisi üzerinde etkilerini inceleyen başka bir çalışma gerçekleştirildiğinde; oluşturulan bu formül ile kıyaslanması yarar sağlayacaktır. Kıyaslama sonucunda yöntemin geliştirilebilmesi açısından yeni bulgular ortaya çıkabilecektir.

İklim değişikliğinin etkileri sadece yağış miktarlarıyla sınırlı değildir. İklim değişikliği; kuraklık, sıcaklık değişimleri, deniz ve okyanuslardaki su seviyelerinin artması, okyanus sularındaki asit miktarlarının artması, buzulların erimesi gibi olayları da beraberinde getirmektedir. Çeşitli meteorolojik verilerin analiz edilmesiyle birçok öngörü ortaya konabilmektedir. Yağış miktarında yaşanacak artışlar, ortalama yağışlı gün sayısının azalması durumunda metrekaresine düşecek yağış miktarlarında artışlar meydana gelecektir. Sıcaklık değerlerindeki değişimler ve sera gazlarının salınımı kontrol altına alınmadığı sürece, zincirleme reaksiyonlar meydana gelecektir. Endüstriyel sektör ve gelişen mekanik teknolojiler ile atmosfere büyük miktarlarda karbondioksit (CO₂) salınımı gerçekleştirilmektedir. Doğal dengenin bozulması, iklim değişikliğindeki meteorolojik verilerin değişimini hızlandırmaktadır. Dengenin bozulmaması ve iklim değişikliğinin kontrol altına alınması için gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar; atmosferdeki CO₂ miktarının 450ppm seviyesini aşmaması hedefini tutturmaya yöneliktir.

Bu çalışma, iklim değişikliği etkilerinin inşaat mühendisliği çalışmalarını etkilediğini ortaya koymuştur. İklim değişikliği etkilerinin artması durumunda, inşaat mühendisliği çalışmalarına etkisini arttıracığı da araştırmalar sonucunda görülmektedir. Meteorolojik veriler sadece inşaat ekonomisini değil, aynı zamanda geosentetik donatılarla güçlendirilmiş dolgu alanlarının stabilitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bilimsel çalışmalar, küresel bir mücadele ile iklim değişikliğinin kontrol alınabileceği gerçeğini ortaya koymaktadır ancak bu konuda ülkeler arasında fikir birliği henüz sağlanamamıştır. İklim değişikliğini kontrol altına almak için küresel bir mücadele oluşmaması durumunda, inşaat mühendisliği çalışmaları iklim değişikliği ile oluşacak sorunların önüne geçebilecek modeller üretilmelidir. İlgili konularda yayımlanan yönetmelikler ve kanunlar iklim değişikliği etkilerinin artarak devam edebileceğini öngörmelidir. Bu öngörü sonucunda ilgili yönetmelikler ve kanunlar güncellenmelidir. Özellikle yağmursularının deşarj yönetmeliklerinde hesaplamalar için kullanılan formüller iklim değişikliği konusunu dikkate almamaktadır. İklim değişikliğinden kaynaklanan yağış miktarlarındaki ciddi değişimler, deşarj hatlarının hesaplamalarında bilimsel çalışmalar sonucunda ortaya çıkacak katsayılar ile yönetmeliklere dahil edilmelidir. Böylelikle inşaat mühendisliği çalışmaları, iklim değişikliği konusu ile adapte olarak ortaya çıkabilecek sorunların önüne geçebilecektir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değişikliğinin ekonomi üzerindeki etkisi her geçen gün artmaktadır. İnşaat ekonomisi planlanırken, iklim değişikliği etkilerinin de göz önünde bulundurulması zorunlu hale gelmiştir. Projeyi oluşturma aşamasında iklim değişikliği göz önüne alınırsa, ilerleyen zamanlarda öngörülemeyen maliyetler meydana gelmeyecektir. İklim değişikliğinin inşaat maliyetine etkisini tespit eden (7.2) formülü, gelecekteki inşaat ekonomisi planlamalarında maliyetin daha öngörülebilir olmasını sağlayacaktır. Evrensel inşaat mühendisliği projelerini konu alan standartlar, iklim değişikliği konusunu irdeleyerek revize edilmelidir. Özellikle yağmursuyu ve drenaj sistemlerinin iklim değişikliği dikkate alınarak yeniden oluşturulması büyük önem arz etmektedir. İklim değişikliğinin sigorta, ulaştırma, enerji sektörleri üzerindeki etkilerinin araştırılması bundan sonraki çalışmaların konusunu oluşturabilir. İklim değişikliği, sadece bir ülkenin veya kişinin mücadele edebileceği bir konu değildir. Uluslararası bir fikir birliği sağlanmalı ve ortak bir çözüm yolu aranmalıdır. Aksi takdirde inşaat ekonomisinde dengeler bozulacak, can ve mal kayıplarının önüne geçilemeyecektir.

