



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GERİ DOLGUSUNDA GERİ
DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASI
KULLANILAN VE GEOTEKSTİL İLE
GÜÇLENDİRİLEN İSTİNAT DUVARI
DAVRANIŞININ MODEL DENEYLERLE
ARAŞTIRILMASI**

Hakan ŞİBİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2024
KONYA

TEZ KABUL VE ONAYI

Hakan ŞİBİL tarafından hazırlanan “Geri Dolgusunda Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası Kullanılan ve Geotekstil ile Güçlendirilen İstinat Duvarı Davranışının Model Deneylerle Araştırılması ” adlı tez çalışması 13/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı ERKAN

Danışman

Prof. Dr. Murat OLGUN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz YENGİNAR

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
LEE Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğü tarafından 221004009 Nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hakan ŞİBİL

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DOLGUSUNDA GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASI KULLANILAN VE GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLEN İSTİNAT DUVARI DAVRANIŞININ MODEL DENEYLERLE ARAŞTIRILMASI

Hakan ŞİBİL

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat OLGUN

2024, 158 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Murat OLGUN
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı ERKAN
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz YENGİNAR

İnşaat atıkları içerisinde en yüksek orana sahip olan beton atıklarının geri dönüştürülerek agrega olarak kullanılması ve böylece bu atıkların kontrol edilebilir duruma getirilmesi günümüzde üzerinde önemle durulan konular arasındadır. Bu tez çalışması kapsamında geri dolgu malzemesi olarak geri dönüştürülmüş beton atıkları (GDBA) kullanılan ve geotekstil donatıdan oluşan istinat duvarları için çalışmalar yürütülmüştür. Deneysel çalışmada geri dolgu malzemesi olarak kum zemin içerisine %20, 40, 60 miktarında GDBA ilave edilmiş ve ayrıca %60 GDBA + geotekstil donatı kullanılarak model istinat duvarları üzerinde şerit temel sistemi için yüklemeler gerçekleştirilmiştir. Geri dolgu malzemesi olarak kullanılan karışımlar için Harvard mini kompaksiyon deneyi yapılarak optimum su muhtevaları %100 kum için ve %20, 40, 60 GDBA ilaveli karışımlar için sırasıyla; %1.9, 4.5, 5.0 ve 8.0 olarak bulunmuştur. Karışımlar üzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinde; GDBA'nın %0, 20, 40, 60 miktarları için kohezyon değerleri (c) sırasıyla 0.1, 0.12, 0.45 ve 0.50 kPa ve içsel sürtünme açıları (ϕ) sırasıyla 35° , 34° , 32° , 30° olarak hesaplanmıştır. Geri dolgu malzemesinde GDBA oranı arttıkça içsel sürtünme açısı değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Model deneylerde, betonarme istinat duvarı laboratuvar ortamına uygun şekilde ölçeklendirilmiş ve imal edilmiştir. Laboratuvar ölçekli olarak yapılan yükleme deneylerinde istinat duvarı arkasındaki geri dolgu malzemesi üzerindeki şerit temel üzerine yayılı yük olarak %0, 20, 40, 60 karışım oranları için 80 kPa olacak şekilde, %60 GDBA + Geotekstil donatı ile desteklendiği durumda 135 kPa değerine kadar yükleme yapılmıştır. Yüklemedeki değerler duvarda yapısal hasar oluşturmayacak ancak hareketin bir miktarda olsa gözlemlenebildiği değerler olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, kum zemin içerisinde kullanılacak optimum GDBA oranının %20-40 aralığında olduğu ve bu miktardaki GDBA kullanımının %100 kum kullanıldığında oluşan deformasyonlara yakın sonuçların oluşmasına neden olduğu belirlenmiştir. %60 GDBA+ Geotekstil donatı ilaveli geri dolgu malzemesinde 80 kPa yük etkisi altında donatısız duruma göre deformasyonun yaklaşık %11 miktarında azaldığı belirlenmiş ve 135 kPa' a kadar yüklediğinde ise %100 Kum ile yakın deformasyon değerleri elde edilmiştir. Geotekstil donatının zeminde oluşan çekme gerilmelerini çok iyi derece karşıladığı görülmüş, deformasyonlarda yüksek oranda azalmalar olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm karışım değerleri için yapılan yükleme deneylerindeki aynı şartlar kullanılarak Plaxis 3D programında analizler gerçekleştirilmiştir. Plaxis 3D programından elde edilen veriler ile model yükleme deneylerinden elde edilen veriler karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Plaxis 3D programıyla yapılan analizler neticesinde de optimum karışım oranının %20-40 aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. %60 GDBA ilaveli karışım oranında Plaxis 3D analizine göre sistemin çıktığı ve yeterli taşıma gücünde olmadığı gözlemlenmiştir. Aynı geri dolgu malzemesi Geotekstil donatı ile güçlendirildiğinde ise duvar arkasında oluşan deformasyonların geri dolgusu %100 DA olan durumdaki ile

benzerlik gösterdiği görülmüştür. Optimum değer olan %20 GDBA+%80 DA karışım oranı için gerçek boyutlarındaki istinat duvarı Plaxis 3D programında modellenmiş ve Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yayımladığı Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Yönetmeliği Madde 2.12.9. da belirtilen konsol destek sistemlerinde $\delta h = 0.010H$ (kazı derinliğinin yüzde biri) yanal deplasman sınır değer şartının sağlandığı belirlenmiştir. Ölçeklendirme ilkelerine bağlı kalınarak oluşturulan model istinat duvarı, laboratuvar deneyleri ve Plaxis 3D ile yapılan analizler birbirleri ile örtüşmektedir.

Anahtar Kelimeler: Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası, İstinat Duvarı, Geotekstil Donatı, Ölçeklendirme Kuralları, Plaxis 3D



ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE RETAINING WALL BEHAVIOR USING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE IN BACKFILLING AND REINFORCED WITH GEOTEXTILE WITH MODEL EXPERIMENTS

Hakan ŞİBİL

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Murat OLGUN

2024, 158 Pages

**Jury
Prof. Dr. Murat OLGUN
Asst. Prof. Dr. İbrahim Hakkı ERKAN
Asst. Prof. Dr. Yavuz YENGİNAR**

Concrete wastes, which have the highest proportion in construction wastes, are recycled and used as aggregates and thus making these wastes controllable are among the issues that are being focused on Decently today. Within the scope of this thesis, studies were conducted for retaining walls consisting of geotextile reinforcement and recycled concrete wastes (GDBA) were used as backfill material. In the experimental study, GDBA in the amount of 20, 40, 60% was added to the sand floor as backfill material and also 60% GDBA + geotextile reinforcement was used for loading the strip foundation system on the model retaining walls. The Harvard mini compaction experiment was conducted for the mixtures used as backfill material and the optimum water contents were found to be 1.9, 4.5, 5.0 and 8.0% for 100% sand and for mixtures with the addition of 20, 40, 60% GDBA, respectively. In the cutting box experiments performed on mixtures; The cohesion values (c) for the 0, 20, 40, and 60% amounts of GDBA were calculated as 0.1, 0.12, 0.45, and 0.50 kPa, respectively, and the internal friction angles (EN) were calculated as 350, 340, 320, and 300, respectively. It is observed that the internal friction angle values decrease as the GDBA ratio increases in the backfill material.

In the model experiments, the reinforced concrete retaining wall was scaled and manufactured in accordance with the laboratory environment. In laboratory-scale loading experiments, the strip on the backfill material behind the retaining wall was loaded up to a value of 135 kPa when supported with 60% GDBA + Geotextile reinforcement, so that the load spread on the foundation was 80 kPa for 0, 20, 40, 60% mixture ratios. The values in the installation were selected as values that will not cause structural damage to the wall, but where the movement can be observed even if it is in some amount. As a result of experimental studies, it has been determined that the optimal GDBA ratio to be used in a sand floor is in the December 20-40% range, and the use of GDBA in this amount causes results close to the deformations that occur when 100% sand is used. In the backfill material with the addition of 60% GDBA+ Geotextile reinforcement, it was determined that the deformation decreased by about 11% under the influence of 80 kPa load compared to the non-equipped condition, and when loaded up to 135 kPa, close deformation values were obtained with 100% Sand. It has been seen that the geotextile reinforcement meets the tensile stresses formed on the ground very well, and it has been observed that there are high decreases in deformations.

Analyses were performed in the Plaxis 3D program using the same conditions in the loading experiments for all mixture values. When the data obtained from the Plaxis 3D program and the data obtained from the model loading experiments were compared, it was seen that the results were close to each other. As a result of the analyses performed with the Plaxis 3D program, it was concluded that the optimal mixing ratio is in the December of 20-40%. According to the Plaxis 3D analysis at a mixture rate of 60% GDBA addition, it was observed that the system collapsed and did not have sufficient carrying

power. When the same backfill material is reinforced with Geotextile reinforcement, it has been observed that the deformations formed behind the wall are similar to the situation where the backfill is 100%. For the optimum value of 20% GDBA+80% DA mixture ratio, the retaining wall in its actual dimensions was modeled in the Plaxis 3D program and published by the Ministry of Environment Urbanism and Climate Change in the Regulation on the Design and Application Principles of Excavation Support Structures Article 2.12.9. it has been determined that $\delta h = 0.010H$ (one percent of the excavation depth) lateral displacement limit value requirement is met in the console support systems specified in. The model retaining wall created by adhering to the principles of scaling, laboratory experiments and analyses performed with Plaxis 3D overlap with each other.

Keywords: Recycled Concrete Aggregate, Retaining Wall, Geotextile Reinforcement, Scaling Rules, Plaxis 3D



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca deneyimini ve desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Murat Olgun'a ve her türlü desteği sağlayan Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı Erkan'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımındaki yardımlarından dolayı Geoteknik Anabilim Dalı Öğr. Gör. Alican Şenkaya ve Arş. Gör. Ekrem Burak Toka hocalarıma da teşekkür ederim.

Her zaman destekleriyle eğitim hayatımda yanımda olan aileme de sevgilerimi sunar teşekkür ederim.

Hakan ŞİBİL
KONYA-2024



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Tezin Önemi ve Kapsamı	12
3.2. İstinat Duvarları	15
3.2.1. İstinat Duvarları Çeşitleri ve Tahkikleri	19
3.2.2. İstinat duvarlarına etkiyen yükler	24
3.2.3. İstinat duvarlarının stabilite hesapları:.....	29
3.3 Geosentetikler	37
3.3.1. Geotekstiller.....	39
3.3.2. Geogridler	41
3.3.3 Geomembranlar	43
3.3.4. Diğer Geosentetikler	43
3.4. Ölçeklendirme kuralları	44
3.5. Geri Dönüştürülmüş Beton Ağreganın Özellikleri ve Temini	46
3.5.1. Elek Analizi Deneyi.....	49
3.5.2. Mini (Harvard) Proktor Deneyi	54
3.5.3. Kesme Kutusu Deneyi	55
3.5.4. Piknometre Deneyi	57
3.6. İstinat Duvarında Boyutlandırma.....	59
3.6.1. Betonarme Konsol İstinat Duvarının İmalatı.....	63
3.6.2. Beton numuneleri üzerinde Serbest basınç deneyleri	71
3.7. İstinat Duvarları Arkasında Dolgu Malzemesi Üzerine Yükleme Sisteminin Kurulması ve Deneylerin Gerçekleştirilmesi.....	72
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	83
4.1. Deneylerde Kullanılan Zeminlerle İlgili Yapılan Deneylerin Sonuçları	83
4.1.1. Proktor deney sonuçları	83
4.1.2. Kesme kutusu deneyleri.....	88
4.1.3. İstinat Duvarı Betonunu için Alınan Küp Numunelerin Analizi	92
4.2. Yükleme Deneyleri	92
4.2.1. Geri dolgu malzemesi %100 DA olan istinat duvarında yükleme deneyleri	94
4.2.2. Geri dolgu malzemesi %20 GDBA + %80 DA karışımı olan istinat duvarında yükleme deneyleri.....	96
4.2.3. Geri dolgu malzemesi %40 GDBA + %60 DA karışımı olan istinat duvarında yükleme deneyleri.....	99

4.2.4. Geri dolgu malzemesi %60 GDBA + %40 DA karışımı olan istinat duvarında yükleme deneyleri.....	101
4.2.5. Geri Dolgusunda %60 GDBA + %40 DA olan ve Geotekstil donatı kullanılarak güçlendirilen istinat duvarı için yükleme deneyleri.....	103
4.3. PLAXIS-3D Analizleri	108
4.3.1. Geri dolgu malzemesi %100 doğal kum (DA) olan durumda Plaxis 3D analizleri.....	112
4.3.2. Geri dolgu malzemesi %20 GDBA + %80 DA olan durumda Plaxis 3D analizleri.....	117
4.3.3. Geri dolgu malzemesi %40 GDBA + %60 DA olan durumda Plaxis 3D analizleri.....	121
4.3.4. Geri dolgu malzemesi %60 GDBA + %40 DA olan durumda Plaxis 3D analizleri.....	125
4.3.5. Geri dolgu malzemesi %60 GDBA + %40 DA + Geotekstil donatı olan durumda Plaxis 3D analizleri.....	130
4.3.6. Geri Dolgu Malzemesi %20 GDBA + %80 DA Karışımı için Gerçek Boyutlu İstinat Duvarında Yapılan Plaxis 3D Yükleme Analizleri.....	135
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	139
5.1 Sonuçlar	139
5.2. Öneriler	143
KAYNAKLAR	144

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Alan
b_s	: Sayfa düzlemine dik uzunluk
D_r	: Eğilme rijitliği
B	: Temel genişliği
C	: Kohezyon
E	: Elastisite modülü
H	: Yükseklik
G_s	: Güvenlik katsayısı
I	: Atalet momenti
kPa	: Kilopascal
K_a	: Aktif toprak basıncı katsayısı
K_p	: Pasif toprak basıncı katsayısı
K_0	: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
m	: Metre
mPa	: Megaspascal
N	: Newton
N	: Ölçek faktörü
N_c	: Taşıma gücü eşitliğinde 1. terim için taşıma gücü katsayısı
N_d	: Deplasman ölçek faktörü
N_{Dr}	: Eğilme rijitliği için ölçek faktörü
N_{dt}	: Temel kalınlığı için ölçek faktörü
N_E	: Elastisite modülü için ölçek faktörü
N_{f2}	: Düzlem deformasyon şartlarında kuvvet için ölçek faktörü
N_{f3}	: Üç boyutlu şartlarda kuvvet için ölçek faktörü
N_g	: Yapay yerçekimi şartlarında oluşturulmuş Santrifüj model
N_G	: Zemin rijitliği için ölçek faktörü
N_{gr}	: Yerçekimi ivmesi için ölçek faktörü
N_1	: Atalet momenti için ölçek momenti
N_k	: Geçirimsizlik için ölçek faktörü
N_L	: Uzunluk için ölçek faktörü
N_q	: Taşıma gücü eşitliğinde 2. terim için taşıma gücü katsayısı
N_s	: Gerilme için ölçek faktörü
N_{st}	: Birim deformasyon ölçek faktörü
N_{td}	: Dinamik olaylar için ölçek faktörü
N_{tkons}	: Konsolidasyon süresi için ölçek faktörü
N_V	: Hız için ölçek faktörü
N_γ	: Taşıma gücü eşitliğinde 3. terim için taşıma gücü katsayısı
N_μ	: Viskozite için ölçek faktörü
N_ρ	: Yoğunluk için ölçek faktörü
N_{pa}	: Akışkan için ölçek faktörü
U_1	: Orta üst saat okuması

O_1	: Orta ortanca saat okuması
A_1	: Orta alt saat okuması
U_2	: Sol saat okuması
U_{ort}	: Üst saat okumaları ortalaması
σ_0	: Sükunetteki yanal toprak basıncı
γ	: Zemin yoğunluğu
ϕ	: Kayma direnci açısı
σ_a	: Aktif durum için yanal basınç
σ_p	: Pasif durum için yanal basınç
δ	: Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı
ΔZ	: Düşey deformasyon
τ	: Kayma gerilmesi
ρ_s	: Tane Yoğunluğu
ρ_{su}	: Su yoğunluğu
δh	: Yatay deplasman
$\delta h/H$	: Yatay deplasman oranı

Kısaltmalar

ASTM	: Amerika standart yönetmeliği.
DA	: Doğal agregası (Kum)
GDA	: Geri Dönüşüm Agregası
GDBA	: Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Günümüzde insan nüfusunun sürekli olarak artması bir takım sorunları beraberinde getirmiştir. Bu sorularında çözülmesine yönelik yöntemler pek çok alanda uygulanmaktadır. Sürdürülebilirliğin temelini oluşturan, doğal kaynakların korunması, atık maddelerin azaltılması gibi konuları kapsayan bu uygulamalar çağdaş mühendisliğin temelini oluşturmaktadır. En başta nüfus artışı gibi sebeplerden dolayı yeni yapı alanları yapma ihtiyacı oluşmakta ve bu doğrultuda inşaatların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bununla beraber özellikle ülkemizde görülen büyük depremler sonucu oluşan yıkımlar ve kentsel dönüşüm uygulamaları ciddi miktarlarda yapısal atıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Son yüzyılın önemli çevre sorunu haline gelen atık madde kirliliğinde inşaat sektöründe oluşan yapısal atıklar önemli bir yer tutmaktadır. Bu atık maddeler elden geçirilip yeniden kullanılabilirdiği gibi geri dönüşüm yöntemleriyle de diğer ürünler için hammadde kaynağı olmaktadır. Geri kazanılan bu atık malzemeler kullanıldıkları yapı için ekolojik bir değer olmanın yanı sıra ekonomiye yarar da sağlayarak yapısal ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadırlar.

Yıkıntı atıkları olarak adlandırılan beton, tuğla, kiremit, sıva atıkları gibi malzemeler inşaat sektörü için çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Şekil 1.1,1.2, 1.3). Bunlar;

- Beton agrega malzemesi,
- Asfalt agrega malzemesi,
- Yol dolgu malzemesi,
- Kanal dolgu malzemesi,
- Kanal drenaj malzemesi,
- İstinat duvarı arka dolgu ve drenaj malzemesi,
- Bina geri dolgu ve drenaj malzemesi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.



Şekil 1.1: Beton, tuğla, kiremit artıklarının istinat duvarı arka drenaj sisteminde kullanılması



Şekil 1.2: Altyapı imalatlarında boruların yataklanması esnasında borunun sabit şekilde kalması amacıyla yıkıntı atıklarının agrega olarak kullanılması



Şekil 1.3: Çöp depolama alanlarında inşaat atıklarının agrega olarak kullanılması

2015 yılında dünya çapında inşaat sektöründe toplam agrega tüketiminin yaklaşık 48 milyar m³ olduğu ve bu oranın her yıl %5 arttığı düşünülmektedir. Hızla artan bu tüketime alternatif olarak geri dönüştürülmüş beton agregalar düşünülmüştür. Özellikle de II. Dünya Savaşı'ndan sonra Almanya'da, tahrip olmuş binaların yeniden inşasında GDBA kullanılmıştır (Mohammed ve Najim 2020). Ayrıca GDBA'nın kullanılması atıkların kirlilik oluşturmamasını engellemesi, çevre kirliliğini azaltması, çevreyi koruması ve nakliye masraflarını azaltması da ek bir avantaj oluşturur. Son yıllarda da yapılan çalışmalar incelendiğinde GDBA ile ilgili yapılan çalışmaların sayısının arttığı gözlemlenmiştir.

Genel anlamda dayanma duvarı, zeminler arasındaki seviye farkının korunması için kullanılan inşaat mühendisliği yapısıdır. Eski dönemlerde yapılan dayanma yapıları basınca karşı koyacak ağır bloklar ile sağlanmaktaydı. Ancak günümüzde çimentonun endüstriye sunulmasıyla harçlı örme duvarlar, sonra da beton ve betonarme duvarların yapımına geçilmiştir (Önalp, 1992). Dayanma duvarları taş, betonarme, donatılı toprak betonarme, prefabrik dayanma yapıları gibi çeşitli vardır. Ülkemizde büyük çoğunlukla konsol betonarme tipi istinat duvarı kullanılmaktadır.

Dayanma yapıları tasarlanırken arazi şartlarına uygun olmasına dikkat edilmeli duvara gelebilecek yükler iyi analiz edilmelidir. Özellikle de duvara gelen su basıncı göz ardı edilmemeli, uygun drenaj sistemleri yapılmalıdır.

Zeminde geotekstil kullanımının temel amacı sağladığı çekme dayanımı sayesinde zemin içerisindeki dayanımı artırması ve sonuç olarak yatay deplasmanları azaltıp sistemin stabilitesini artırmasıdır (Mohiuddin, 2003). Taşıma gücü yeterli olmayan zeminlerde projelendirme yapılırken zeminin taşıma gücünü iyileştirmek son derece önemlidir. Bu yöntemlerden hem ekonomik olanı hem de uygulama açısından en pratik olanı zeminde geotekstil donatı kullanılmasıdır. Bu donatılar zemin taşıma gücünü artırdığı gibi hem de membran etkisi yaparak zayıf zemine gelen basıncı dağıtarak farklı oturumları azaltır.