Gerçekleştirilen deneyler ve analizler sonucunda; geosentetik donatılarla güçlendirilmiş dolgu alanlarında, her kademenin üstünde geogrid donatı kullanılmasının zorunlu olmadığı ortaya çıkmıştır. Kullanılan donatının çekme dayanımı, sıkışma oranı, dolgu alanının yüksekliği ve dolgu miktarı değerleri; donatının hangi kademelere yerleştirileceğini belirlemektedir. 6.2 bölümünde bulunan değerlendirmeler de bu tez çalışması sonucu ortaya çıkan bulgular arasında yer almaktadır. Stabilitate analizleri sonucunda; 30 metre yüksekliğe kadar istinat yapısı ihtiyacı oluşursa, geosentetik donatılarla güçlendirilmiş terramesh sisteminin kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Titreşimli silindir ile kademeler sıkıştırılmış ve %95 sıkışma oranı sağlanamadığından, dinamik kompaksiyon yöntemi uygulanmıştır. Dinamik kompaksiyon yöntemi ile istenilen sıkışma değerlerinin üstüne çıkılabilmektedir. Böylelikle geosentetik donatılarla güçlendirilmiş zeminlerde, en etkili sıkıştırma yönteminin dinamik kompaksiyon yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır. Yine bu tez çalışmasının ortaya koyduğu bir bulgu da; geosentetik donatılarla

güçlendirilmiş kademeli dolgu sistemlerinde, her kademe arasında geogrid donatı kullanılmasının zorunlu olmadığıdır. Her kademe arasında geogrid donatı kullanılmadığı bazı durumlarda da dolgu alanı stabil halde kalabilmektedir. Çünkü analiz sonuçları, geogrid donatıların çekme dayanımları arttıkça kademeler arasındaki sürtünme kuvvetini arttırdığı ortaya çıkmıştır. Bu tez çalışmasını dikkate alarak geliştirmeyi düşünen kişiler, aynı yükseklikte betonarme duvarın maliyeti inceleyebilir ve geosentetik donatılarla güçlendirilmiş zeminlerin maliyetini inceleyerek kıyaslama yapabilirler. Geosentetik donatılı sistemi veya betonarme sistemini göz önüne alarak; sistem seçiminde uzunluk veya yükseklik eşik değeri belirlenebilir. Örneğin 13 metre yüksekliğe kadar betonarme yapıların seçilmesinin gerekliliği, 13 metreden daha yüksek duvarlar için geosentetik donatılarla güçlendirilmiş dolgu alanı tavsiye edilebilir.

KAYNAKLAR

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S. ve Boyce G. M.** (1996). Slope Stability and Stabilization Methods, John Wiley & Sons, Inc., Amerika Birleşik Devletleri, ISBN10: 9780471384939
- Abu-Farsakh, M., Coronel, J. ve Tao, M.** (2007). Effect of Soil Moisture Content and Dry Density on Cohesive Soil–Geosynthetic Interactions Using Large Direct Shear Tests, Vol. 19, DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:7(540)
- Akalın, M.** (2014). İklim Değişikliğinin Tarım Üzerindeki Etkileri: Bu Etkileri Gidermeye Yönelik Uyum ve Azaltım Stratejileri, Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, pp. 351-377
- Ambauen, S., Leshchinsky, Y., Xie, D. ve Rayamajhi, D.** (2016). Service-state behavior of reinforced soil walls supporting spread footings: a parametric study using finite-element analysis, Vol. 23, pp. 156-170, DOI: 10.1680/jgein.15.00039
- Ashworth, A.** (1998). Cost Studies of Buildings, Pearson/Prentice Hall
- ASTM D1557** (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))
- Bathurst, R. ve Karpurapu, R.** (1993). Large-Scale Triaxial Compression Testing of Geocell-Reinforced Granular Soils, Geotechnical Testing Journal, Vol. 16, pp 296-303, DOI: 10.1520/GTJ10050J
- Bathurst, R. J. ve Hatami, K.** (2005). Development and verification of a numerical model for the analysis of geosynthetic-reinforced soil segmental walls under working stress conditions, Vol. 42, DOI: 10.1139/t05-040
- Bosello, F., Roson, R. ve Tol, R. S. J.** (2006). Economy-wide estimates of the implications of climate change: Human health, Vol 58, pp.579-591, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.07.032
- Bromhead, E.N.** (1986). The Stability of Slopes. Surrey University Press, Amerika Birleşik Devletleri, ISBN10: 0903384558
- BS 8006-1:2010** (2010). Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills, 20p, England
- BS 8006-1:2010+A1:2016** (2016). Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills
- Chung, W. ve Cescante, G.** (2006). Experimental and numerical study of soil-reinforcement effects on the low-strain stiffness and bearing capacity of shallow foundations, Vol. 25, pp. 265-281, DOI: 10.1007/s10706-006-9109-0
- ÇSB** (2019). 2019 İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları, Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

- Dağdemir, Ö.** (2005). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Ekonomik Büyüme: İklim Değişikliği Politikasının Türkiye İmalat Sanayii Üzerindeki Olası Etkileri, Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, Cilt 60, Sayı 2, 49-70
- Deb, K., Basudhar, P. K. ve Chandra, S.** (2007). Generalized Model for Geosynthetic-Reinforced Granular Fill-Soft Soil with Stone Columns, Vol. 7, DOI: 10.1061/(ASCE)1532-3641(2007)7:4(266)
- Elvis, L., Saimir, H., Marco, V. ve Daniele, T.** (2018). The applications of geosynthetics and steel wire products in major Albanian roads, Geotechnical Codes and Design Methods, Vol. 2, DOI: 10.1002/cepa.787
- EN 1998-5:2004** (2004). Jump to navigation Jump to search Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 5 : foundations, retaining structures and geotechnical aspects
- Gharpure, A.D., Kumar, S. ve Scotto, M.** (2012). Composite soil reinforcement system for retention of very high and steep fills –A case study, 5th European Geosynthetics Congress, Valencia
- Ghazavi, M. ve Lavasan, A. A.** (2008). Interference effect of shallow foundations constructed on sand reinforced with geosynthetics, Vol. 26, pp. 404-415, DOI: 10.1016/j.geotexmem.2008.02.003
- Göktürk, İ.** (2007). "İnşaat sektöründe fizibilite aşamasında maliyet tahmini yapmakta karşılaşılan zorluklar ve çözüm önerileri üzerine bir değerlendirme", İstanbul Teknik Üniversitesi
- Güler, E.** (2016). Terramesh Sistem Sedde Tasarımı ile İlgili Geoteknik Değerlendirme Raporu, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- Hatami, K., Bathurst, R.J. ve Di Pietro, P.** (2001). Static Response of Reinforced Soil Retaining Walls with Nonuniform Reinforcement, DOI: 10.1061/(ASCE)1532-3641(2001)1:4(477), Ontario, Canada
- Holtz, R.** (2009). Geosynthetics for soil reinforcement, DOI: 10.1201/9780203875599.ch6}
- IPCC** (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basic Contribution of Working Group I to The Third Assesment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, 2001 a
- Jayswal, A. R., Malekwala, F. S. ve Rautela, C.** (2014). Flood Protection Work by Terramesh Wall, Vol. 2, pp. 232-236, ISSN: 2321-0613
- Karpurapu, R. ve Bathurst, R. J.** (1995). Behaviour of geosynthetic reinforced soil retaining walls using the finite element method, Vol. 17, pp. 279-299, DOI: 10.1016/0266-352X(95)99214-C
- Keleşoğlu, K.** (2016). Şevlerin Stabilitesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Geoteknik Eğitim Kursu, İstanbul
- Keskin, İ.** (2017). Zemin Mekaniği Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi; Temel Kavramlar, Karabük Üniversitesi
- Koo, B.B.** (2011). Successful Models of Non-Governmental Organizations in Consultative Status: Best Practices on Climate Change