Bu tez çalışması kapsamında geri dolgusunda geri dönüştürülmüş beton agregası (GDBA) bulunan istinat duvarı laboratuvar ölçekli olarak boyutlandırılmış ve geoteknik laboratuvarı içerisinde tanka yerleştirilmiştir. Bu çalışmada geri dönüşüm beton agregası, kampüs alanı içerisindeki atık parke taşlarından elde edilmiştir. Parke taşları çeneli kırıcı yardımıyla kum boyutlarında küçültülmüş ve geri dolguda kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. %0, 20, 40, 60 oranlarında GDBA, kum ile karıştırılıp geri dolguda kullanılacaktır. Hazırlanan karışım optimum su muhtevasında karıştırılıp serilecektir. Daha sonrasında tanka yerleştirilen deney sistemine yüklemeler yapılacak ve bu yük altındaki deformasyonlar ölçülecektir. Elde edilen verilerden yola çıkarak istinat duvarlarında geri dönüştürülmüş beton agreganın kullanılabilirliği yorumlanacaktır. İstinat duvarı tasarımında ölçeklendirme kurallarına bağlı kalınacak, gerçek bir istinat duvarı ölçeklendirilerek tanka uygun hale getirilecektir. Laboratuvar deneyleri sonrasında bu sistem Plaxis 3D programında modellenecek ve yükleme yapılarak elde edilen sonuçlar laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Bu kapsamda GDBA'ların tekrar kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Geri dönüştürülmüş beton agregasının tekrar kullanılabilirliğinin araştırılmasına dair günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır ve çalışmalar halende devam etmektedir. Bu çalışmalarda kentsel dönüşüm, deprem vb. sonucu ortaya çıkan beton atıkların tekrar kullanılabilirliği ve tekrar kullanımdaki davranışı ile malzeme özellikleri üzerine etkileri incelenmektedir. Bu çalışmalar yapılırken GDBA'nın fiziksel, kimyasal, mekanik ve hidrolik özellikleri üzerinde durulmuş, kullanıldığı alanla ilgili uygunluğu sağlanıp sağlanmadığı üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında ilgili literatürde yapılan bazı çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

Kahyaoğlu ve Şahin (2017) yılında yapmış oldukları çalışmada teorik tasarım esaslarına dayalı dizayn edilmiş olan 3 metre yüksekliğindeki geogrid donatılı istinat duvarını arazide modellemişlerdir. Bu çalışmada 3 m yükseklik, 2 m genişlik ve 5 m uzunluğundaki istinat duvarı 1/5 oranında ölçeklenerek laboratuvar ortamında modellenmiştir. Geri dolgu malzemesi üst yüzeyinden sürşarj yükü etki ettirilmiş ve duvar deplasmana zorlanmıştır. Deneyler sonucunda duvarda oluşan yatay yer değiştirmeler ve donatılara gelen gerilmeler ölçülmüştür. Çalışma sonucunda duvar ön yüzeyindeki maksimum yatay deplasmanın 3. Donatı tabakası seviyesinde (H/3) duvar yüksekliğinin %1.5'i oranında gerçekleştiği görülmüş ve donatılardaki maksimum gerilmelerin ise H/3 seviyesinde duvar ön yüzünden 0.9 m (0.3H) ileride olduğu ve bu noktadan sonra duvardan uzaklaştıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Sistemde oluşan yatay zemin gerilmelerinin Rankine aktif toprak basıncından daha düşük değerde olduğu da gözlemlenmiştir.

Kılıç ve Gök (2021) yılında yapmış oldukları çalışmada, silindirle sıkıştırılmış atık betonları uygun boyutta öğüterek yeniden silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde kullanmışlardır. Atık agregaları iri agrega olarak %0, 50, 100 oranlarında kullanmışlardır. Atık agrega dışında da iri agrega olarak dolomit agregası, ince agrega olarak da doğal kum ve bağlayıcı olarak ise CEM I 42,5R portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çalışma da su/çimento oranı (s/ç) 0.36 olarak belirlenmiştir. Silindirle sıkıştırılmış beton numuneleri üretilirken her bir kademe için 15 saniye sıkıştırma süresi olmak üzere sıkıştırma 2 kademe gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneleri kalıptan çıkardıktan sonra doygun suda küre bırakmışlardır. Üretilen betonların birim hacim ağırlık, 7 ve 28 günlük basınç dağılımı, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü ve aşınma direnci

değerleri ölçülmüştür. Bu deneyler sonucunda, atık silindirle sıkıştırılmış beton agregasının Los Angeles aşınma direnci, su emme gibi beton kalitesini belirleyen fiziksel özellikleri sağlaması konusunda nispeten homojenlik sağlaması ve silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde yeniden kullanım potansiyeli olduğu belirlenmiş, değerlendirilen atıkların ekonomik yönden ve sürdürülebilirlik açısından katkı sağlayabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Wen ve ark. (2014) yapmış oldukları çalışmada geri dönüştürülmüş betonların agrega olarak yeni beton yollarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Washington eyaletinde coğrafi olarak farklı 3 bölgeden elde edilmiş geri dönüşüm beton agregaları, karakteristikleri, taze beton özellikleri ve sertleşmiş beton özellikleri üzerine deneyler yapmışlardır. GDA'lar karışım içerisine doğal iri agrega yerine %0, 15, 30, 45 arasında değişen oranlarda kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 20 adet beton numune üretilmiştir. Üretilen numunelerden 2 tanesinde GDA kullanılmamış ve referans numune olarak belirlenmiştir. Üç farklı GDA ile 6 farklı karışım hazırlanmış ve bu agregalarla üretilen betonların yol üzerindeki performansları tespit edilmiştir. Bu numuneler üzerinde çökme, hava içeriği ve yoğunluk özelliklerini tespit etmek üzere deneyler yapılmıştır. Ayrıca geri dönüştürülmüş agregalar için de su emme deneyi, Los Angeles aşınma deneyleri yapılmıştır. Üç farklı kaynaktan elde edilen agregalarla yapılan beton özellikleri Washington Eyaleti Karayolları Departmanı şartnamesindeki kriteri sağlamıştır. Hacim olarak %45 oranında GDA ile üretilen betonun herhangi bir önemli farklı olmadığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda GDA ile üretilen beton agregaların Washington Eyaletinde portland çimentosu kullanılarak üretilen yeni beton yollarda iri agregaların yerine belirli oranlarda kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Köken ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada Konya İnşaat Mühendisleri Odası'ndan elde edilen 28 günlük silindir basınç dayanımları 20 MPa olan beton numunelerini öğütürerek elde edilen agreganın yeniden beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Agrega örnekleri üzerinde su emme birim ağırlık, aşınma mukavemeti ve donma- çözülme deneyleri yapmışlardır. Deneyde 3 farklı grup oluşturmuşlardır. Birinci grupta %100 GDA kullanılmıştır. İkinci grupta kum olarak kırma taş agregası, iri agrega olarak ise GDA kullanılmıştır. Üçüncü grupta ise %100 kırma taş agrega kullanmışlardır. Hazırlanan beton numuneler 7 ve 28 günlük olarak kırılmış ve beton silindir basınç mukavemetleri ve yarmada çekme mukavemeti elde edilmiştir. Birinci grup için 7 günlük beton basınç mukavemeti ve 28 günlük beton basınç mukavemeti, üçüncü grup için 7 günlük beton basınç mukavemeti ve 28 günlük beton basınç mukavemeti

sırasıyla %33 ve %34 daha az çıkmıştır. Agregâ miktarının %61 'inin GDA olarak kullanıldığı ikinci karışımın 28 günlük beton basınç mukavemeti, üçüncü grup için elde edilen sonuçtan %18 daha az çıkmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında geri dönüşüm agregâların beton üretiminde kullanımının artması sonucunda taze betonun işlenebilirliğinin azaldığı, 7 ve 28 günlük beton basınç mukavemetlerinin ve yarmada çekme dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Demirel ve Şimşek (2015), yapmış oldukları çalışmada erken yaştaki betonların GDA olarak beton üretiminde kullanılabilirliği üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada kalker kökenli kırma taş agregâsı ve 7 günlük C30 atık betonundan elde edilen GDA'yı kullanmışlardır. Beton karışımında ise CEM I 42,5R tipi çimento ve termik santral uçucu kül kullanmışlardır. 14 farklı beton numunesinin her birinden 6 adet olmak üzere toplamda 84 adet 100x200 mm boyutlarında silindir numune hazırlamışlardır. GDA'lar karışım içerisine iri ve ince agregâ olmak üzere ağırlıkça %0,10,20,30,40,50 oranında kullanılmıştır. Karışımındaki çimento miktarının %20 si kadar uçucu kül ve %1,2 si kadar da süper akışkanlaştırıcı kimyasal kullanmışlardır. Hazırlanan beton numuneleri üzerinde 28 günlük elastisite modülleri ve 28 ile 90 günlük basınç değerleri elde edilmiştir. Bu deneyler sonucunda GDA'ların aşınma kaybının azaldığını, su emme miktarları fazla olduğundan dolayı betonların karışım suyu ihtiyaçlarının arttığı, iri GDA'lar ile üretilen beton numunelerin basınç dayanımlarının ince olanlara göre daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. En genel anlamla da GDA'ların beton üretiminde kullanılabileceği sonucu çıkarılmıştır.

Kılıç ve Kadayıfçı (2007), silis dumanının atık beton agregâsından elde edilen beton üzerine etkilerini deneysel bir çalışma yaparak araştırmışlardır. Atık betonu Isparta'da yıkılan bir binanın hafriyatından elde etmişlerdir. Atık agregâ – kırmataş karışımı, atık agregâ- silis dumanı karışımı ve atık agregâ-silis dumanı- süper akışkanlaştırıcı karışımı olmak üzere 3 farklı numune hazırlayıp bu numuneleri elek analizi, taze beton birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre atık beton- kırmataş agregâsından elde edilen betonlarda mineral katkısı olarak silis dumanının kullanılması birim hacim ağırlık değerlerini %2,46- 5,39 azaltmış, çökme değerlerini %22-44 artırmıştır. Basınç ve dayanım değerlerinde ise 7. gün %21-32 ve 28. gün için %10-19 azaltmıştır. Ultrases geçiş hızı değerinde ise %2-7 oranında azaltmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ışığında atık beton agregâları kullanılarak üretilen betonlarda silis dumanının dayanım artırıcı olarak kullanılmaması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Cabral ve ark. (2008), yapmış oldukları çalışmada geri dönüşümlü iri agregaya ile doğal agregayı farkı oranlarda karıştırıp karşılaştırmalı bir analiz yapmışlardır. Çalışmada 3 farklı beton numunesi test edilmiştir. Birinci beton numunesi tamamen doğal agregalarla üretilmiş ve kontrol numunesi olarak değerlendirilmiştir. İkinci beton karışımında %50 doğal iri agregaya %50 geri dönüştürülmüş iri agregadan üretilen beton numunesi, üçüncü beton karışım numunesi de %100 geri dönüştürülmüş agregadan üretilmiş beton numunesidir. Çalışma kapsamında işlenebilirlik, birim hacim ağırlığı, 28 gün sonra su emme ve aşınma dayanımı, 2-7 ve 28 günlük basınç dayanımı, 28 günlük yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü, 28 günlük eğilme mukavemeti test edilmiştir. Beton özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla 99 adet beton üretilmiştir. Bu çalışma sonucunda,

- Taze betonun birim hacim ağırlığı geri dönüştürülmüş agregaya miktarı arttıkça küçük bir azalma gösterdiği,
- İri agregaların beton hava miktarı üzerinde bir etkisinin olmadığı,
- Beton basınç dayanımının geri dönüştürülmüş agregaya miktarına bağlı olarak değiştiği,
- Betondaki su emme miktarının geri dönüştürülmüş agregaya miktarı arttıkça yükseldiği,
- Betonun elastisite modülünün geri dönüştürülmüş iri agregaya miktarı arttıkça azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Topçu (1993), beton kırıklarının agregaya olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada BS16 beton kırığı agregaları kullanarak, BS 16 ve BS 20 beton elde etmeyi amaçlamıştır. BS16 kalitesindeki betonu laboratuvar ortamında kırarak gradasyona tabi tutmuştur. Üretilen betonların kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla birim ağırlık, çökme, yayılma, serbest basınç ve eğilme deneyleri yapmıştır. Çalışma sonucunda,

- Beton kalitesine geri dönüştürülmüş agregaların yanı sıra kum ve çakıl özelliklerinin de etki ettiğini,
- Geri dönüştürülmüş beton agregaların çeneli kırıcıda uygun granülometride kırılması gerektiği,
- Beton kırığı agregalar iri taneli yapıya sahip olduğundan dolayı kullanım miktarı arttıkça işlenebilirliğinin azaldığı,
- Geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılarak üretilen betonların birim ağırlıklarının normal betona göre daha düşük olduğu,

- Geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak oluşturulan silindir ve küp betonun basınç mukavemetlerinin normal betona göre azaldığı ancak yine de istenilen mukavemette betonlar üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Guido (1985), yapmış olduğu bir çalışmada gevşek kum zeminlerdeki taşıma gücü kapasitesine geotekstillerin etkisini araştırmayı amaçlamıştır. Bu doğrultuda 1 ile 4 sıra arası örgüsüz geotekstilleri zemine yerleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında belirli bir miktar oturma yapan zeminin taşıma gücü kapasitesinde belirgin artışlar görülmüştür.

Geri dönüştürülmüş beton agreganın normal agregadan farklı en belirgin yanı etrafındaki yapışmış çimento harcıdır. Çünkü kullanılmış beton kırıldığında beton içerisindeki harç, GDBA'nın üzerinde de var olmaktadır. Bu harcın hacmi 16-32 mm arasındaki çaplarda agrega tane dağılımının %25-35 arasında, 8-16 mm arasındaki tane çaplarında agrega tane dağılımların da %40, 4-8 mm arasındaki tane çaplarında agrega tane dağılımında %60 oranında bulunmaktadır (Hansen ve Narud, 2003). Bu harç GDBA'nın birçok özelliğine etki etmektedir fakat sülfat hücumuna ve hızlı donma çözülme durumlarına karşı zaafiyet meydana getireceği için GDBA sadece yapısal amaçla kullanılmamalıdır (Akentuma, 2013).

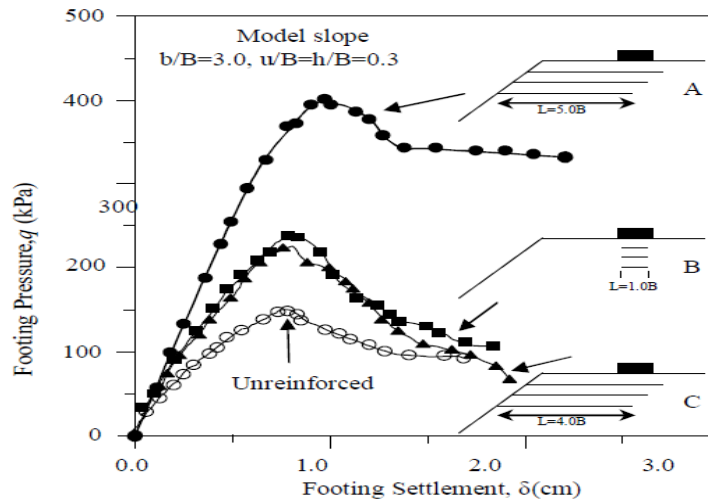
Sarıbaş ve Ok (2019), dolgu malzemesi olarak iki farklı tipte GDBA kullanılmış olan konsol istinat duvarının sismik performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Dolgu malzemesi olarak GDBA kullanılmış ve bu agregaların özellikleri agrega deneyleri ile belirlenmiştir. Geri dolgusunda %25-50-75 ve %100 oranında GDBA içeren betonarme istinat duvarı için çalışmalar yapılmış ve sonuçları geri dolgusunda %100 agrega içeren istinat duvarı için elde edilen sonuçla karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ışığında içsel sürtünme açılarının ve efektif yer ivmesi katsayılarının, istinat duvarının devrilme momenti ve toplam aktif basınç değerini büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir. Sonuçlar GDBA'nın istinat duvarı geri dolgusunda dolgu malzemesi olarak kısmen veya tamamen kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca geleneksel hesaplama metodlarının dolgu malzemesi olarak GDBA içinde geçerli olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Aydın (2019), yol inşaatlarındaki kazı ve dolgu durumları için dolgu stabilizasyonu sağlamak amacıyla hafifletme konsollu betonarme istinat duvarı ile geosentetik donatılı istinat duvarını karşılaştırmıştır. Bu çalışma için iki farklı bölge seçmiş; birinci bölge için mevcut olan geosentetik donatılı duvar yerine betonarme istinat duvarı, ikinci bölge için ise mevcut betonarme istinat duvarı yerine geosentetik donatılı istinat duvarını projelendirip bu iki durumu karşılaştırmıştır. Karşılaştırmalar, her iki

istinat duvarı içinde dolgunun yüksekliğine bağlı olarak maliyet, yapım süresi, estetiklik, kullanım ömrü vb. dikkate alınarak yapılmıştır. Bu amaçla yapılan karşılaştırmalar sonucunda, maliyet karşılaştırması yapıldığında duvar yüksekliği 10 m üzeri olduğu durumlarda geosentetik donatılı duvarın daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Kullanım ömrü inşaat yapım süresi, estetiklik açısından yapılan değerlendirmede ise duvar yüksekliğine bakılmaksızın geosentetik donatılı duvarın daha avantajlı olduğu kanaatine varılmıştır.

Yoo (2021), yapmış olduğu çalışmada, donatılı şevlerin üzerindeki temelin taşıma gücü kapasitesini incelemiştir. Kendi hazırladığı model üzerinden deneysel çalışmalarını yapmış ve sonuçlarını kendisi tarafından geliştirilen GEOFE2D (Yoo, 1998) sonlu elemanlar programına aktararak çalışmasını bilgisayar ortamında modellemiştir. Buradan çıkan sonuçları ise yapmış olduğu deneysel çalışmadan elde ettiği sonuçla karşılaştırmıştır (Şekil 2.1). Ayrıca kullandığı donatıların ne kadar gerilmeye maruz kaldığını da incelemiştir.

Şekil 2.1’de, donatılı zemin ile donatısız zemin arasındaki taşıma gücü açısından fark görülmektedir. Grafik üzerinde C’de sadece şevin donatı ile güçlendirilmesi durumundaki göçme yükü, B’de sadece temel altındaki zeminin donatı ile güçlendirilme durumundaki göçme yükü ve A’ da ise donatı boyu sabit tutularak temel ve şevin donatı ile güçlendirilmesi durumundaki göçme yükü grafikleri gösterilmiştir. Bu veriler ışığında, A’da gösterilen zemin ortamının taşıma gücünün B’ye göre neredeyse 2 kat, hiç donatı kullanılmayan zemin olan C’ ye göre ise neredeyse 3 kat olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.1. Yoo (2021) tarafından yapılan çalışmaların sonuçları

Altun (2011), yapmış olduğu çalışmada istinat duvarı arkasında geotekstil donatı kullanarak zeminin davranışı üzerine etkilerini araştırmış, geotekstil donatının en uygun yerleşim düzenini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yürütmüştür. Temel üzerine yüklemeler yapıp şerit temel sistemindeki oturmalar ölçülmüştür. İstinat duvarının bu yükleme ve temeldeki çökme ölçülmüş ve buradan alınan sonuçlarla geotekstilin ebatları ve zemine serilme derinliği, kaç tabaka serilmesi gerektiği ve tabakalar arası mesafe tespit edilmeye çalışılmıştır. İlk yapılan donatısız deney de duvarda 8 mm ötelenme meydana gelmiş ve bu durumda duvarın göçtüğü gözlenmiştir. Donatılı yapılan deneyler de ise donatı kullanıldıkça zeminin taşıma gücü kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. U/B (ilk donatı derinliği oranı), azaldıkça taşıma gücü kapasitesinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. İki donatı arası derinlik olan h/H değeri 0.1 olarak seçilmiştir. Bu oranda taşıma kapasitesi donatısız istinat duvarına göre artış göstermiştir.

İbin (2024), yapmış olduğu tez çalışması kapsamında geri dolgu malzemesi atık lastik kırıntıları olan ve geotekstil donatıdan oluşan model istinat duvarı tasarlamıştır. Yaptığı çalışma da geri dolgu malzemesi olarak kil zemin içerisine granüler atık lastik kırıntılarını %0, 10, 20, 30 oranlarında eklemiş ve %30 atık lastik kırıntısı olan karışıma geotekstil donatı takviyesi yapmış ve bu istinat duvarı üzerine şerit temel sistemi için yüklemeler yapmıştır. Optimum su muhtevasında yapmış olduğu Harvard mini kompaksiyon deneyi sonucunda atık lastik kırıntıların %0, 10, 20, 30 oranları için sırasıyla kohezyon değerlerini sırasıyla 66,88kPa, 27.0kPa, 20.88kPa ve 12.74kPa bulmuş içsel sürtünme açılarını ise sırasıyla 3^0 , 11.3^0 , 18.26^0 ve 27.7^0 bulmuştur. Killi zemin içerisindeki atık lastik kırıntısı oranı arttıkça kohezyon değerinin azaldığını, içsel sürtünme açısı değerinin ise arttığı sonucuna ulaşmıştır. Laboratuvar ölçekli yapmış olduğu deneylerde ise, ölçeklendirme kurallarına uygun şekilde boyutlandırılmış istinat duvarı üzerinde yükleme deneyleri yapmıştır. Aynı karışım oranlarında yaptığı yükleme deneylerinde 25 kPa değerine kadar yüklemeler yapmış, istinat duvarı üzerindeki yatay ve düşey deformasyonları ölçerek optimum karışım oranını hesaplamıştır. Bu deneyler sonucunda optimum karışım oranını %20-30 oranları olduğu sonucuna ulaşmıştır. %30 atık lastik kırıntısı + %70 kil karışımı üzerine geotekstil donatısı takviyesi yaptığında ise taşıma gücünün %25 artış gösterdiği sonucuna ulaşmıştır. Tüm karışım oranları için çalışmasını Plaxis 3D programında modellemiş ve yükleme deneyleri yapmıştır. Plaxis 3D programından elde edilen sonuçların laboratuvar deneyleriyle uyumlu sonuçlar getirdiği kanaatine varmış, yapmış olduğu çalışma kapsamındaki ölçeklendirmenin de uyumlu olduğu sonucuna ulaşmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde istinat duvarı özellikleri ve tahkiklerinden, istinat duvarı ölçekleme kurallarından ve tez çalışması kapsamında kullanılan kum, geri dönüşüm beton agregası gibi malzemeler hakkında bilgiler verilmiş, laboratuvar model deney düzeneğinde yapılan yükleme deneylerine yer verilmiştir.

3.1. Tezin Önemi ve Kapsamı

Dünya genelinde yapıların ömrünü tamamlaması, kentsel dönüşüm çalışmaları ya da doğal afetler sonucu yıkılan yapılar sonucunda oluşan atık maddeler büyük problemler oluşturmaktadır. Bu problemler dikkate alındığında yenilenebilir ve sürdürülebilir inşaat uygulamalarının geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Yenilenebilirlik ve sürdürülebilirlik kapsamında ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan atık malzemelerin yeniden değerlendirilebilmesi ve kapsamlı bir şekilde araştırılması gereklidir. Ülkemizde 6 Şubat Kahramanmaraş depremi sonucunda oluşan yıkıntı atıklarının oluşturduğu sorunlar da göz önüne alınırsa bu atıkların tekrardan değerlendirilebilmesinin önemini gözler önüne sermektedir (Şekil 3.1). Bu maddelerin yeniden kullanmak yerine bir yerde istiflenmesi çevreye olan olumsuz etkilerinin yanı sıra nesli tükenmek üzere olan doğal kaynakların kullanımında, bu kaynakları işlemek adına harcanan enerji maliyetinde, iş gücü ve makine gücü ihtiyacında ve karbon monoksit salınımında önemli artışa sebep olduğu görülmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde bu atık maddelerden kaynaklanan sorunları çözmek ve yeniden ekonomiye kazandırmak için bu atıkların yeniden değerlendirilmesini teşvik etmektedirler. Ancak halen bu atık maddeler ile ilgili bir yönetmelik bulunmamakta ve standart değerler içermemektedir. Günümüze kadar yapılan beton agregasının kullanımıyla ilgili çalışmalara bakıldığında ise sadece zemin özelliklerindeki değişimlerin incelenilmesinden öteye geçilemediği görülmektedir. Dünya üzerinde son yıllarda meydana gelen büyük depremler sonucu oluşan atık madde miktarı ise durumun önemini gözler önüne sermektedir. Özellikle ülkemizdeki deprem sonucu oluşan atık madde miktarının fazlalığı durumun ciddiyetini göstermektedir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Dünyada meydana gelen depremlerden etkilenen insan sayısı ve oluşan ortalama atık miktarı (ton)

Deprem Adı/Yılı	Etkilenen insan sayısı (milyon)	Deprem sonucu oluşan ortalama atık miktarı (ton)
Mexico City (2017)	8	237.261,50
İtalya- L'Aquila (2019)	0.25	2.000.000
ABD- Los Angeles, CA: The Northridge (1994)	0.30	2.000.000
Türkiye- Marmara (1999)	16	13.000.000
Japonya-Kobe, Büyük HansinAwaji (1995)	25	15.000.000
Haiti (2010)	20	52.000.000
Çin- Siçuan (2008)	45	375.000.000
Türkiye- Kahramanmaraş(2023)	13	465.000.000



Şekil 3.1. Kahramanmaraş depremi sonrası ortaya çıkan beton atıkları (Hatay-Antakya)

Bu tez çalışmasında geri dönüşüm beton agregasının kullanılabilirliğini araştırmayı amaçlamış ve ülkemizdeki atık madde miktarına betonarme anlamında bir çözüm yolu getirme arayışına girilmiştir. Bu amaçla geri dolgusunda geri dönüştürülmüş betonarme atık bulunan istinat duvarı incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında boyutları 4,76 mm'lik elekten elenerek alınan geri dönüştürülmüş betonarme agregalar kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agregalar %20, 40, 60 oranlarında kum malzeme ile karıştırılıp optimum su muhtevasında hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışım oranlarındaki malzeme laboratuvar ortamında istinat duvarı geri dolgusunda kullanılmak üzere tankın içerisine serilip, geotekstil donatı ile güçlendirilerek yüklemeler yapılacak

ve bu yük altındaki duvardaki deformasyonlar ölçülecektir. Elde edilen veriler ışığında istinat duvarlarında geri dönüşüm beton agregasının kullanılabilirliği araştırılacak ve optimum karışım oranı belirlenecektir. Bu çalışmada ölçeklendirme kurallarına bağlı kalınarak gerçek boyutlardaki istinat duvarı laboratuvar ortamına uygun şekilde boyutlandırılacak ve böylece gerçek boyutlardaki bir duvar üzerinde de benzer yorumlar yapılacaktır. Laboratuvar ortamında yapılan bu sistem Plaxis 3D programına aktarılacak ve yüklemeye maruz bırakılacaktır. Elde edilen sonuçlar ile laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlar karşılaştırılıp çeşitli kıyaslamalar yapılacaktır.

Bu tezin aşamaları şu şekilde olacaktır;

a) Zemin deneyleri;

- Elek analizi
- Mini (Harvard) proktor deneyi
- Piknometre deneyi
- Kesme kutusu deneyi
- Serbest basınç deneyi

b) Yükleme deneyleri;

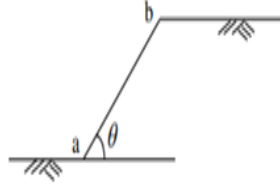
- İstinat duvarı geri dolgusunda farklı karışım oranlarında zeminler için ölçeklendirilmiş boyutlarda tank içerisine yerleştirilecek ve ölçeklendirilmiş yüklemeler yapılacaktır. Oluşan yük- deformasyon grafikleri çizilerek, maksimum deformasyonlar ölçülecektir. Bu sonuçlar kıyaslanarak yorumlamalar yapılacaktır.

c) Nümerik Analiz;

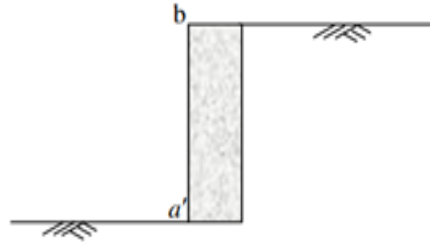
- Ölçeklendirilmiş boyutlarda imal edilen istinat duvarı ile deneylerle analiz edilen zemin parametreleriyle birlikte Plaxis 3D programında modellenecektir. İstinat duvarı istenilen yük altında yüklenip yük-deformasyon ilişkileri analiz edilecektir. Elde edilen sonuçlar laboratuvar deneyleriyle karşılaştırılıp yorumlamalar yapılacaktır.

3.2. İstinat Duvarları

Zemin eğimini desteklemek, yamaçları tutmak ve erozyonu önlemek amacıyla düşey ya da düşeye yakın toprak tutucu olarak inşa edilen yapılara istinat duvarı denilmektedir. Başka bir ifadeyle a-b çizgisinin düşey ya da düşeye yakın olması istendiğinde zeminin dengede kalması amacıyla inşa edilen yapıdır. (Şekil 3.2-3.3)



Şekil 3.2. Zemin ya da dolgunun doğal durumu



Şekil 3.3. Zemin dengesini sağlamak amacıyla yapılan istinat duvarı

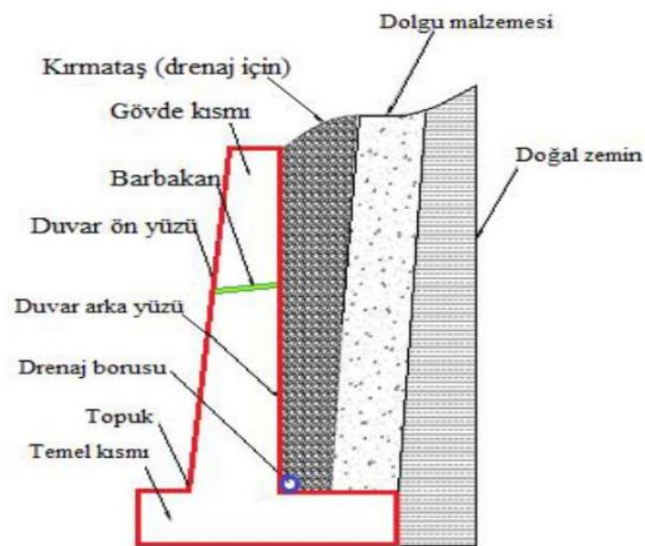
Zemini farklı iki yüzeyde tutan ve yanal zemin basınçları etkisinde olan istinat duvarlarının boyutlandırılması ve projelendirilmesi için duvara gelen yanal toprak basınçlarının bilinmesi gerekir Her yapıya yanal olarak bir basınç gelir. Mühendisler, bu yapılara gelen yanal toprak basınçlarını karşılamak ve yapıyı güvenli hale getirmek için çalışmalar yapmaktadır (Şekil 3.4).

Yanal etki altındaki yapının projelendirilmesi karşılaşılan önemli mühendislik problemleridir. Zemin tabakalarındaki davranış belirsizliğinden dolayı yapıların projelendirilmesi daha da önem arz etmektedir.



Şekil 3.4. İstinat duvarı ihtiyacı duyulan bir Geoteknik problemi

Bugüne kadar yapılan istinat duvarlarında yapısal çözümlemeler ve stabilite denetimleri genellikle statik yükler dikkate alınarak yapılmıştır. Ancak deprem bölgelerinde yapılan istinat duvarlarında yapılara gelen ya da gelebilecek dinamik yükler hesap edilerek de çözümlemeler yapılmalıdır. Deprem yükü etkisi altında istinat duvarlarına büyük gerilmeler gelmekte bu etkiyle de şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Böylece sistem kompleks bir yapı-zemin etkileşimi problemi oluşturmaktadır (Şekil 3.5). İstinat duvarlarına deprem sırasında etkiyecek statik ve dinamik yüklerin belirlenmesi için birçok ülke yönetmeliğinde Mononobe-Okabe yönteminin kullanılması önerilmektedir.



Şekil 3.5. Yapı-zemin etkileşimi kapsamında bir İstinat duvarı kesiti

Zemin mekaniğinde istinat duvarı hesaplarında, iç sürtünme açısı (ϕ), arazi eğimi (i), duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı (δ), yer altı suyunun varlığı ve zeminin birim ağırlığı (γ) dikkate alınarak statik yükler için yapılmaktadır. Ancak bu hesaplamalar deprem etkisiyle ortaya çıkan dinamik yükler içinde sağlanması gerekmektedir. Günümüzde deprem etkisiyle istinat duvarlarında hasar olduğu görülmektedir. (Şekil 3.6.)

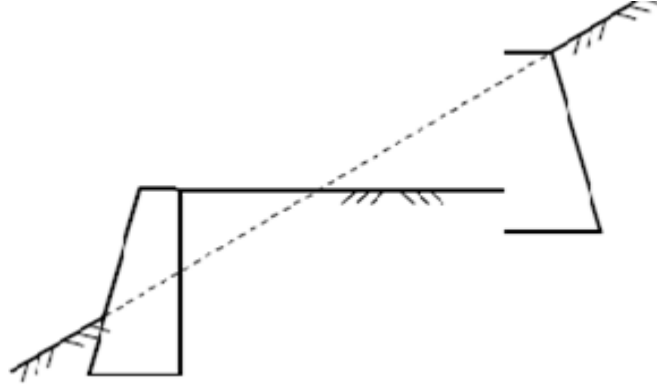


Şekil 3.6. Erzincan depremi sonucu hasar alan istinat duvarı nedeniyle yıkılan üst yapı

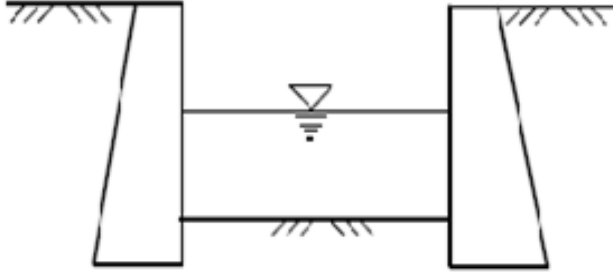
Ülkemizde istinat duvarları tasarlanıp uygulanırken TSE 7994 numaralı yönetmelik dikkate alınmaktadır.

İstinat duvarlarının kullanıldığı yerler (Şekil 3.7, 3.8, 3.9, 3.10);

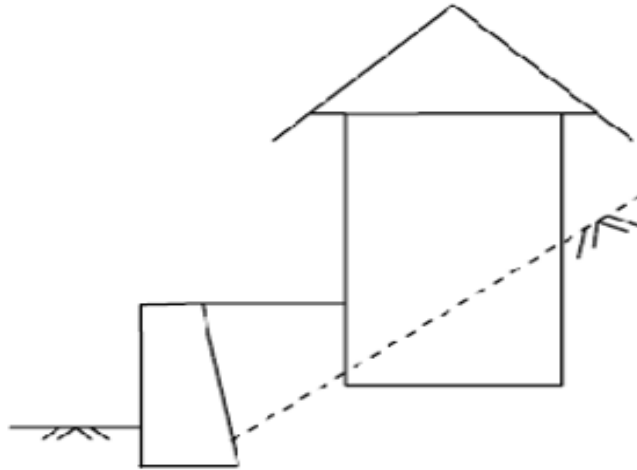
- Ulaşım amacıyla yapılan yolların dolgu ve kazı gerektiren bölümlerinde,
- Yapı inşaatında güvenli olmayan şevlerin stabilitesinde,
- Karayolu ve demiryolu projelerinde dolgu ve yarma gerektiren kısımlarda,
- Kanal ve su depoları etrafında,
- Köprü ayaklarının kenarında,
- Kıyıların erozyon ve taşkınlardan korunması,
- Taşkın kontrolünde,
- Bodrum katı olan yapılarda zemin (toprak) etkisini engellemek amacıyla istinat duvarları kullanılabilir.



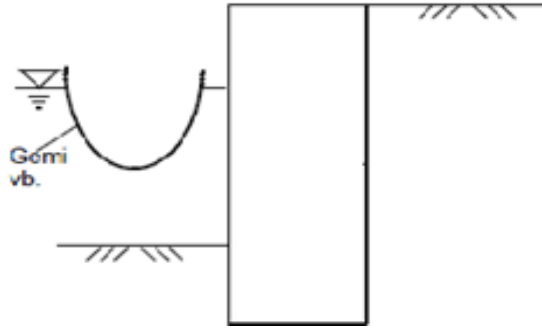
Şekil 3.7. İstinat duvarlarının dolgu-yarma oluşturmak için kullanılması



Şekil 3.8. İstinat duvarlarının kanal yapımı için kullanılması



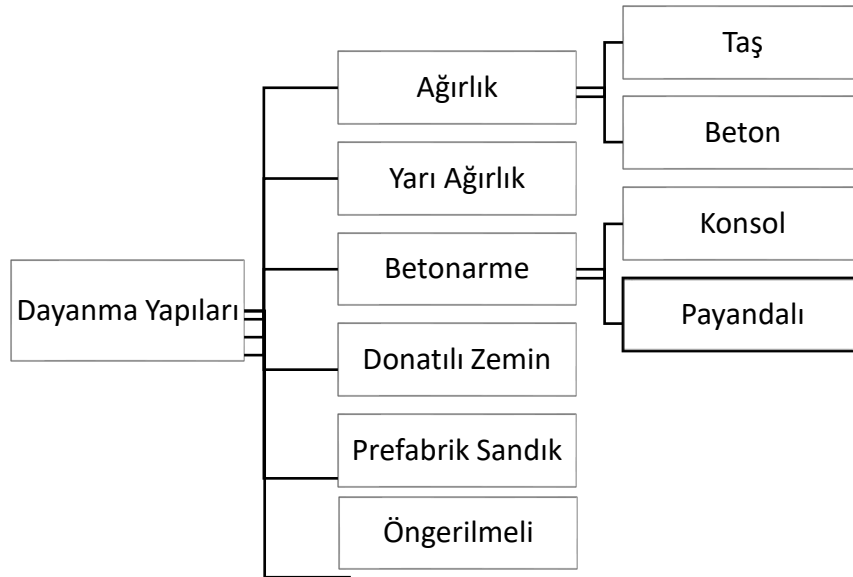
Şekil 3.9. İstinat duvarlarının bina yapımı için kullanılması



Şekil 3.10. istinat duvarlarının sahillerde rıhtım yapısı olarak kullanılması

3.2.1. İstinat Duvarları Çeşitleri ve Tahkikleri

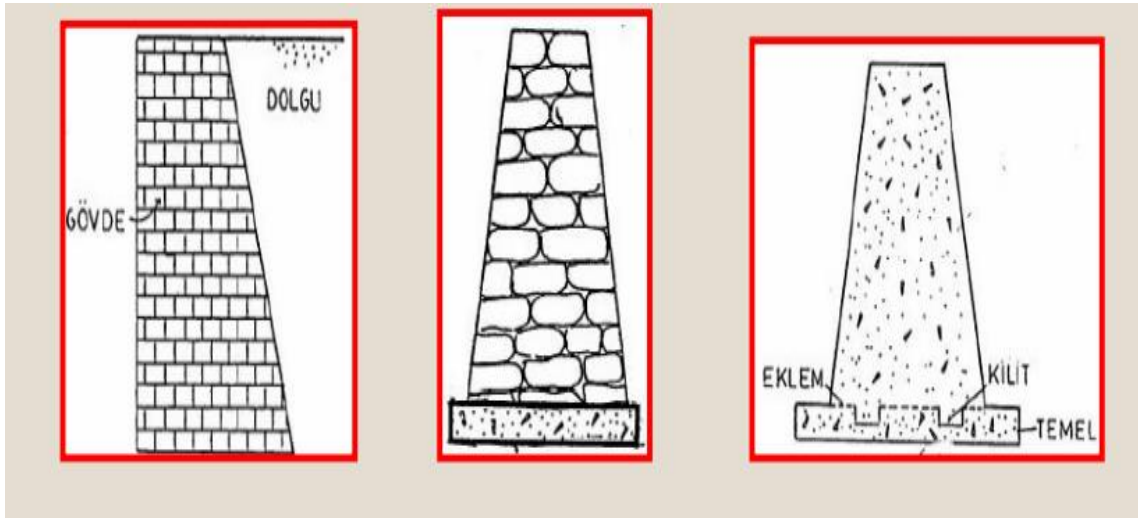
İstinat duvarı inşa edilirken; gerekli duvar yüksekliği, kullanılacak malzemenin türü, yer altı su durumu, geri dolguda kullanılacak zeminin cinsi, yapının kullanım amacı ve gerekli güvenlik sayısı dikkate alınmaktadır. Mühendisliğin temel prensibi ekonomik olma koşulu da dikkate alınmaktadır. Bunlar gibi birçok etken beraberce değerlendirilip en uygun tür belirlenir. Yanlış seçilen istinat duvarı tipleri fazla maliyet getireceği gibi amacı dışına çıkma gibi istenmeyen sonuçlara da sebep olabilir.



Şekil. 3.11. Yaygın uygulanan istinat duvarı tipleri (Uzuner, 2007)

3.2.1.1. Ağırlık İstinat Duvarları

Zemin basıncını kendi ağırlıkları ile karşılayan bu duvarlar kâgir ya da betondan yapılmaktadır. (Şekil 3.12, 3.13) Bundan dolayı yükseklikleri genellikle $h \leq 4,5\text{m}$ olması gerekmektedir. Bunun nedeni duvarın yüksekliği arttıkça maliyet artmakta ve ekonomik olmamaktadır. Ayrıca ağırlık istinat duvarları hiçbir kesitinde çekme gerilmeleri oluşturmamaktadır. Basınç gerilmeleri de kullanılan malzemenin izin verilen dayanımını aşmaması gerekmektedir.



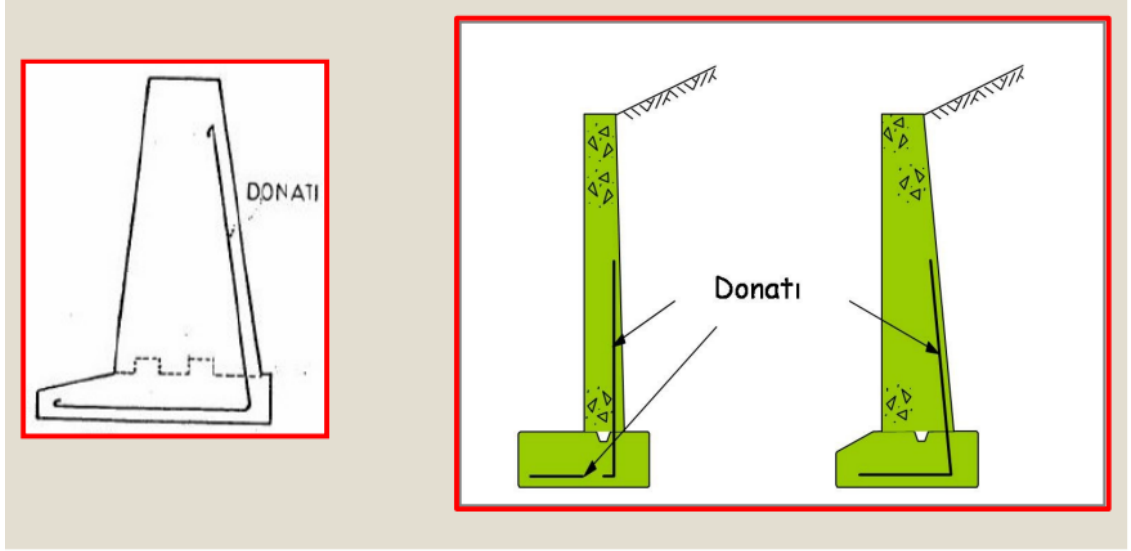
Şekil 3.12 Ağırlık istinat duvarı kesiti



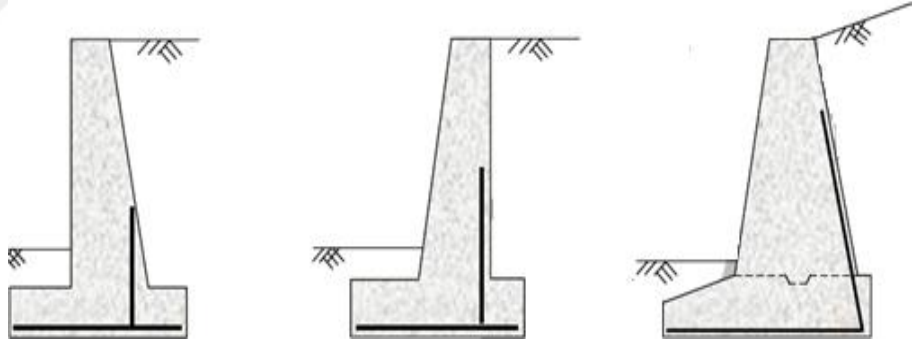
Şekil 3.13. Ağırlık istinat duvarı

3.2.1.2. Yarı Ağırlık İstinat Duvarları

Oluşan küçük çekme gerilmelerini karşılamak için bir miktar donatı kullanılan ve beton ağırlık duvarının boyutlarını küçültmenin mümkün olduğu istinat duvarı türüdür. Ekonomik olması için $4,5 < h \leq 6$ m sınırları sağlanmalıdır (Şekil 3.14, 3.15).