- Köse, İ.** (2018). İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye'nin Paris Anlaşması'nı İmza Süreci, Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, pp.55-81, DOI: 10.18354/esam.329348
- Latha, G. M. ve Somwanshi, A.** (2009). Bearing capacity of square footings on geosynthetic reinforced sand, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 27, pp. 281-294, DOI: 10.1016/j.geotexmem.2009.02.001
- Lelli, M., Laneri, R. ve Rimoldi, P.** (2015). Innovative Reinforced Soil Structures for High Walls and Slopes Combining Polymeric and Metallic Reinforcements, Vol 125, pp. 397-405, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.099
- Ling, H. I., Liu, H., Kaliakin, V. N. ve Leshchinsky, D.** (2004). Analyzing Dynamic Behavior of Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls, Vol. 130, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9399(2004)130:8(911)
- McEldowney, J. F.** (1996). Environment and Law: An Introduction for Environmental Scientists and Lawyers, Prentice Hall, London
- Mendelsohn, R., Smith, J. B. ve Numann, J. E.** (2004). The Impact of Climate Change on the United States Economy, Cambridge University Press
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü** (2019). Kadıköy Rıhtım İstasyonu Verileri, 1935-2018
- Nernheim, A., Bathurst, R. J., Walters, D. L., Allen, T. M., Burgess, P. ve Saunders, D. D.** (2009). No Access Influence of reinforcement stiffness and compaction on the performance of four geosynthetic-reinforced soil walls, Geosynthetics International, Vol. 16, pp. 43-59, DOI: 10.1680/gein.2009.16.1.43
- Nordhaus, W. D.** (2007). A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change, Journal of Economic Literature, pp.686-702
- Okman, C.** (1998). Zemin Mekaniği, s:235
- Oliver, D., Georg, K., Christiane, K., Gernot, K. ve Katrin, S.** (2001). Economic impact of climate change: simulations with a regionalized climate-economy model, Kiel Working Paper, Germany
- Palmeira, E. M.** (2009). Soil-geosynthetic interaction: Modelling and analysis, Vol. 27, pp. 368-390, DOI: 10.1016/j.geotexmem.2009.03.003
- Parkinson, C. L., Rothrock, D. A. ve Scambos, T.** (2000). Climate Change in the Arctic and Antarctic: The Latest Observational Evidence on Changes in Sea Ice and Ice Shelves, US Global Change Research Program Seminar Series, Washington DC
- Rimoldi, P. ve Intra, E.** (2009). Design and Construction of Tall Reinforced Embankments in Static And Seismic Conditions, Milano, Italy
- Rowe, R. K. ve Skinner, G. D.** (2001). Numerical analysis of geosynthetic reinforced retaining wall constructed on a layered soil foundation, Vol. 19, pp. 387-412, DOI: 10.1016/S0266-1144(01)00014-0
- Severinghaus, J. P., Sowers, T., Brook, E. J., Alley, R. B. ve Bender, M. L.** (1998). Timing of abrupt climate change at the end of the Younger Dryas interval from thermally fractionated gases in polar ice, 391, 141-146