Şekil 3.14. Yarı ağırlık istinat duvarı kesiti



Şekil 3.15. Yarı ağırlık istinat duvarında donatı şemaları ve enkesitleri

3.2.1.3. Betonarme istinat duvarları

Toprak erozyonunu önlemek, yamaçları desteklemek ve yapıları korumak amacıyla inşa edilen ve beton ile donatının beraber kullanıldığı istinat duvarıdır. Ankrajlarla birlikte de kullanılan betonarme istinat duvarının en yaygın tipleri konsol ve betonarme duvarlardır.

Yükseklikleri daha da uzayabilse de genel olarak 7-8 m yüksekliğinde tasarlanırlar. Duvar geri dolgusunda su basıncını önlemek amacıyla barbakan adı verilen duvar gövdesinde su tahliye kanalları oluşturulur.

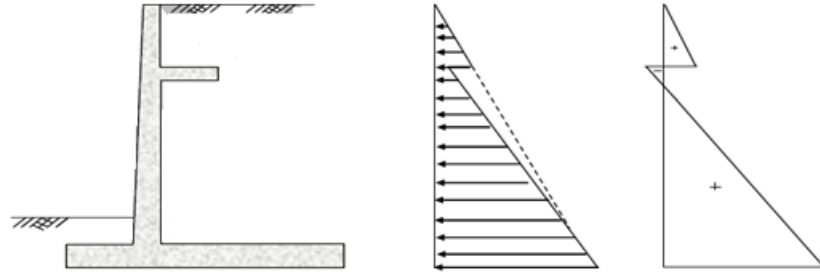
3.2.1.4. Konsol İstinat Duvarları

En yaygın olarak kullanılan ve genellikle betonarme olarak inşa edilen istinat duvarlarıdır. Genellikle $6 < h \leq 8$ m sınırını sağlaması durumunda ekonomik olmaktadır. Yükseklik arttıkça narinlik etkisi artacağından dolayı ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır. Yüksekliğin bu sınırı aşması gerektiği durumlarda hafifletme konsolları yapılarak duvar gövdesine etkileyecek yükler azaltılmaktadır (Şekil 3.16, 3.17).

Bu çalışma kapsamında bizim kullandığımız duvar tipi betonarme konsol istinat duvarıdır.



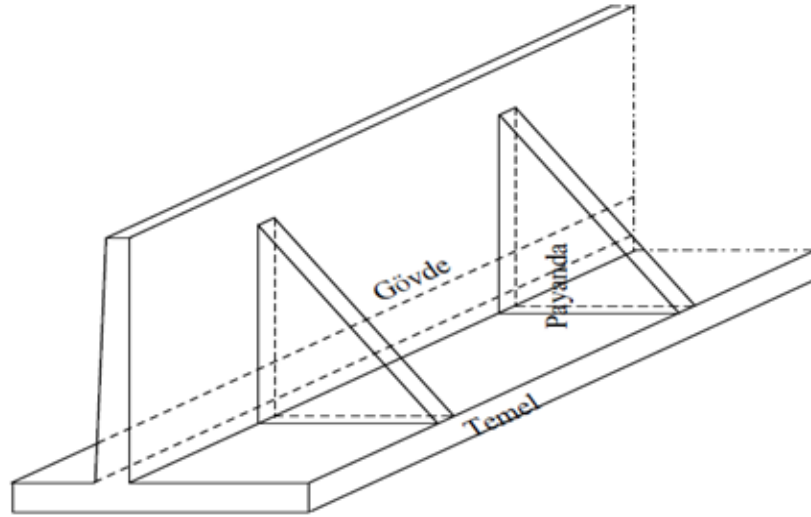
Şekil 3.16 :Konsol istinat duvarlarında asal donatı şemaları ve enkesitleri



Şekil 3.17. Hafifletme konsolu olan istinat duvarında diyagramlar

3.2.1.5. Payandalı İstinat Duvarları

Betonarme istinat duvarının payandalarla güçlendirilmesi sonucu oluşan istinat duvarlarıdır (Şekil 3.18, 3.19). Genellikle yükseklikleri $8 < h \leq 12$ m koşulunu sağlaması durumunda ekonomik olarak nitelendirilmektedir. Konsol istinat duvarı yüksekliğinin 8 m'yi geçmesi durumunda gövde ve taban birleşimine gelen moment ve kesme kuvvetleri yüksek değerler almaktadır. Bu durum ise payandalı istinat duvarına gerek kılmaktadır. Bu tür istinat duvarlarında gövde ve temel tabanı belirli aralıkta payandalarla birbirine bağlanmaktadır. Bu sayede gövde ile temel arakesitinde eğilme momenti azalmakta ve normal kuvveti karşılayabilecek sistem oluşmaktadır.



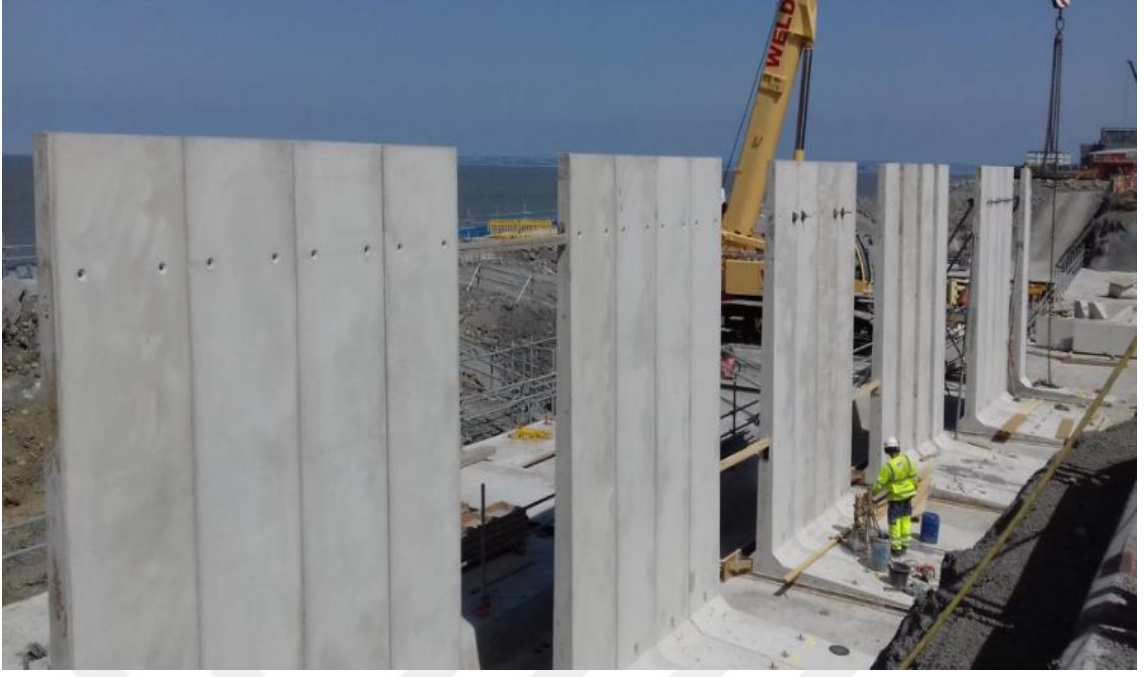
Şekil 3.18. Payandalı istinat duvarı bölümleri



Şekil 3.19. Baraj yapımı için payandalarla güçlendirilmiş istinat duvarı yapısı

3.2.1.6. Prefabrik istinat duvarları

Önceden imal edilmiş istinat duvarlarıdır. Hızlı inşa edilebilmeleri, duvar arkasındaki alana kazı gerekmemesi, kendi içerisinde drenaj sağlaması gibi durumlar ekonomik olarak avantaj sağlamaktadır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Prefabrik İstinat Duvarları

3.2.2. İstinat duvarlarına etkiyen yükler

İstinat duvarları inşa edileceği konum ve amacına göre farklı yüklere maruz kalırlar. Tasarım aşamasında bu yüklerin iyi tespit edilip tasarım kriterlerine dahil edilmesi gerekmektedir. Aksi taktirde dikkate alınmayan bir yük duvarda olumsuz bir durum oluşturabilir ya da mühendisi ekonomik olmayan çözüm arayışına götürebilir. İstinat duvarına etkiyen yükler;

- İstinat duvarının ağırlığı yapı üzerinde yatay, düşey ve moment kuvvetleri oluşmasına sebep olacaktır. Duvar ağırlığının, temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısıyla çarpımı ile oluşacak olan yatay kuvvet, istinat duvarına gelen yatay yüklere karşı koyacaktır. Ayrıca deprem durumunda yapının kendi ağırlığından oluşan ek bir yatay yük oluşacaktır.

- İstinat duvarının arkasındaki zemin özelliklerine bağlı olarak duvar üzerinde yatay bir yük oluşturacaktır. Bu yüklerin hesaplanması ile ilgili birçok teori (Rankine, Coulomb, Mononobe-Okobe, Richards-Elms vs.) mevcuttur.

- İstinat duvarının önündeki toprak basıncının duvar tasarımında olumsuz bir etkisi vardır. Zamanla doğal sebeplerden ötürü toprak zeminden uzaklaşabileceği için tasarımda olumlu etkisi göz önüne alınmaz.

- İstinat duvarlarına rıhtım gibi yapılarda doğrudan hidrostatik ve hidrodinamik su basıncı etkileyebileceği gibi istinat duvarının arkasındaki zemin içerisinde de yer altı

suyundan kaynaklı bir basınç oluşabilir. Tasarım yapılırken zemine gelen yüzdürme kuvveti ve duvara gelen kaldırma kuvveti dikkate alınmalıdır.

- Karayolu, demiryolu çevresine yapılan istinat duvarlarında trafik etkisiyle zeminde meydana gelen titreşimler yatay toprak basıncını artırabilir.
- Depremden dolayı oluşan ivmelere bağlı olarak duvara yatay bir kuvvet etkir.
- Temel altındaki zeminin içerisinde bulunan su donmaya bağlı olarak genişip duvara yatay bir kuvvet etkiyebilir. Bu durumun uzun süre devam etmesi duvara olumsuz etki yapabilir. Burada en iyi zeminde gerekli drenajı yapmaktır.
- İstinat duvarının arkasındaki dolgu toprak üzerine ilave yük gelebilir ya da bir yapı yapılabilir. Bu durumda oluşan yükler yatay bir kuvvete dönüştürülerek hesaba dahil edilirler.

3.2.2.1. Yanal zemin basınçlarının hesaplanmasında Rankine teorisi

Rankine teorisi, minimum aktif ve maksimum pasif zemin basıncını hesaplamak için geliştirilen pratik bir yöntemdir. Bu teoriye göre, duvar arkasındaki zemin plastik dengeye ulaştığında (zeminin her noktasında kırılma olduğunda) aşağıdaki kabuller yapılmaktadır.

- Zemin homojen ve izotropdur,
- Zeminin kayma direnci tek bir parametre ile ifade edilebilmektedir.
- Duvar arkasında meydana gelen kırılma da zemin üçgen şeklinde rijit bir kamaştır,
- Duvarla zemin arasında sürtünme yoktur,
- Kırılma iki boyutlu bir problemdir.

Bu teoriye göre zeminlerin sükunet hali ve plastik denge hali vardır.

- a) **Sükunet durumu:** Zeminde herhangi bir deformasyonun olmadığı durumda istinat duvarına etkiyen yanal basınç durumudur. Bu durumda yanal toprak basıncı:

$\sigma_0 = K_0 \cdot \gamma \cdot z$ şeklinde ifade edilir. K_0 değeri :

$$K_0 = (1 - \sin\phi) \quad (3.1)$$

Aşırı konsolide killerde:

$$K_0 = (1 - \sin\phi) (\text{OCR}^{\sin\phi}) \quad (3.2)$$

Burada:

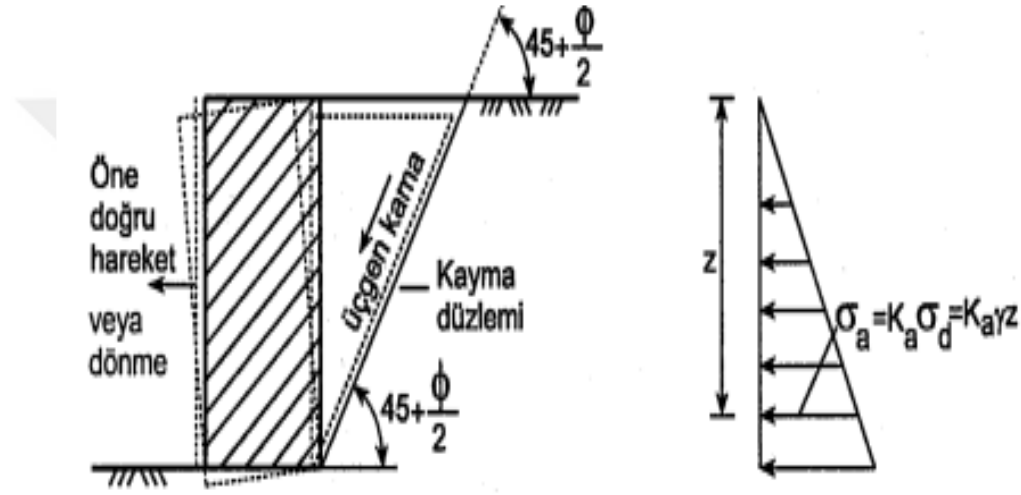
K_0 : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı,

ϕ : Zeminin kayma direnci açısı,

OCR: Aşırı konsolidasyon oranıdır.

- b) **Plastik denge durumu:** Yarıml sonsuz ortamda, plastik durum elde etmek için zeminin yanal deformasyona uğraması gerekir. Kohezyonsuz zeminler için aktif ve pasif duruma göre Rankine Teorisi aşağıdaki şekilde açıklanmıştır (Uzuner, 2007).

Aktif Durum (Aktif Rankine Durumu): Yarıml sonsuz ortam, yanal bir genleşmeye tabi tutulursa, zeminde aktif durum meydana getirilir. Bu teoriye göre duvar ile zemin arasında bir sürtünme yoktur ve duvarın arka yüzeyi pürüzsüz kabul edilir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Rankine teorisi için aktif basınç dağılımı (Uzuner,2006)

Aktif durumda duvara etkiyen düşey gerilme değeri sabitken yatay gerilme ise yüzeye doğru doğrusal olarak azalır. Bundan dolayı kırılma düzlemi yatayla $45+\phi/2$ açı yapmaktadır. Duvar arkasında oluşan aktif yanal zemin basıncı şu şekilde hesaplanır;

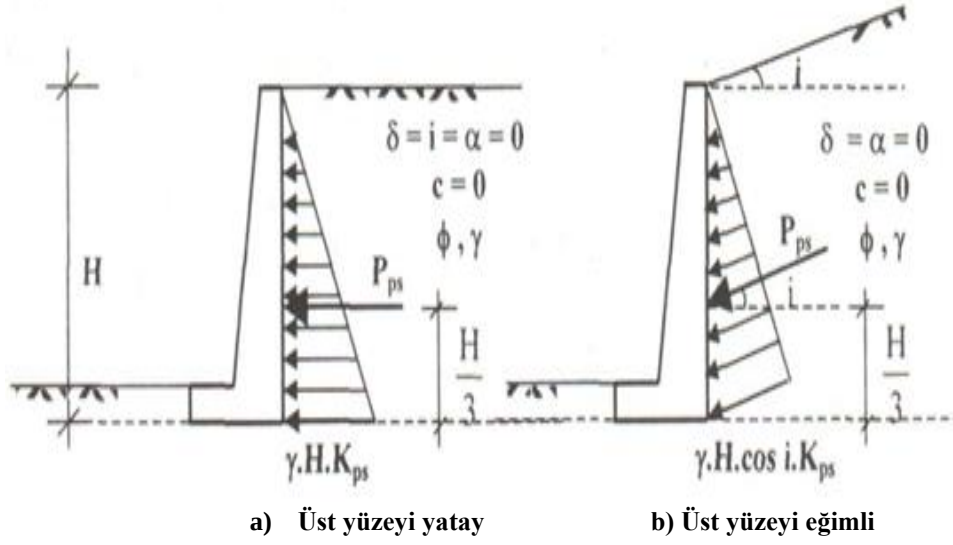
$$K_a = \tan^2 [45-\phi/2] \quad (3.3)$$

Burada:

K_a : Aktif zemin basıncı katsayısı

σ_a : Aktif durum için yanal zemin basıncı

Pasif durum (pasif rankine durumu): Yarıml sonsuz ortam, yanal bir sıkışmaya tabi tutulursa zemin ortamında pasif durum oluşturulur. Pasif basınç dağılışı aşağıdaki şekildeki gibi derinlikle doğrusal biçimde artmaktadır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Kohezyonsuz zeminlerde pasif rankine durumu için istinat duvarlarına etkiyen zemin basınçları

$$\sigma_p = K_p \gamma_n z \quad (3.4)$$

$$K_p = \tan^2 [45 + \phi/2] \quad (3.5)$$

Burada:

K_p : Pasif zemin basıncı katsayısı

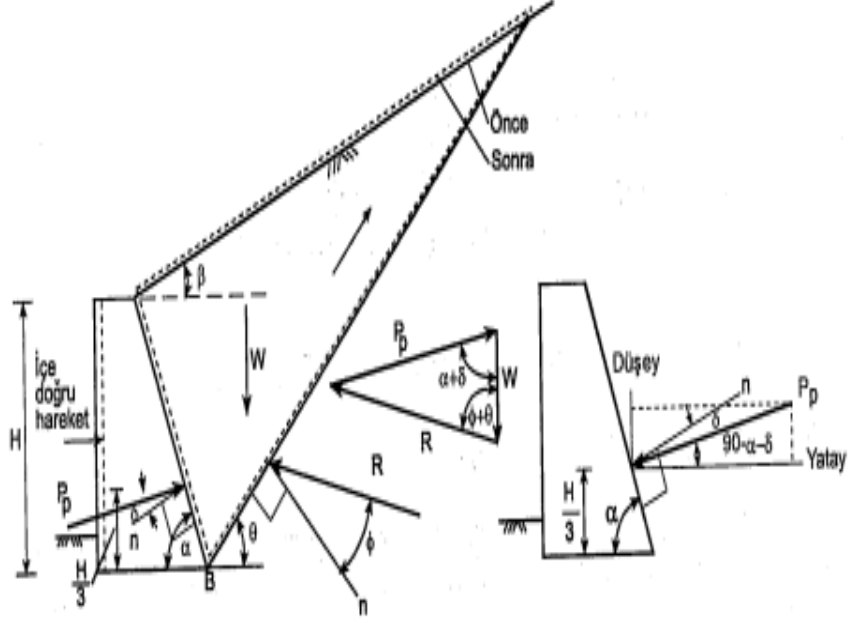
σ_p : Pasif durum için yanal zemin basıncı

3.2.2.2. Coulomb Kama Teorisi

Rankine teorisi istinat duvarı arkasındaki zeminin kendi ağırlığından dolayı meydana gelen gerilmesine incelerken Coulomb Kama Teorisi ise bir istinat duvarının arka kısmındaki zemin kamasının duvarın bir miktar hareket etmesiyle duvar arkasındaki kayan zemin kütesinin dengesini incelemiştir (Şekil 3.23).

Coulomb,

- Duvar arkasındaki dolgunun kohezyonsuz, kuru, homojen ve izotrop olduğu,
- Kayma yüzeyinin istinat duvarının hareketi ile oluştuğu,
- Gerçekten eğri olan kayma yüzeyinin düzlem olduğu,
- Birim yüzeydeki kayma direncinin kayma yüzeyi boyunca aynı olduğu



Şekil 3.24. Coulomb kama teorisi için pasif basınç dağılımı (Uzuner, 2007)

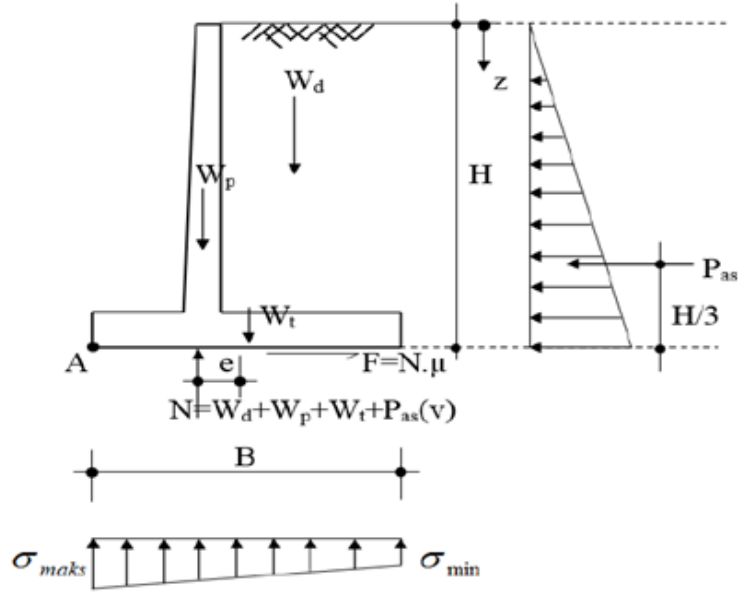
$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (3.8)$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3.9)$$

şeklinde hesaplanır.

3.2.3. İstinat duvarlarının stabilite hesapları:

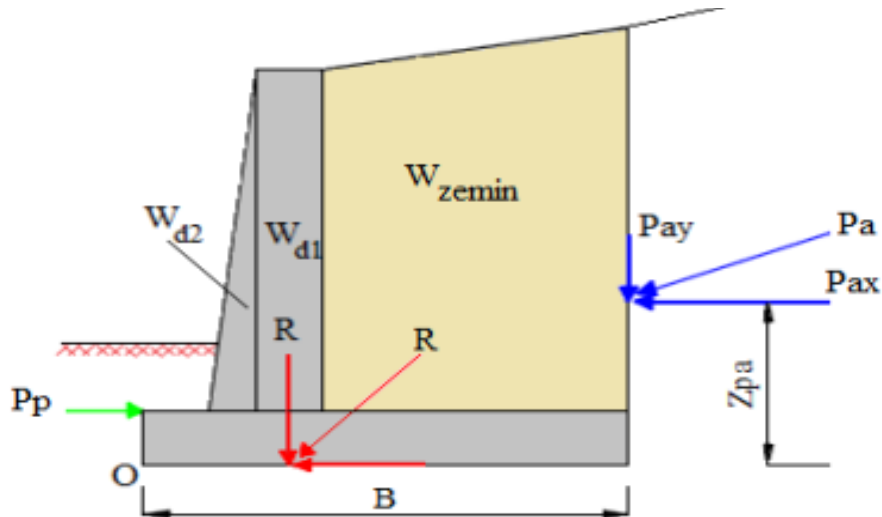
İstinat duvarları tasarlanırken, devrilmeye, kaymaya, toptan göçmeye ve oturmaya karşı stabilite tahkikleri yapılmalı ve güvenlik katsayısının üzerinde kalacak şekilde tasarlanmalıdır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Konsol istinat duvarına etki eden statik yükler

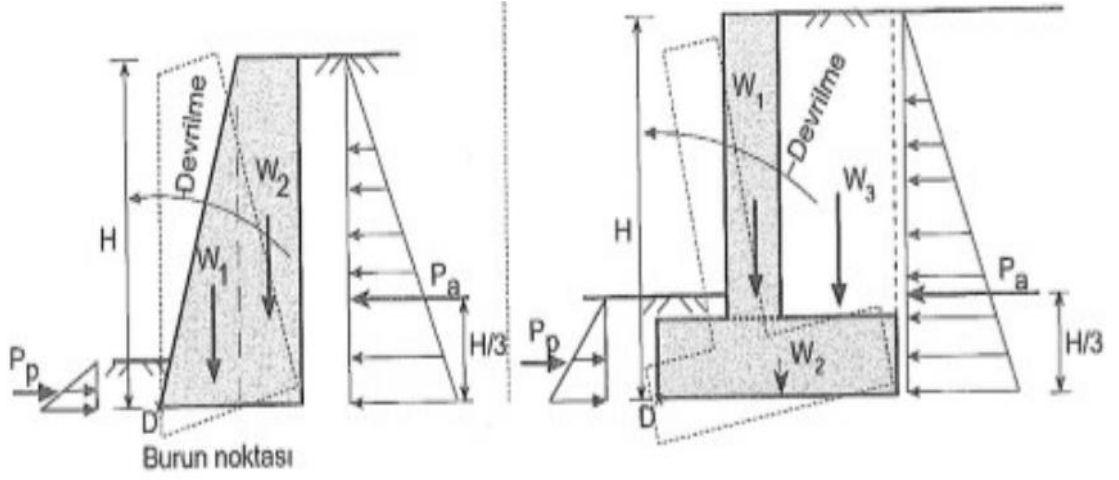
3.2.3.1. Devrilme Tahkiki

Bir istinat duvarı, yanal zemin basınçları etkisiyle devrilmemeli ve devrilmeye karşı belirli bir güvenliğe sahip olmalıdır. Duvara gelen yükler hesaplanmalı ve bu yüklerin devrilmeye karşı koyduğu ya da devirici kuvvet olduğu belirlenip duvarın sol alt köşe noktasına (topuk noktası) göre bu yüklerin momenti alınmalıdır. Bu momentlerin oranı belirlenerek güvenlik katsayısına göre kıyaslanmalıdır (Şekil 3.26, 3.28).



Şekil. 3.26. Devirici ve karşı koyan kuvvetler.

$$G_s = \frac{\sum M_o (\text{Karşı koyan})}{\sum M_o (\text{Deviren})} \quad (3.10)$$

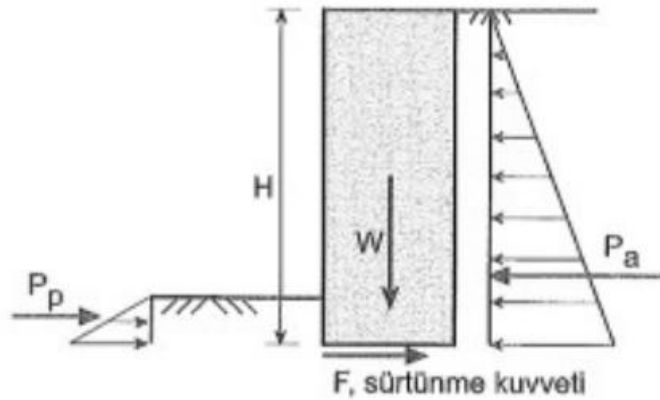


Şekil 3.28. İstinat duvarı kesitleri ve etkiyen kuvvetler

Devrilmeye karşı güvenlik (emniyet) sayısı G_s ; burun noktasına (D noktası) göre devrilmeye karşı koyan momentler (P_p , W_1 , W_2 , W_3) toplamının, yine burun noktasına (D noktası) göre deviren momentler (P_a) toplamına oranı olarak tanımlanır.

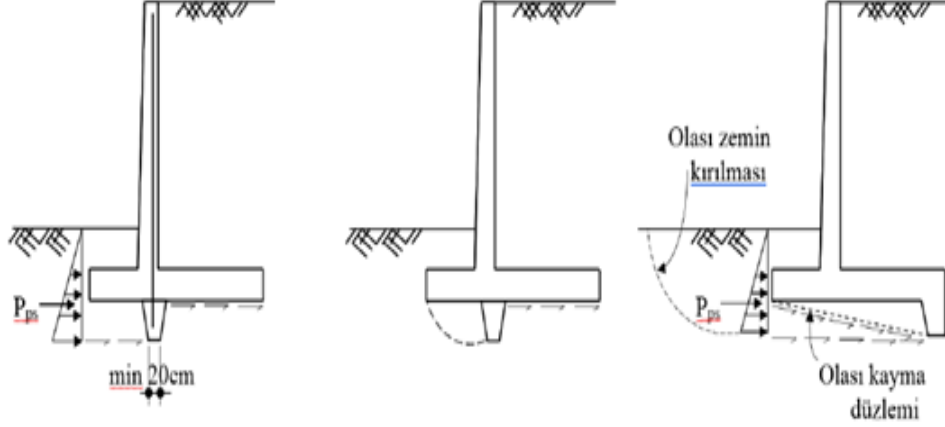
3.2.3.2. Kayma Tahkiki

İstinat duvarı, yanal kuvvetlerin etkisinde öne doğru kaymamalı ve kaymaya karşı belirli bir güvenlik katsayısı olmalıdır. Duvara yanal olarak etkiyen kuvvetler duvarı kaymaya zorlarken, tabanda oluşan sürtünme kuvveti ve duvarın önündeki pasif itki ihmal edilemeyecek kadar büyükse bu kuvvetler kayma kuvvetini karşılamaktadır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Kayma tahkiki için istinat duvarına etkiyen yükler

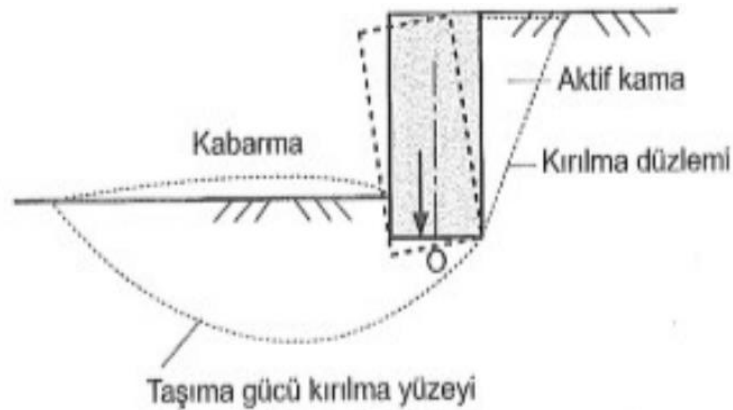
Yeterli kayma dayanımı sağlanamazsa temele dış eklenip dayanım artırılabilir (Şekil 3.30). Kaymaya karşı güvenliğin sağlanması halinde genellikle devrilmeye karşı da güvenlik sağlanmaktadır.



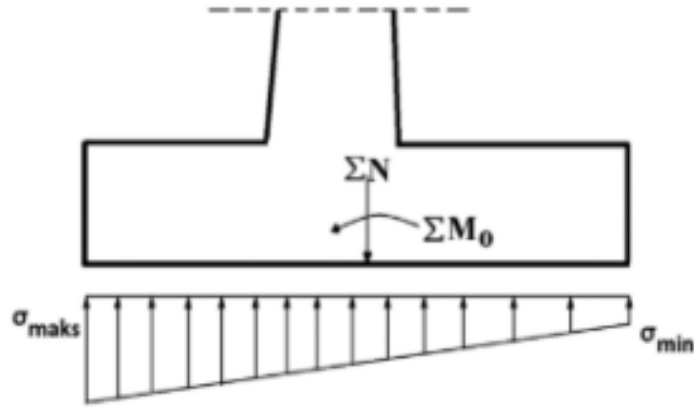
Şekil 3.30. İstinat duvarlarında kayma kuvvetine karşı kullanılan dışer

3.2.3.3. Taşıma gücü tahkiki

İstinat duvarının tabanındaki temel zemin, eksantrik yüklü duvarı güvenli taşımalıdır. İstinat duvarı ile temel zemininin birlikte çalışmaları düşünülerek istinat duvarı temel tabanının iki ucundaki gerilmelerin zeminin taşıma gücünü aşp aşmadıkları kontrol edilir (Şekil 3.31, 3.32)



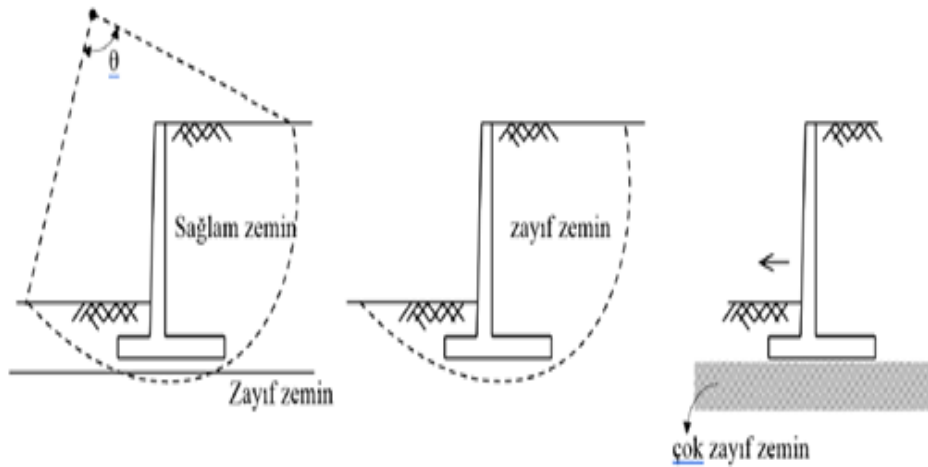
Şekil 3.31. İstinat duvarı altındaki zemin ortamında kırılma yüzeyleri



Şekil.3.32. İstinat duvarı altı taban basınç dağılımı (Tuğrul, 2019)

3.2.3.4. Toptan Göçme Hali

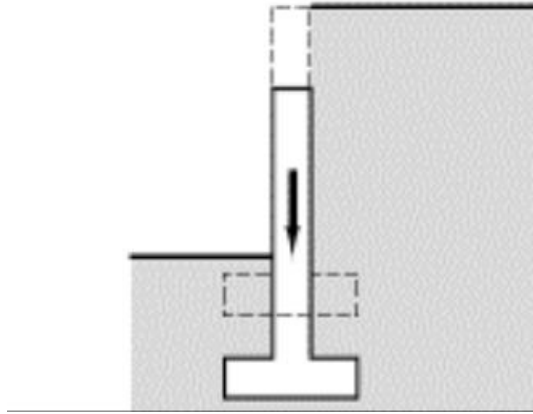
Dayanma duvarının bulunduğu alanda bir kayma meydana gelmemelidir ve kaymaya karşı belirli bir güvenlik katsayısı olmalıdır. Bu amaçla şevde stabilite analizleri yapılır ve tasarım yapılır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. İstinat duvarlarında olabilecek göçme türleri

3.2.3.5. Oturma ve Diğer Tahkikler

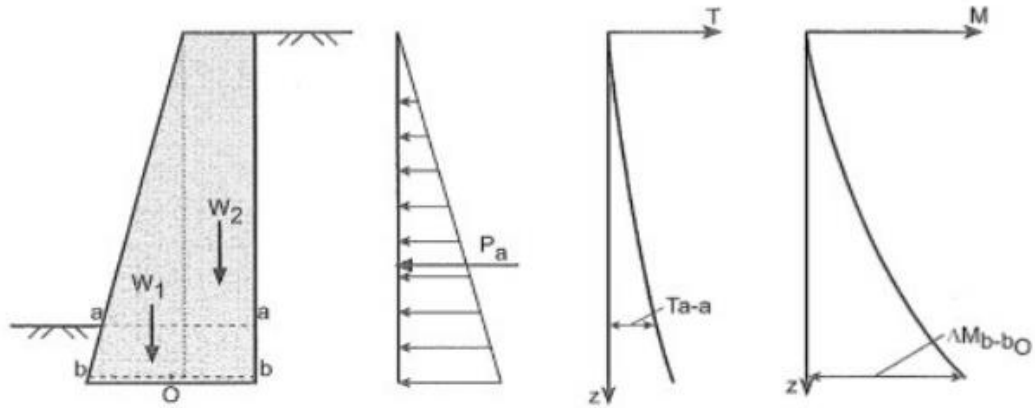
İstinat duvarı altındaki zemin yükleme sonucu sıkışmasıyla oturmaya uğrar. Temel zemini kohezyonlu ya da kohezyonsuz olabilir. İstinat duvarının oturması hesaplanarak, oturmanın izin verilen oturmaya aşmamasına dikkat edilir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. İstinat duvarında oturma problemi

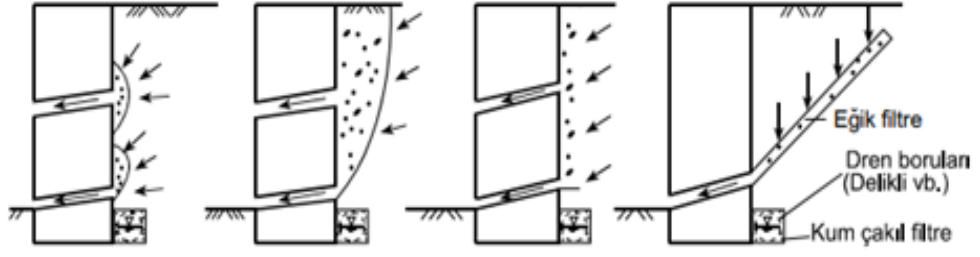
Ağırlık istinat duvarlarında, duvar yatay yönde kesmeye karşı güvenli olmalıdır. Özellikle temel gövde birleşim yeri kesme için kritik bir kesittir.

Ağırlık istinat duvarı gövdesi, yanıl kuvvetler nedeniyle eğilmeye maruz kalır. Bu eğilme momentleri duvarda gerilmeler meydana getirirler. Bu etkiler nedeniyle duvarda çatlaklar meydana gelebilir. Bunu önlemek adına duvar arkasına donatı yerleştirilebilir (yarı ağırlık dayanma duvarı) (Şekil 3.35).

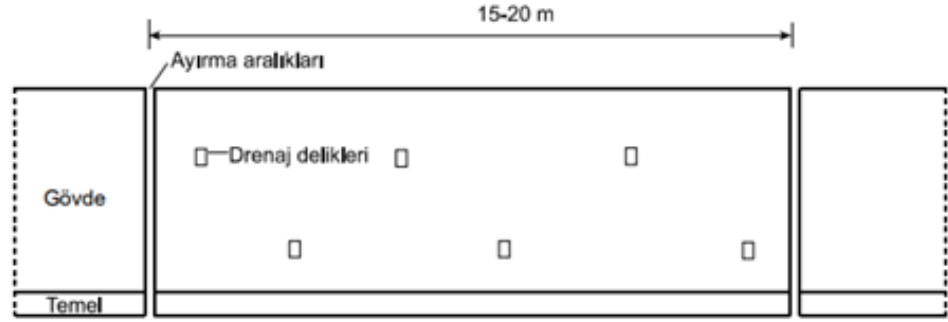


Şekil 3.35. Ağırlık dayanma duvarlarının gövdesinde kesme ve eğilme tahkikleri (Uzuner 2006)

İstinat duvarları arkasında biriken yağmur suları, yüzey yada sızıntı suları duvara hidrostatik basınç uygular. Bu durum duvarda olumsuz etkiler oluşturur. Duvar arkasında su birikmemesi için drenaj önlemleri alınmalıdır. Suyun duvardan uzaklaştırılması için barbakan adı verilen 10-20 cm çapında delikler 1-2 m aralıklarla duvara açılır. Deliklerin tıkanmaması için ön yüzlerine filtreler yapılır (Şekil 3.36, 3.37).



Şekil 3.36. Dayanma duvarlarında drenaj önlemleri



Şekil 3.37. Dayanma duvarında yüzde bulunan drenaj delikleri ve ayırma aralıkları

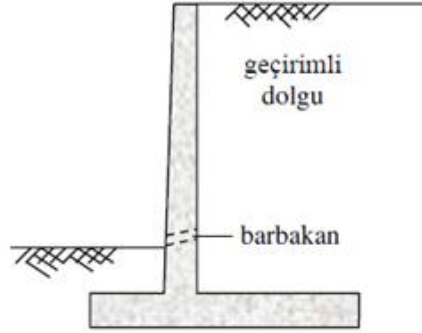
3.2.3.6. İstinat Duvarlarında Don Etkisi

Zemin suya doygunsa ya da yeraltı su seviyesi yüksekse sıcaklığın 0°C altına düşmesi sonucunda suyun donması neticesi ile buz mercikleri meydana gelir. Buzlar havalarda ısınmasıyla erimeye başlar ve özellikle topuk bölgesinde oturmalar oluşur. İstinat duvarı tasarımlarında bu durumlar genellikle hesap edilmez ancak bu dış etkenler duvarın stabilitesini azaltır. Bu durumun yaşanmaması ve zeminin don etkisinden kurtulması için duvar arkasına uygun bir drenaj sistemi oluşturulmalı ve suların tahliyesi sağlanmalıdır.

3.2.3.7. İstinat Duvarı Drenajı

İstinat duvarlarının geri dolgusundaki zeminde suyun tahliye edilememesi büyük bir sorun oluşturur. Çeşitli nedenlerle duvar arkasında biriken su tahliye edilmediğinde duvara ek bir hidrostatik basınç etkisi oluşturur. Kontrolsüz gelişen bu basınç duvar stabilitesini azaltır. Başka bir sorun ise temel derinliği altındaki yer altı su seviyesinin yükselmesidir. Yükselen sular kış aylarında donar. Donma sonucu genleşen su duvara yatay bir kuvvet uygular. Bu durumları engellemek için suyun duvardan uzaklaştırılması için drenaj yapılması gerekmektedir.

Drenaj uygulamasında farklı yöntemler vardır. Bu yöntemler, drene edilecek olan suyun miktarı, istinat duvarı temelının yer altı su seviyesinin altında ya da üzerinde olması ve geri dolgu malzemesinin özelliğine göre değişir.



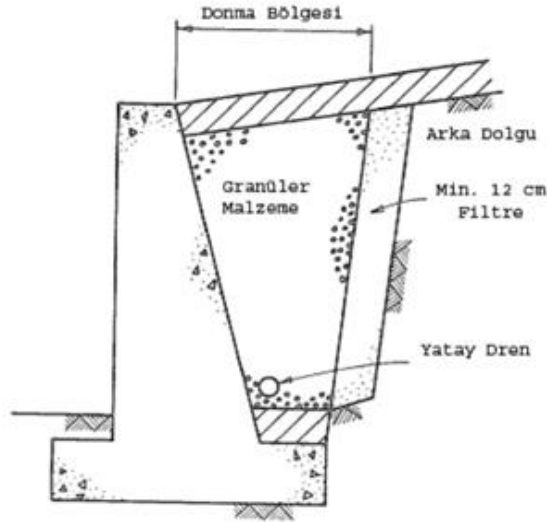
Şekil 3.38. İstinat duvarı üzerinde barbakan boşlukları

İstinat duvarı geri dolgusundaki suyun tahliyesi için çakıl ve kohezyonsuz zemin kullanılması önerilir. Bu sayede su zemin malzemesinin boşluklarından tahliye edilir.