- Tanner, T. ve Aloouche, J.** (2011). Towards a New Political Economy of Climate Change and Development, Special Issue: Political Economy of Climate Change, Volume 42, pp.1-14, DOI: 10.1111/j.1759-5436.2011.00217.x
- Tatlısöz, N., Edil, T.B. ve Benson, C.** (1998). Interaction Between Reinforcing Geosynthetics and Soil-Tire Chip Mixtures, Vol. 124, DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0241(1998)124:11(1109)
- Tol, R. S.** (2018). The Economic Impacts of Climate Change, Review of Environmental Economics and Policy, Volume 12, DOI: 10.1093/reep/rep027
- TS EN 10244-2** (2014). Çelik tel ve tel mamuller- Çelik tel üzerine demir dışı metal kaplamalar- Bölüm 2: Çinko veya çinko alaşımlı kaplamalar, TK23: Metalürji Teknik Komitesi
- Türkeş, M.** (1997). Hava ve iklim kavramları üzerine, TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 355, pp.36-37, Ankara
- Türkeş, M.** (1997). Küresel İklimin Geleceği ve Kyoto Protokolü, Jeopolitik 29, 355, s.99-107
- Uzuner, B.A.** (2007). Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, s:293
- Walther, G., Post, R., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., Fromentin, J., Hoegh, O. ve Bairlein, F.** (2002). Ecological responses to recent climate change, 416, pp.389-395
- Yılmaz, M.** (2010). Karapınar Çevresinde Yeraltı Suyu Seviye Değişimlerinin Yaratmış Olduğu Çevre Sorunları, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, Sayı 2, s.145-163, DOI: 10.1501/Csaum_0000000033
- Zannoni, E., Vicari, M. ve Scotto, M.** (2009). Deformations of Reinforced Walls ins Relationship with Reinforcement Used, Durban, South Africa

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Mustafa KIRMIZI
Doğum Tarihi, Yeri : 1990, Adıyaman
E-posta : mustafakirmizi@yahoo.com



ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2011, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Yüksek Lisans : 2015, İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM:

2011 – 2012 : Çağrıkent Konut İnşaatı Saha Mühendisi, Başarı İnşaat San. Ve Ltd. Şti., Adıyaman
2012 – 2014 : Avrupa Yakası 2010 Yılı 1. Kısım Atıksu ve Yağmursuyu Kanal İnşaatı Projesi Saha Mühendisi, İSKİ, İstanbul
2014 – 2015 : Avrupa Yakası 2010 Yılı 1. Kısım Atıksu ve Yağmursuyu Kanal İnşaatı Projesi Şantiye Şefliği, İSKİ, İstanbul
2015-2016 : Florya VM Medical Park Hastanesi Yapım İş, Şantiye Şefliği, İstanbul
2016-halen : İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İhale Şefliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

Kırmızı, M., Altan, M.F., 2019. The Effects of Climate Change on the Construction Economy; Terramesh Wall Example, *Business & Management Studies an International Journal*, doi: 10.15295/bmij.v7i5.1275

DiĞER YAYINLAR:

Kırmızı, M., Önder, H., 2015. İkinci Dereceden Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri Proje Yönetim Metodolojisi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, doi: 10.17932/IAU.IAUD.m.13091352.2015.7/28.1-17

KİTAPLAR:

Kırmızı, M., 2016. Proje Yönetim Metodolojisi, ISSN-10: 3659973890