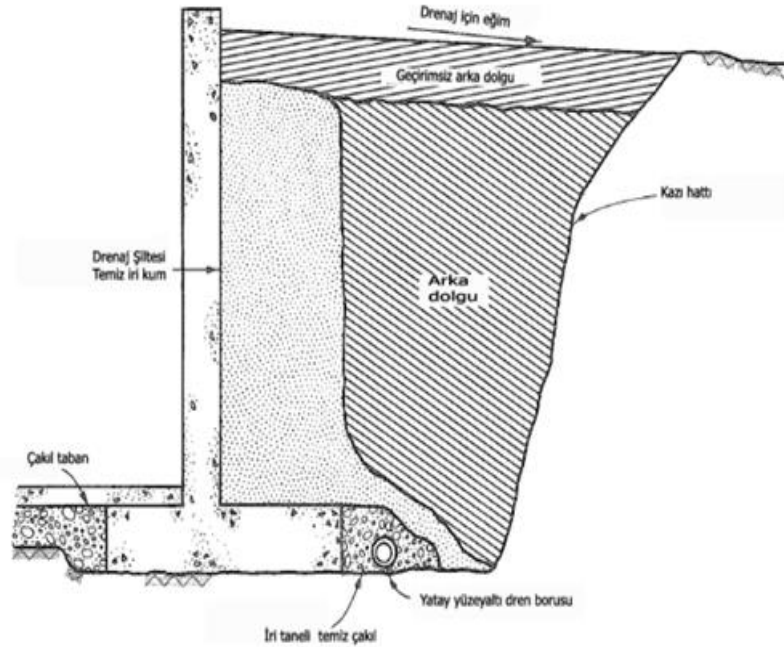
İstinat duvarının temeli yer altı su seviyesinin altında ise drenaj boruları yerleştirilebilir. Yüksek duvarlar için barbakan adı verilen 15 cm çapında sızdırma boruları 1-1,5 m aralıklarla duvar üzerine yerleştirilir (Şekil 3.38, 3.39, 3.40, 3.41)



Şekil 3.39. İstinat duvarı barbakan delikleri



Şekil 3.40. İstinat duvarı geri dolgusunda donma tehlikesine karşı drenaj uygulaması



Şekil 3.41. İstinat duvarında drenaj şiltesi

3.3 Geosentetikler

İnşaat mühendisliği projelerinde çeşitli geoteknik ve çevresel amaçlarla kullanılan ve neredeyse tamamı polimer esaslı olan sentetik malzemelerdir. Zemin içerisinde kullanılanlar genel anlamda geosentetik malzeme olarak isimlendirilirler. Yollar, bentler, istinat duvarları, drenaj sistemleri gibi inşaat mühendisliği yapılarının yapımında, onarımında ve bakımında kullanılırlar.

Farklı geosentetik türleri vardır ve bunlar farklı özelliklere sahip olduklarından dolayı farklı amaçlar için farklı kullanım alanları vardır. Geosentetikler son yıllarda inşaat

sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Ülkemizde TS EN ISO 10318-1 bu malzemeler için kullanılan yönetmeliktir.

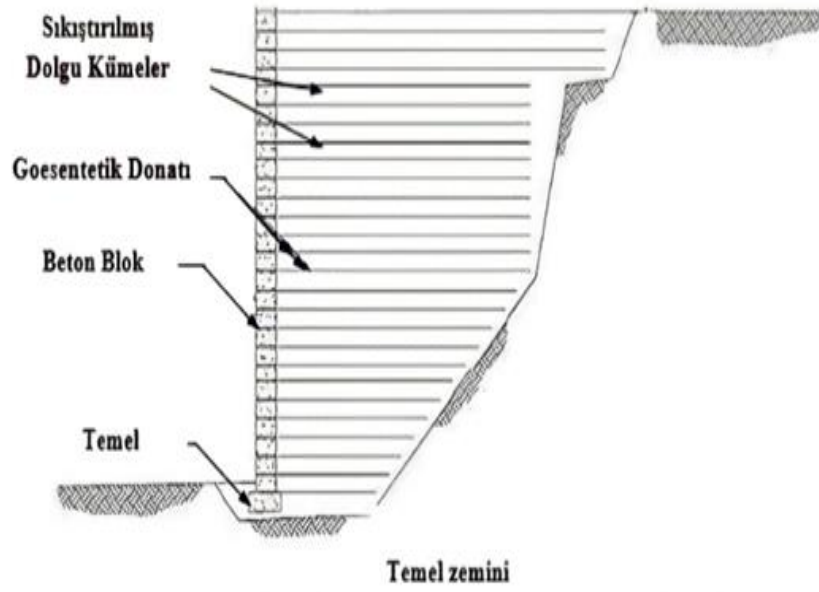
Geosentetikler; ayırma, güçlendirme, filtreleme, drenaj ve filtreleme işleri gibi belirli işlemleri yerine getirmelerinin yanı sıra yüksek çekme kuvveti altında düşük uzama oluşturarak iyi bir yük dağılımı sağlamaktadırlar (Şekil 3.42, 3.43, 3.44).



Şekil 3.42. Temel duvarında uygulanan geosentetik yalıtım



Şekil 3.43. Zemin tabakasında geosentetik uygulaması



Şekil 3.44. Geosentetik donatılı istinat duvarının genel görünümü

Geosentetiklerin hafifliği, yüksek mukavemetli olması, dayanıklılığı, UV ışığı ve hava koşulları gibi çevresel faktörlere karşı dirençleri dahil olmak üzere geleneksel inşaat malzemelerine kıyasla birçok avantajı vardır. Montajı kolaydır, zamandan ve maliyetten tasarruf sağlayabilirler.

Geotekstil, geogrid, geocells, geomembranlar ve geokompozitler gibi çeşitli formlarda üretilebilirler. Bu tez çalışması kapsamında zemin tabakaları arasında geotekstil donatı kullanılmıştır.

3.3.1. Geotekstilller

Geotekstilller, birbirlerini dik açıyla kesen ipliklerin örülmesiyle oluşmuş lifli yapıdaki malzemelerdir (Şekil 3.45).



Şekil 3.45. Geotekstil

Yüksek çekme kuvveti altında düşük uzama oluşturması sayesinde iyi bir yük dağılımı sağlar. Genel olarak kullanıma amacı taşıma gücünü artırmaktır. Geotekstiller;

- Kaplamasız yollarda
- Karayolları ve hava alanlarında
- Demiryollarında
- Barajlarda
- Asfalt takviye işlerinde
- Dren ve hendeklerde
- Şev ve kıyı korumalarında
- Spor sahalarında
- İstinat duvarları gibi alanlarda kullanılmaktadır (Şekil 3.46, 3.47).



Şekil 3.46. Geotekstil donatılı istinat duvarı (Roven-Fransa, 1971)



Şekil 3.47. Geotekstil kullanım alanlarından bazıları

Geotekstil donatılarının sağlaması gereken özellikler çizelge 3.1. de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Geotekstil donatının sağlaması gereken özellikleri (Güler, 2006)

Özellik	Değer
Üretim yönü	Örgülü
Min birim alan ağırlığı (DIN-EN-965)	190 g/m ²
Min çekme mukavemeti (DIN-EN-ISO 10319)	40 kN/m
Örgü yönünde %5 deformasyon altında min çekme kuvveti (DIN-EN-ISO 10319)	18 kN/m
Max çekme kuvveti altında çözgü ve örgü yönünde max deformasyon(DIN-EN-ISO 10319)	%22
Minimum CBR statik delme deneyi (DIN-EN-ISO 12236)	4 kN
Dinamik delme deneyinde max. delme çapı(DIN-EN-918)	12 mm
Min. Permeabilite (EN ISO 11058)	1x10 ⁻³ m/s
Max. karakteristik açıklık büyüklüğü (EN ISO 12956)	250 mikron
500 saat sonunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum Ultra-Viole dayanımı (ASTM-D-43 55)	%80
Mikrobiyolojik degradasyon sonucunda çekme mukavemetinin % cinsinden min. çekme dayanımı (EN 12225)	%80

3.3.2. Geogridler

Geogridler, polyester liflerinden üretilen polimer kaplı malzemedir. En önemli özelliği küçük bir uzamada yüksek geri dayanımın sağlanmasıdır. Bu özelliğinden dolayı granüler dolgulu malzemede iyi sürtünme açısı sağlar. Geri dolguda çekme gerilmelerinin karşılanması, zemin taşıma gücünün artırılması ve iyileştirilmesi, asfalt ve beton donatısı olarak kullanılması gibi pek çok kullanım alanı mevcuttur (Şekil 3.49, 3.50, 3.51).



Şekil 3.48. Zeminde geogrid takviyesi



Şekil 3.49. Geogrid donatılı istinat duvarı



Şekil 3.50. Zeminde geogrid donatı serilmesi

Geogrid donatının sağlaması gereken özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Geogrid donatının sağlaması gereken özellikleri (Güler, 2006)

Özellik	Değer
Her iki yönde min. çekme dayanımı (EN ISO 10319)	40 kN/m
Her iki yönde min. kopma uzaması (EN ISO 10319)	%10
Atmosfer şartlarında degradasyon sonucunda çekme dayanımının % cinsinden min. çekme dayanımı (EN 12224)	%85
Asit ve Alkali ortamlarda çekme dayanımının % cinsinden min. çekme dayanımı (EN 14030)	%99
Mikrobiyolojik degradasyon sonucu çekme dayanımının % cinsinden min. çekme dayanımı (EN 12225)	%95
Hidroliz sonucu çekme dayanımının % cinsinden min. çekme dayanımı (EN 12447)	%99

3.3.3 Geomembranlar

Geomembranlar, uygun yalıtım ve yüzey koruması sağlaması amacıyla üretilen sentetik kökenli malzemedir. Kimyasal maddelere karşı yüksek direnç özelliği gösterir. Çekme mukavemeti yüksek olup geçirgenliği düşüktür. Delinme ve çatlamalara karşı dayanıklıdır. Genelde geçirimsizlik sağlamak amacıyla kullanılır (Şekil 3.51).



Şekil 3.51. Geomembran

3.3.4. Diğer Geosentetikler

Geoceller, yüksek yoğunluklu polietilenden üretilen geosentetik erozyon kontrol ürünleridir. Boşluklu yapısı sayesinde değişik boyutlu dolgu malzemelerinin kullanımına olanak sağlar. Kalıcı toprak yapılar oluşturmada, kanal duvar uygulamalarında, zemin stabilizasyonunda ve şev erozyon koruması amacıyla kullanılır (Şekil 3.52).



Şekil 3.52. İnşaat uygulamalarında Geocellerin kullanımı

Geokompozitler, geogridlerin tüm özelliklerini sunmasının yanı sıra drenaj ve ayırma amaçlı da kullanılan sentetik malzemedir. Dikdörtgen şeklinde örülüp üzeri PVC ile kaplanan geogridlerin serimi esnasında geotekstil ile birleştirilmesi sonucu oluşturulur. İki farklı ürünün tek bir üründe birleşmesi sayesinde uygulama kolaylığı ve işçilik tasarrufu sağlar (Şekil 3.53).



Şekil 3.53. İnşaat uygulamalarında Geokompozit kullanımı

3.4. Ölçeklendirme kuralları

Geoteknik problemlerin çözümünde, arazi üzerindeki bir yapı probleminde çalışmak zaman, ortam ve hava koşulları açısından olumsuz durumlar oluşturabilmektedir. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için arazi üzerinde tasarlanacak bir geoteknik yapı, laboratuvar ortamında belirli kurallar dahilinde yeniden boyutlandırılarak tasarlanabilir. Böylece, laboratuvar ortamında daha hassas ve doğru sonuçlar elde edilebilir, çeşitli deneyler yapılabilir ve böylece daha ayrıntılı incelemeler yapılabilir. Ayrıca, laboratuvar deneyleri kontrol altında gerçekleştirildiğinden dış etkilerden kaynaklanabilecek hatalar en asgari düzeye indirilmiş olur.

Fiziksel modellemede, prototip modellerin (gerçek boyutlu modeller) üzerinde, belirli özellikleri araştırmak ve uygunluğunu kontrol etmek için çalışmalar yapılır. Gerçek boyutlu yapıyı, laboratuvar ortamında oluşturmak maliyet ve zaman açısından olumsuz durum oluşturacağından, fiziksel modellemede yapı küçük ölçekli olarak tasarlamalıdır. Bunun sayesinde küçük ölçekli modeller üzerinde yapılacak

deneyler ile yapı üzerindeki bir etki parametre olarak araştırabilir ve sürekli tekrarlayarak çözüm yolları bulunabilir.

Küçük ölçekli modele indirgemed, arazi üzerindeki yapının tüm parametrelerinin tamamını sabit bir oranda küçültmek gerçeklikten uzaklaşmak anlamına gelebilir. Bundan dolayı arazi üzerindeki bir yapının davranışını kavrayabilmek için yapılan ölçeklendirmede belirli kurallar mevcuttur. Bu kurallarla yapılan deneylerde birebir aynı sonuçlara ulaşılmasa da yakın sonuçlar elde etmek amaçlanmaktadır.

Ölçeklendirme kuralları uygulanırken birtakım varsayım ve kabuller yapılmaktadır. Fiziksel model oluştururken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Arazi üzerindeki malzemeler ve özellikleri laboratuvar ortamına uygun olarak seçilmelidir. Arazi üzerindeki ortama uygun bir düzenek oluşturulmalıdır. Benzer malzemeler seçilmeli, zemin parametreleri gerçeği yansıtacak uygunlukta olmalıdır.

Arazi ortamındaki geoteknik yapı uygun kurallar dahilinde ölçeklendirilmelidir. Çok fazla değişken olduğundan dolayı bu karmaşık bir işlemdir. Ölçeklendirme kurallarını uygularken doğrudan belirli oranda küçültme yapmak yerine, yapı-zemin etkileşimi göz önüne alınarak boyut analizi yapılmalı ve birçok farklı yapı- zemin etkileşimi aynı anda düşünülmelidir. Ölçekleme işleminin doğru bir şekilde yapılabilmesi için boyut analizi büyük önem arz etmektedir.

Fiziksel modelde kullanılacak zaman, yük, deformasyon ölçer gibi aletler küçük ölçeklere uygun olarak seçilmelidir (Toka-2021).

Prototip modelin deneydeki davranışını anlamak, doğru bir şekilde yorumlayabilmek için ölçeklendirme yasalarını anlamak ve doğru bir şekilde yorumlamak gerekir. Birçok detayın başarılı bir şekilde temsil edilebilmesi, inşaat mühendisliğinde fiziksel modellemenin uzun zamandan beri başarılı bir şekilde uygulandığını göstermektedir (Garnier 2001: Green 2014).

Bir fiziksel modelin oluşturulabilmesi için doğru ölçek faktörlerinin seçilmesi, incelenmek istenen probleme uygun tasarım kriterlerinin belirlenmesi, prototip model değişkenlerinin hangisinin küçük ölçekli modelde temsil edileceğinin tespit edilmesi ve mevcut imkanların efektif bir biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir (Al Heib ve ark. 2020).

Ölçeklendirmede sabit bir oran kabul edilir ve ardından bu sabit orandan yola çıkılarak diğer değişkenler hesaplanır. Çizelge 3.3.'te geoteknik modellemede ölçeklendirme yapılırken dikkat edilecek özellikler gösterilmiştir. Burada deneyin yer çekimi ortamında gerçekleştirildiği kabul edilmiştir.

Uzunluk için ölçeklendirmeye örnek verecek olursak, burada N_L uzunluğun ölçek faktörü olup bu değer 1g modellerde $1/N$ ve N_g modellerde $1/N$ olarak seçilecektir. Burada N birim, küçük ölçekli modeldeki 1 birimi göstermektedir.

Çizelge 3.3. Geoteknik mühendisliğinde fiziksel modellemede kullanılabilecek ölçek faktörleri (Toka, 2021)

Özellik	1g modelleme
Uzunluk (N_L)	$1/N$
Yoğunluk (N_ρ)	1
İvme (N_{gr})	1
Gerilme (N_s)	$1/N$
Rijitlik (N_G)	$1/N^\alpha$
Kuvvet (N_F)	$1/N^3$
Düzlem deformasyonda kuvvet (N_{f2})	$1/N^2$
Birim deformasyon (N_{st})	$1/N^{1-\alpha}$
Deplasman (N_d)	$1/N^{2-\alpha}$
Viskozite (N_μ)	1
Akışkan yoğunluğu (N_{pa})	1
Geçirimsizlik katsayısı (N_k)	1
Hidrolik eğim (N_i)	1
Konsolidasyonda zaman (N_{tkons})	$1/N^{2-\alpha}$
Dinamik olaylarda zaman (N_{dt})	$1/N^{1-\alpha/2}$

Burada α bir katsayı olup killi için 1 kumlar için 0.5 alınmaktadır. Çizelge 3.3.'teki ölçek faktörleri sadece bu çizelge ile sınırlı değildir, incelenen konuya göre yeni ölçek faktörleri eklenebilir.

Bu tez çalışması kapsamında uygulanan ölçeklendirme kurallarına ait hesaplamalar alt bölümde anlatılmıştır.

3.5. Geri Dönüştürülmüş Beton Ağreganın Özellikleri ve Temini

Bu tez çalışması kapsamında kullanılacak olan GDBA malzemesi Konya Teknik Üniversitesi Kampüs alanı içerisinde bulunan atık parke taşlarından elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan kum zemin Konya ili, Selçuklu ilçesi, Eğribayat kum ocağından temin edilmiştir. Kum zemin öncelikle yıkanmış ve karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla üzerinde gerekli olan zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır.

Parkeler öncelikle hilti aleti yardımıyla küçük boyutlara parçalanmış ve Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarında bulunan çeneli kırıcı aletiyle

kum/çakıl boyutunda küçültülmüştür. Daha sonrasında bu agregalar 4,76 mm elek boyutundan elenerek deneye hazır hale getirilmiştr.

Bu alışma kapsamında GDBA'lar, doğal kum içerisine %20, 40, 60 oranlarında ilave edilerek kullanılmıştır. GDBA-kum karışımlarının karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla bu karışımlar üzerinde bir takım agrega deneyleri yapılmıştır (şekil 3.54, 3.55, 3.56, 3.57, 3.58).



şekil 3.54. Hilti yardımıyla parke betonların parçalanması



şekil 3.55. GDBA'ların parçalanmasında kullanılan çeneli kırıcı



Şekil 3.56. Çeneli kırıcı yardımıyla küçültülen GDBA



Şekil 3.57. GDBA'ların kum boyutunda elenmesi

3.5.1. Elek Analizi Deneyi

Zemin tanelerinin tane boyutu dağılımını saptamak amacıyla elek analizi deneyleri yapılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında 1000 gr'lık zemin örneği alınmış, sarsma makinesi yardımıyla bir dizi elekten geçirilmiştir. Bu deney sonucunda karışımların zemin sınıfları belirlenmiştir. Bu deney tüm karışım oranları için uygulanmıştır (Şekil 3.58).

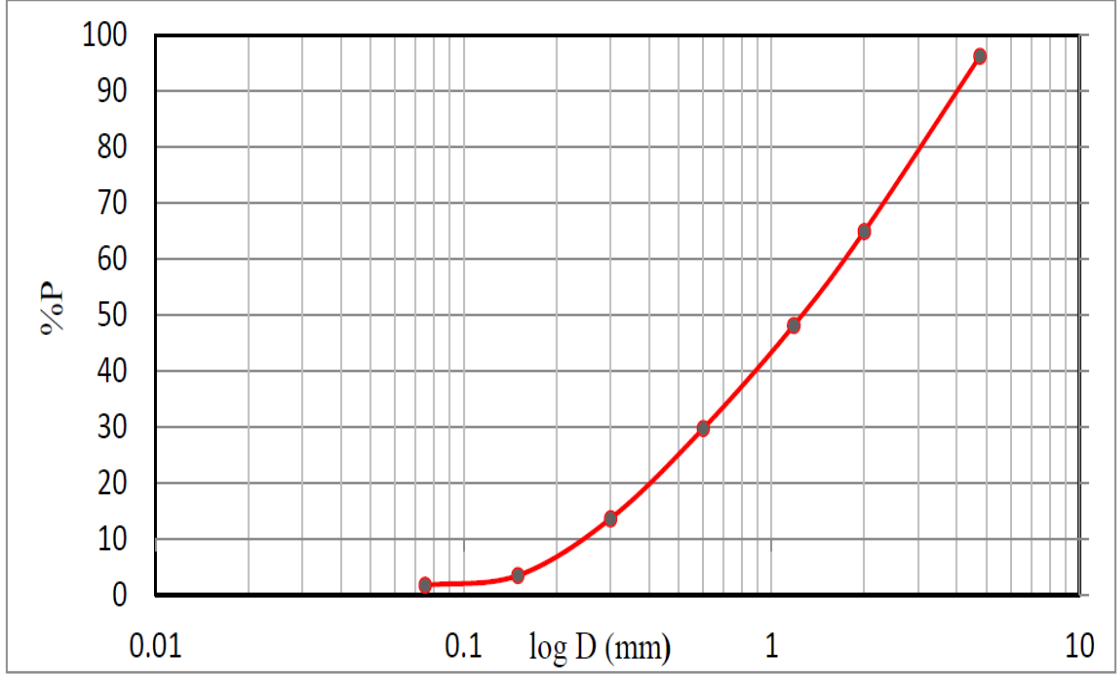


Şekil 3.58. Laboratuvarda elek analizi deneylerinin yapılması

3.5.1.1. %100 Kum Malzeme için Elek Analizi Deney Sonuçları

Çalışmada Konya ili, Selçuklu ilçesi, Eğribayat kum ocağından getirilen kum malzeme (DA) öncelikle yıkanmış ve üzerinde gerekli olan zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır. Kum zemin için elek analizi ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılarak fiziksel özellikler belirlenmiş (ASTM D 6913-04,2009, ASTM D 854-10,2010), ayrıca TS1500 - 2000'e göre zemin sınıfı tespit edilmiştir (TS1500 - 2000).

Deney kumu için laboratuvarda ASTM standartlarına uygun olarak yapılan elek analizi deneyi sonucunda tane dağılımı çapı eğrisi (granülometri eğrisi) elde edilmiştir (Şekil 3.59). USCS zemin sınıfına göre kum zemin kötü derecelenmiş kum (SP) zemin sınıfına girmektedir. Elek analizi deney sonuçlarına göre; kum zeminde %4 çakıl, %94 kum ve %2 silt bulunmaktadır (Çizelge 3.4).



Şekil 3.59. %100 DA Elek analizi grafiği

Çizelge 3.4. %100 Kum Zeminin Fiziksel Özellikleri

Tanımlama (USCS)	SP
Efektif Tane Çapı D_{10} (mm)	0.25
D_{30} (mm)	0.60
D_{60} (mm)	1.7
Üniformluluk Katsayısı $C_u = D_{60}/D_{10}$	6.8
Derecelenme Katsayısı $C_c = (D_{30})^2 / D_{60} \times D_{10}$	0.85



Şekil 3.60. Proktor kalıbı ile kuru birim hacim ağırlıklık, min. ve max. boşluk oranlarının belirlenmesi

Deney kumunun dane birim hacim ağırlığını belirlemek için Geotektik laboratuvarında piknometre deneyi yapılmıştır. Piknometre deneyi sonucunda dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s = 27,1 \text{ kN/m}^3$ bulunmuştur. Deneyde kullanılan kumun maksimum ve

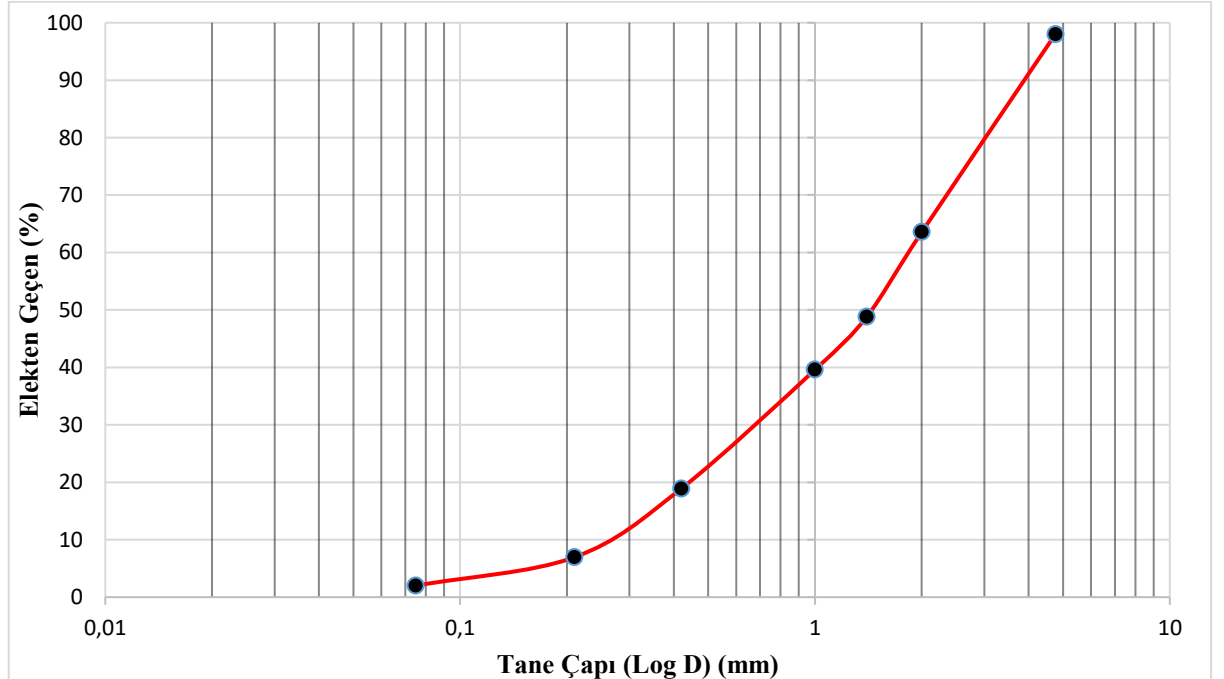
minimum birim hacim ağırlıklarını bulmak için ve maksimum -minimum boşluk oranlarını belirlemek amacıyla standartlara uygun proktor kalıbı kullanılmıştır (ASTM D 4254,2006, ASTM D 4253, 2002) (Şekil 3.60) (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Proktor kalıbı ile belirlenen Kuru birim hacim ağırlık ve min. – max. boşluk oranı değerleri

Parametreler	Değer
Tane birim hacim ağırlık (kN/m^3)	27.1
Gevşek haldeki kuru birim hacim ağırlık $\gamma_{k,min}$ (kN/m^3)	15.1
Sıkı haldeki kuru biri hacim ağırlık $\gamma_{k,max}$ (kN/m^3)	19.3
Minimum boşluk oranı e_{min} (%)	36.2
Maksimum boşluk oranı e_{max} (%)	74.5
Sıklık Derecesi D_r (%)	33

3.5.1.2. %20 GDBA + % 80 DA karışımı zemin için Elek Analizi Deney Sonuçları

Geri dolguda kullanılacak % 20 GDBA + %80 DA karışımı dolgu malzemesi için laboratuvarında ASTM standartlarına uygun olarak yapılan elek analizi sonucunda tane dağılımı çapı eğrisi (granülometri eğrisi) elde edilmiştir (Şekil 3.61). USCS zemin sınıfına göre zemin iyi derecelenmiş kumlar, çakıllı kumlar (SW) zemin sınıfına girmektedir (Çizelge 3.6).



Şekil 3.61. %20 GDBA + %80 DA için elek analizi grafiği

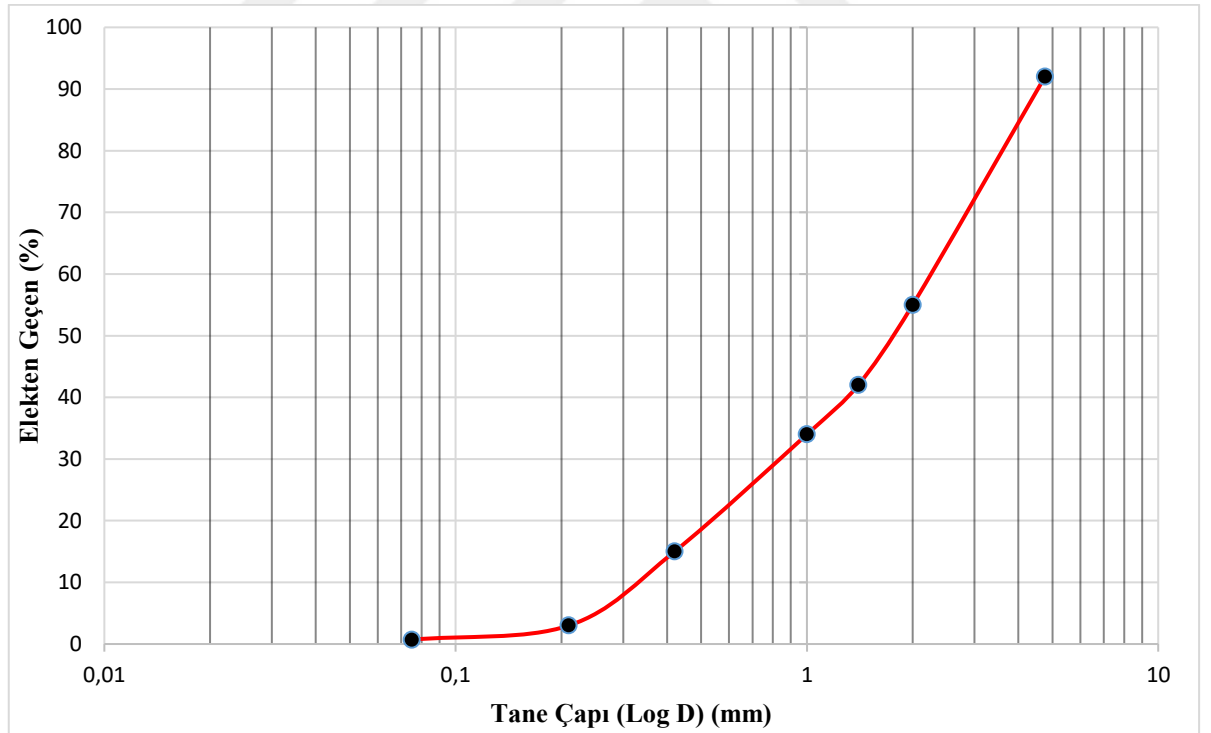
Çizelge 3.6.. %20 GDBA+ %80 DA için zeminin fiziksel özellikleri

Tanımlama (USCS)	SW
Efektif Tane Çapı D_{10} (mm)	0.21
D_{30} (mm)	0.70
D_{60} (mm)	1.6
Üniformluluk Katsayısı $C_u = D_{60}/D_{10}$	7.61
Derecelenme Katsayısı $C_c = (D_{30})^2/D_{60} \times D_{10}$	1.46

3.5.1.3. %40 GDBA + % 60 DA karışımli zemin için Elek Analizi Deney Sonuçları

Geri dolguda kullanılacak % 40 GDBA + %60 DA karışımli dolgu malzemesi için laboratuvarıda ASTM standartlarına uygun olarak yapılan elek analizi sonucunda tane dağılımı çapı eğrisi (granülometri eğrisi) elde edilmiştir (Şekil 3.62).

USCS zemin sınıfına göre zemin kötü derecelenmiş kumlar, çakıllı kumlar (SP) sınıfına girmektedir (Çizelge 3.7).

**Şekil 3.62. %40 GDBA + %60 DA için elek analizi grafiği**

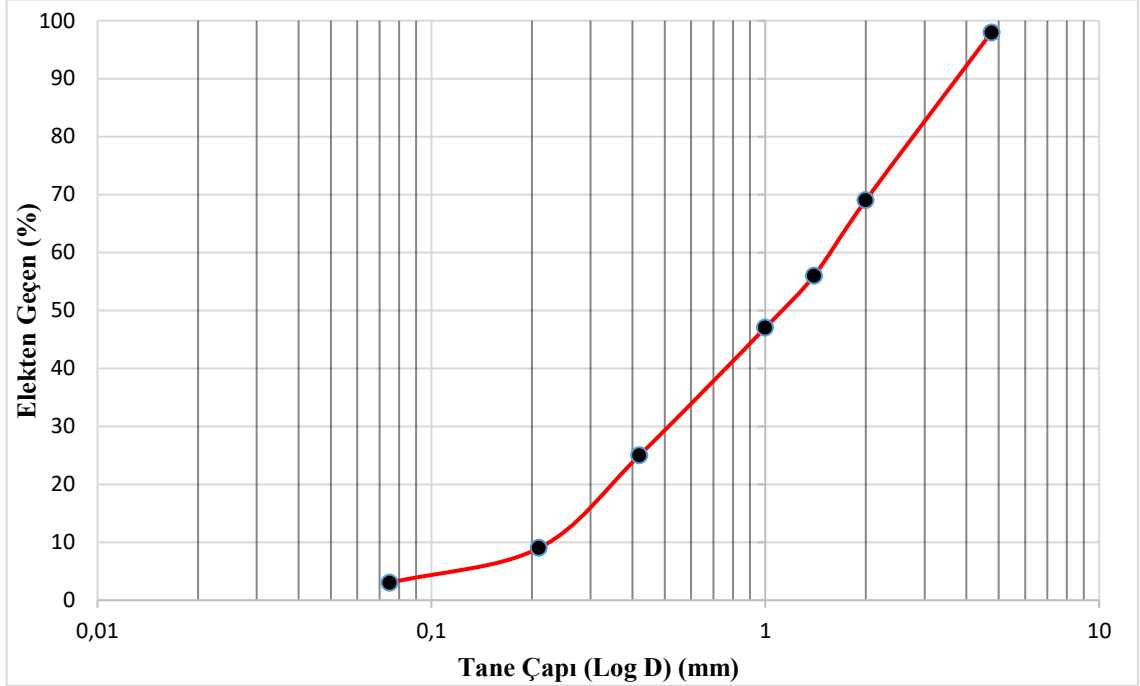
Çizelge 3.7. %40 GDBA+ %60 DA için zeminin fiziksel özellikleri

Tanımlama (USCS)	SP
Efektif Tane Çapı D_{10} (mm)	0.32
D_{30} (mm)	0.80
D_{60} (mm)	2.2
Üniformluluk Katsayısı $C_u = D_{60}/D_{10}$	6.88
Derecelenme Katsayısı $C_c=(D_{30})^2/D_{60} \times D_{10}$	0.91

3.5.1.4. %60 GDBA + % 40 DA karışımli zemin için Elek Analizi Deney Sonuçları

Geri dolguda kullanılacak % 60 GDBA + %40 DA karışımli dolgu malzemesi için laboratuvar da ASTM standartlarına uygun olarak yapılan elek analizi sonucunda tane dağılımı çapı eğrisi (granülometri eğrisi) elde edilmiştir. (Şekil 3.63).

USCS zemin sınıfına göre zemin kötü derecelenmiş kumlar, çakıllı kumlar (SP) zemin sınıfına girmektedir (Çizelge 3.8).

**Şekil 3.63. %60 GDBA + %40 doğal agrega elek analizi****Çizelge 3.8. %60 GDBA+ %40 DA için zeminin fiziksel özellikleri**

Tanımlama (USCS)	SP
Efektif Tane Çapı D_{10} (mm)	0.22
D_{30} (mm)	0.50
D_{60} (mm)	1.85
Üniformluluk Katsayısı $C_u = D_{60}/D_{10}$	8.40
Derecelenme Katsayısı $C_c=(D_{30})^2/D_{60} \times D_{10}$	0.62

3.5.2. Mini (Harvard) Proktor Deneyi

İstinat duvarı geri dolgusunda kullanılan 4 farklı zemin için optimum su muhtevasını bulmak ve maksimum birim hacim ağırlığı hesaplamak amacıyla proktor deneyi yapılmıştır (Şekil 3.64). Deney, mini (Harvard) proktor aletiyle yapılmıştır. Deney numune aletinin iç çapı 4,65 cm ve yüksekliği 10 cm'dir. Deney için kurutulmuş ve tanelenmiş bir miktar zemin kullanılmıştır. Zemine bir miktar su katılıp karıştırılarak, hazırlanan zemin 3 tabaka halinde numune kabına yerleştirilmiştir. Kabın üzeri düzlenip, kabın içerisindeki yaş zeminin ağırlığı belirlenmiştir. Böylece yaş yoğunluk hesaplanmıştır. Kap içerisindeki zemin çıkartılıp, buradan bir miktar alınarak etüve konularak su içeriği belirlenmiş ve kuru yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Deneyler aynı şekilde artan su içeriklerinde tekrarlanıp, deneyler sonucunda kuru birim hacim ağırlık – su içeriği grafikleri çizilerek, elde edilen eğrinin tepe noktası ile ilişkili olarak optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.64. Laboratuvarda mini (Harvard) proktor deneyinin yapılması

3.5.3. Kesme Kutusu Deneyi

Kesme kutusu deneyi, zemin numunelerine kesme etkisi uygulayarak kayma direncinin ve kayma açısının belirlenmesine yönelik yapılmaktadır. Bu deney, genellikle kumlar için uygun olmasına rağmen kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler içinde uygulanmaktadır.

Zemin numunesi dikdörtgen kesitli iki parçadan oluşan rijit bir kutu içerisine yerleştirilir ve yüzeyleri düz bir spatula yardımıyla düzeltilir. En altında gözenekli levha ardından poroz taş olacak şekilde numune deney düzeneğine oturtulur ve kuvvet halkası bağlanır. Düşeyde belirli bir yük kola asılır. Numune kesme hızı ayarlanır ve deneye başlanır. Grafiklerde deformasyon belirli bir süre artış gösterirken bir süre sonra düşüş meydana gelir ve deney sonlandırılır.

Kesme kutusu deneyinde 60x60 mm kesitli ve 20 mm yüksekliği bulunan kare kesitli ringler kullanılmıştır. Hazırlanan 4 farklı karışım oranındaki zemin numunelerinde deney yapılmıştır. Sırasıyla 20, 40 ve 80 N düşey yük uygulanmış ve numuneler 1 mm/dk'lık yatay bir hızla kesilmiştir. Verilen eşitliklerden normal ve kayma gerilmeleri hesaplanmıştır.

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad (3.11)$$

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_{\max}}{A} \quad (3.12)$$

Deneylerden elde edilen veriler kaydedilmiş ve bu verilerden zeminlere ait sürtünme açıları ve kohezyon değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.65, 3.66, 3.67, 3.68).



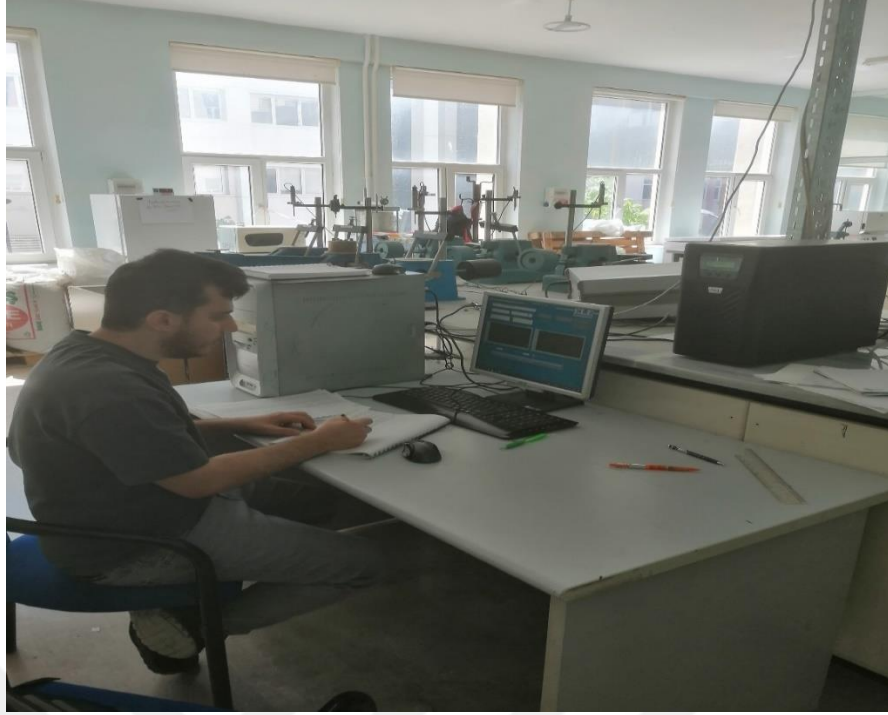
Şekil 3.65. Kesme Kutusu Deneyi için zeminin hazırlanması



Şekil 3.66. Kesme kutusu deneyi için Optimum su içeriğinde karıştırılmış zemin



Şekil 3.67. Kesme kutusu deneyi sonrası zemin örneği



Şekil 3.68. Kesme kutusu deney sonuçları kayıt edilmesi

3.5.4. Piknometre Deneyi

Tane yoğunluklarının bulunması amacıyla piknometre deneyi yapılmıştır. Deney için öncelikle belirli miktarda kuru malzeme piknometre ile beraber tartılır. Piknometrenin kendi ağırlığını bulmak amacıyla piknometre tartılır. Piknometre ve zemin su ile doldurulup havası alınarak tartılır ve son olarak su ile doldurularak havası alınmış olan piknometre tekrar tartılır. Bu işlemlerden sonra tane yoğunluğu hesaplanır. (Şekil 3.69)

$$\rho_s = \frac{M_2 - M_1}{[(M_3 - M_1) - (M_4 - M_2)]} \times \rho_{su} \quad (3.13)$$

ρ_s : Tane yoğunluğu (gr/cm³)

M1: Piknometre kütlesi (gr)

M2: Piknometre + kuru malzeme kütlesi (gr)

M3: Piknometre + su kütlesi (gr)

M4: Piknometre + malzeme + su kütlesi (gr)

ρ_{su} : Su yoğunluğu (1 gr/cm³)

Piknometre deneyi, istinat duvarı geri dolgusunda kullanılacak 4 farklı zemin örneği için yapılmıştır.

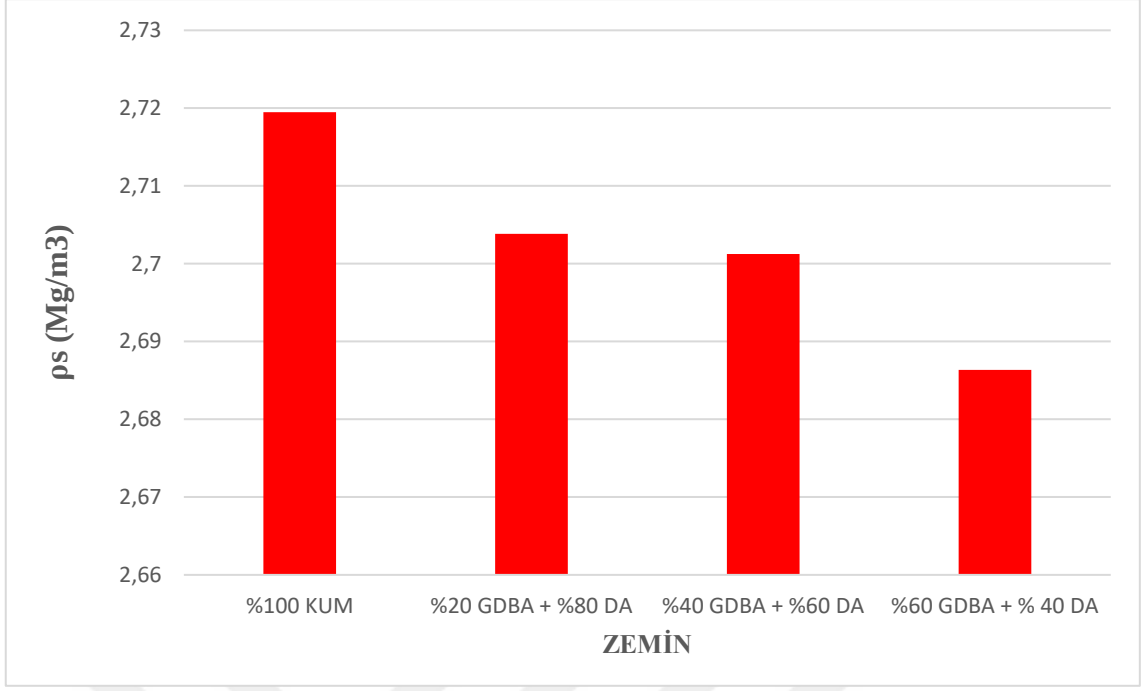


Şekil 3.69. Laboratuvarda piknometre deneyinin yapılması

İstinat duvarı geri dolgu malzemesi için %0, 20, 40, 60 karışımları için piknometre deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 3.9. ve Şekil 3.70’de verilmiştir. GDBA oranı arttıkça tane yoğunluğu (ρ_s) değerlerinde azalma olmuştur. Benzer sonuçlar Jimenez ve ark. (2012) tarafından da bildirilmiştir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda GDBA tanelerinin içerdiği heterojen harç fazına bağlı olarak daha fazla boşluklu yapıya sahip olduklarından daha düşük birim hacim ağırlık değerleri ölçülmüştür. Mevcut tez çalışmasında bulunan sonuçlar literatürdeki sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Çizelge 3.9. Piknometre deneyi verileri ve sonuçları

	Şişe	Şişe+ Zemin	Şişe+ Zemin+ Su	Şişe +Su		
Zemin	$M_{1(gr)}$	$M_{2(gr)}$	$M_{3(gr)}$	M_4 8gr	$\rho(su)$ (Mg/m ³)	ρ_s (Mg/m ³)
%100 KUM	45,96	124,58	344,87	295,16	1	2,719
%20 GDBA + %80 DA	46,59	120,81	341,93	295,16	1	2,704
%40 GDBA + %60 DA	47,18	109,12	334,17	295,16	1	2,701
%60 GDBA + % 40 DA	47,37	115,2	337,74	295,16	1	2,686



Şekil 3.70. Dört farklı karışım için birim hacim ağırlık değerleri

3.6. İstinat Duvarında Boyutlandırma

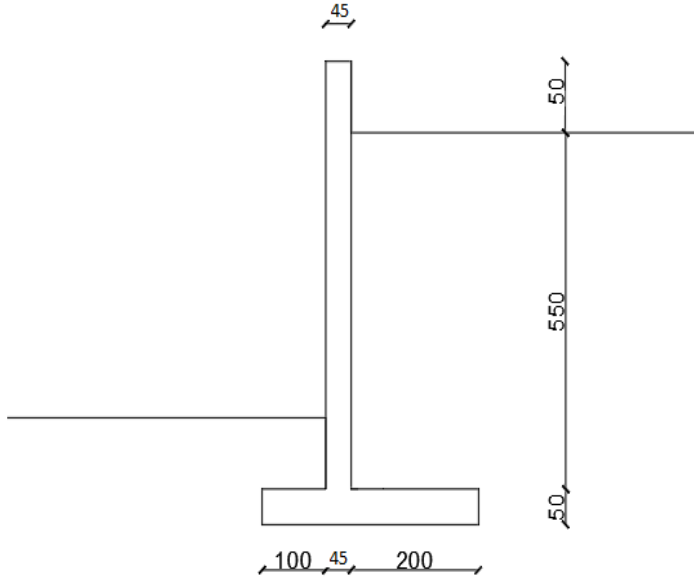
Uygulamada projelendirilen, gerçek boyutlara sahip bir istinat duvarı ile ilgili ölçüler Şekil 3.61’te verilmiştir. Daha önceki bölümde anlatılan ölçeklendirme kurallarına uygun olarak gerekli kabuller ve hesaplamalar yapılarak, prototip istinat duvarı Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında bulunan tank sistemine (Demiröz, 2008) uygun olacak şekilde ölçeklendirilmiştir (Şekil 3.71, 3.72). Bu ölçeklemede ilk ve en belirgin olan uzunluk ölçeklendirmesidir. Bu ölçekleme, prototip modelin geometrik olarak küçültülmüş hali olmaktadır ve bundan sonraki birçok ölçeklendirme N_L ’e bağlı olarak değişecektir.

$$\frac{\text{Model uzunluğu}}{\text{Prototip uzunluğu}} = N_L \quad (3.14)$$

Ölçeklendirmede ilk olarak gövde yüksekliği 60 cm olacak şekilde kabul edilmiştir. Bu kabul tank yüksekliği gözetilerek yapılmıştır. O halde ölçek faktörü:

$$N = \frac{60}{600} = \frac{1}{10} \quad (3.15)$$

olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.71. Gerçek boyutlara sahip bir istinat duvarının ölçüleri



Şekil 3.72. Laboratuvarda yükleme deneylerinin yapıldığı tank düzeneği (Demiröz, 2008)

Bu sabit kabulden sonra istinat duvarı gövdesi için kalınlık hesabında duvarın eğilme rijitliği (D_r) üzerinden hesaplara devam edilmiştir. Duvarın sayfa düzlemine dik

uzunluğu b_s olarak tanımlanmıştır. Ancak burada birim uzunluk gerçekte ve modelde aynı olduğundan dolayı göz ardı edilebilir.

$$D_r = \frac{EI}{b_s} \quad (3.16)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Uzunluk ölçek faktörü 1g modelleme için $N_L=1/N$ olarak seçilmiş ve G için ölçek faktörü $N_G = 1/N^\alpha$ olmuştur. H^3 ifadesinin ölçek faktörü ise $1/N^3$ olarak yazılmakta ve N_E duvarın elastisite modülünü, N_I atalet momenti için ölçek faktörünü göstermektedir. Gerçek boyutlardaki istinat duvarının kalınlığı d_g , elastisite modülü E_g olarak tanımlanmış ve model duvarın kalınlığı d_m , elastisite modülü ise E_m olarak isimlendirilmiştir.

Son durumda boyutlandırmanın gerçekçi bir şekilde olması ve istinat duvarı hareketlerinin doğru bir ölçekte küçültülebilmesi amacıyla boyutsuz bir değişken elde edilmesi gerekmektedir. Bu değişken Φ olarak verilmektedir.

$$\Phi = \frac{E \times I / b_s}{G \times H^3} \quad (3.17)$$

$$\Phi \times G \times H^3 = E \times I \times b_s \quad (3.18)$$

$$\frac{\text{Model istinat yapısı elastisite modülü}}{\text{Prototip istinat yapısı elastisite modülü}} = N_E \quad (3.19)$$

$$\frac{\text{Model istinat yapısı atalet momenti}}{\text{Prototip istinat yapısı atalet momenti}} = N_I \quad (3.20)$$

$$1/N^\alpha \times 1/N^3 = N_E \times N_I \quad \Rightarrow \quad 1/N^{\alpha+3} = N_E \times N_I \quad (3.21)$$

bağıntısı elde edilir. Buradaki α değeri killer için 1 alınırken kumlar için 0.5 alınmaktadır. Laboratuvar deneyleri için imal edilecek olan istinat duvarı C16 beton elde edilecek şekilde hazırlanmıştır ancak kesin sonuç elde etmek için duvar imalatı sırasında 5x5x5 cm'lik küp numuneler alınmıştır. Bu numuneler serbest basınç deneyine tabi tutulmuş ve elastisite modülleri (E) değeri 27 Gpa olarak alınmıştır. Serbest basınç deneyinden elde edilen elastisite modülü değeri hem duvar ölçeklendirilirken hem de Plaxis 3D programındaki modellemede kullanılmıştır.

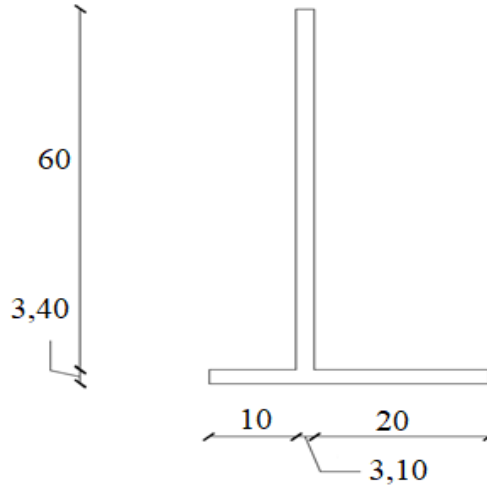
$$\frac{\frac{1}{12} \times E_{km} \times t_{km}^3}{\frac{1}{12} \times E_{pm} \times t_{pm}^3} = N^{(0.5+3)} \quad (3.22)$$

Yukarıdaki bağıntılardan ve formül (3.22)'den

$$\frac{\frac{1}{12} \times 27 \times t_{km}^3}{\frac{1}{12} \times 27 \times 0,45^3} = 1/10^{(0.5+3)} \quad (3.23)$$

Bu eşitlikte E değerleri eşit ve 27 GPa, t_{pm} değeri ise 0.45 m olarak alınmıştır. Denklemin çözülmesinde $t_{km}=3.065$ cm olmuştur. Duvar imal edilirken t_{km} değeri 3.1 cm alınmıştır. Aynı şekilde temel kısmında da $B=10$ cm ve $B'=20$ cm alınarak başlangıç kabulü ile $N=1/10$ şeklinde hesaplamalar yapılmıştır. Gerçekte temel kalınlığı 0.50m olduğundan denkleminde yerine koyulduğunda model temel kalınlığı 3.4 cm olmaktadır. Model duvarın ölçüleri Şekil 3.33'te verilmiştir.

İstinat duvarı donatıları içinde ölçeklendirme ilkelerine göre hesaplamalar yapılmış ve buna göre yaklaşık olarak 2.00 mm kalınlığında tel 3 cm aralıklarla puntolanarak temel ve gövde için kullanılmıştır (Şekil 3.73, 3.74).



Şekil 3.73 Model istinat duvarı boyutları (cm)



Şekil 3.74 Model istinat duvarının oluşturulmasında puntolanmış donatı kafesi

3.6.1. Betonarme Konsol İstinat Duvarının İmalatı

Ölçeklendirme kurallarına uygun şekilde boyutlandırılan istinat duvarını inşa etmek amacıyla Plywood kalıp malzemesi kullanılmıştır. Boyutlandırılan duvarın bütün ölçüleri çıkartılmış ve kalıp malzeme bu boyutlarda oluşturulmuştur. Sonunda tüm malzemeler birleştirilip kalıp ortaya çıkartılmıştır (Şekil 3.65).

Kalıp oluşturulduktan sonra istinat duvarının betondan kolayca çıkabilmesi amacıyla kalıp yağlanmıştır. Kalıp dengeye alındıktan sonra temel ve gövde donatısı birleştirilmiş ve kalıba yerleştirilmiştir.

İstinat duvarı betonu için çimento harcı hazırlanmıştır. Bu betonun özelliklerini belirleyebilmek amacıyla 5x5x5 cm boyutlarında küp numune örnekleri alınmıştır. Bu numuneler 28 gün kür süresi sonrasında elastisite modüllerini belirlemek amacıyla serbest basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu deney verileri daha sonrasında Plaxis 3D programında modelleme aşamasında zemin özellikleri parametreleri tanımlanırken kullanılmıştır (Şekil 3.76, 3.77, 3.78, 3.79, 3.80, 3.81,3.82,.3.83, 3.84, 3.85).



Şekil 3.75. Plywood malzeme ile kalıp hazırlanması



Şekil 3.76. Hazırlanan kalıpların yağlanması



Şekil 3.77. Yağlanmış ve donatısı yerleştirilmiş duvar kalıbı



Şekil 3.78. İstinat duvarı yapımı için agrega hazırlanması



Şekil 3.79. Çimento ve agrega karışımının oluşturulması



Şekil 3.80. İstinat duvarı betonu için harcın hazırlanması



Şekil 3.81. Harcın kalıba dökülmesi



Şekil 3.82. Harcın kalıba yerleştirilmesi ve şişlenmesi



Şekil 3.83. Harcın masterlanması



Şekil 3.84. Serbest basınç deneyi için küp numune kalıplarının yağlanması



Şekil 3.85. Priz alma süresi tamamlanan istinat duvarı

Beton dökme işlemi tamamlanıp kalıplar dengeye alınmıştır. 5. günün sonunda kalıp açılmış ve duvar kalıptan çıkarılmıştır. Daha sonrasında küp numuneler ve duvar 28 günlük kür süresi için kür havuzuna yerleştirilerek betonun yeterli mukavemet kazanması sağlanmıştır (Şekil 3.86, 3.87, 3.88, 3.89).



Şekil 3.86. Kalıptan çıkan istinat duvarı ve küp numuneler



Şekil 3.87. İstinat duvarı ölçüleri



Şekil 3.88. İstinat duvarının terazisine bakılması

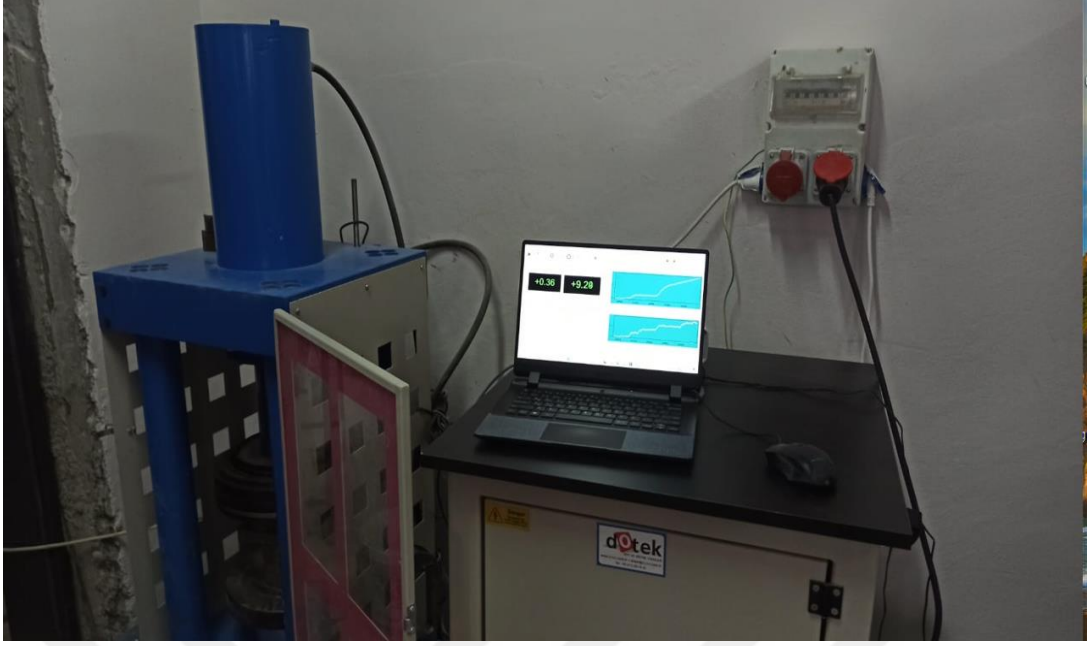


Şekil 3.89. 28 günlük kür süresi için tanka yerleştirilen istinat duvarı

İstinat duvarı ve küp numuneler 28. gün kürden çıkartılmış ve deneye hazır hale getirilmiştir. Herhangi bir ihtimale karşı aynı işlemler uygulanarak 3 adet daha duvar imal edilmiştir.

3.6.2. Beton numuneleri üzerinde Serbest basınç deneyleri

İstinat duvarı imalatı sırasında alınan 5x5x5 cm boyutlarındaki küp numunelere 28 gün kür süresinin ardından beton basınç dayanımının ve gerilme deformasyon ilişkisinin belirlenmesi amacıyla serbest basınç deneyi uygulanmıştır (Şekil 3.90). Bu deneyde presin numune ile temas eden başlıkları temizlenmiş, numuneler uygulama yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yükleme hızı, darbe etkisi yapmayacak şekilde, 0,2 MPa/s ($\text{N/mm}^2.\text{s}$) olarak belirlenmiştir. Gerilme- deformasyon eğrisinden betonun elastisite modülü (E) belirlenmiştir. Elde edilen veriler Plaxis 3D programında yapılan analizler için malzeme özelliklerinde kullanılmıştır.



Şekil 3.90 Serbest basınç deneyinde Beton numunelerin kırılması ve verilerin elde edilmesi

3.7. İstinat Duvarları Arkasında Dolgu Malzemesi Üzerine Yükleme Sisteminin Kurulması ve Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Yükleme deneyleri Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında bulunan deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney tankı boyutları 30 cm genişlik, 112,5 cm uzunluk ve 80 cm yüksekliktedir (Şekil 3.91).

Tankın ön ve arka yüzeylerinde 15 mm kalınlığında temperli cam plakalar bulunmakta, yan yüzlerinde ise 3 mm et kalınlığına sahip çelik saç bulunmaktadır. Tankın tüm yüzeyleri kutu profiller ile sabitlendiğinden dolayı oluşacak deformasyonlar için rijitliği artırılmıştır.



Şekil 3.91. Yükleme düzeneği (Demiröz, 2008)

Deneylerde temelin sabit bir hızda yüklenmesi için yükleme hızı ayarlanabilen ve Termo- Dinamik tarafından üretilen 200 kN kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır. Deney esnasında yükleme düzeneğin en düşük hız ayarı yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma da 100x292 mm boyutlarında şerit temel sistemi kullanılmıştır. Temel 40 mm kalınlığında ve çelik plakalardan imal edilmiştir (Şekil 3.92). Ayrıca temel tabanına sürtünme sağlaması amacıyla zımpara kağıdı yapıştırılmıştır.



Şekil 3.92. Tank içerisindeki yüklemelerin gerçekleştirildiği model temel

İstinat duvarının altında kalan 20 cm'lik kum zemin, yüklemeler esnasında oluşabilecek zeminden kaynaklı deformasyonları engellemek için rölatif sıkılığı $D_r = \%70$ (sıkı) olacak şekilde 5 cm'lik tabakalar halinde serilmiştir. Çizelge 3.10'da kullanılan kumun zemin parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Tank içerisinde istinat duvarı altı kullanılan kumun özellikleri

Özgül ağırlık (G_s)	2.65
Minimum boşluk oranı (e_{min})	0.37
Maksimum boşluk oranı (e_{max})	0.75
Maksimum kuru yoğunluk, $q_{k,max}$ (kN/m ³)	1.935
Minimum kuru yoğunluk, $q_{k,min}$ (kN/m ³)	1.515

İstinat duvarı sıkıştırılmış sıkı kum tabakası üzerine terazili şekilde oturtulmuştur. Duvar ile tank kenarları arasında kalan yaklaşık 4 mm boşluk arasına zemin tanesi girmemesi ve böylece duvar hareketini engellemesi amacıyla kenar koruyucu bant çekilmiştir (Şekil 3.93).



Şekil 3.93. Duvar etrafına kenar koruyucu bant çekilmesi



Şekil 3.94. Tank içerisine yerleştirilen deformasyon saatleri

Duvarın deformasyonunu yatay olarak ölçmek amacıyla deformasyon saatlerinden ve potansiyometrik cetvelden yararlanılmıştır. 1 adet düşey ve 4 adet yatay ölçüm yapılabilecek şekilde deformasyon saatleri sisteme ilave edilmiştir. Tank içerisinde deformasyon saatlerini sabitlemek ve düşeyde istenilen yüksekliklerde ölçüm yapabilmek amacıyla 5x10 inşaat kerestesi kullanılmış, bu keresteye saatler monte edilmiş ve mengene yardımıyla da kereste tanka sabitlenmiştir (Şekil 3.94).

İstinat duvarı temelinin düşey hareket miktarını ölçmek amacıyla deformasyon saati düşey olarak temel üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.95).

Duvar yerleştirildikten sonra geri dolgu işlemine başlamadan tüm ölçüm cihazlarının kurulumu ve kalibrasyonu yapılmıştır. Load-cell bilgisayara bağlanarak yükleme esnasındaki oluşan yüklerin tank düzeneğine aktarımı sağlanmıştır.

Deneylere başlamadan önce deney aletlerindeki tüm kalibrasyonlar yapılmıştır. Duvarın terazisi kontrol edilerek geri dolgu malzemesinin hazırlanması ile dolgu aşamasına geçilmiştir.

Tank içerisinde istinat duvarı geri dolgusu için yaklaşık 250kg kum ve GDBA kullanılmıştır. Geri dolgu için hazırlanan malzeme optimum su muhtevasında hazırlanmıştır (Şekil 3.96). Optimum su muhtevasında hazırlanan zemin tabakalar halinde istinat duvarı geri dolgusu şeklinde tank içerisinde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.95. Potansiyometrik cetvel ile oluşturulan düşey deformasyon ölçüm düzeneği



Şekil 3.96. Optimum su muhtevasına getirilip sıkıştırılan zemin

Zeminlerin tank içerisine yerleştirilmesi 10 cm arayla 5 tabaka şeklinde sıkıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Her yerleştirme aşamasında metal tokmakla sıkıştırma işlemi yapılmış ve zeminin homojen olarak dağılmasına özen gösterilmiştir. Zeminin homojen dağılması ve zeminde boşluklu yapı oluşmamasına dikkat edilmiş, duvar ile tank arasındaki boşluğa duvar hareketini engelleyecek zeminin sıkışmamasına önem gösterilmiştir (Şekil 3.97, 3.98, 3.99, 3.100).



Şekil 3.97. Tank içerisinde istinat duvarı temeli altındaki sıkı kum



Şekil 3.98. Tank yükleme aşamaları-1



Şekil 3.99. Tank yükleme aşamaları-2



Şekil 3.100. Tank yükleme aşamaları-3

Geri dolgu tankın üst yüzeyinden 5 cm aşağıda olacak şekilde yükleme işlemi kademe kademe yapılmıştır. Geri dolgunun üst yüzeyi metal mastar ile düzlenmiş ve yükleme öncesinde yük plakası ile zemin plakasının terazisi sağlanmıştır. Bu terazileme işlemi sayesinde eksantrik bir yük oluşmamış ve duvar arkasında düşey bir gerilme artışı sağlayacak yükleme sağlanabilmiştir (Şekil 3.101, 3.102, 3.103, 3.104).



Şekil 3.101. Tankın yüklenmesi ve deney aletlerinin yerleştirilmesi



Şekil 3.102. Deney öncesi ölçme aletleri kalibrasyonu



Şekil 3.103. Deney aletlerinin ölçme işlemine hazır hale gelmesi



Şekil 3.104. Yükleme tankı ve duvarın yan görünümü

Terazilenmiş olan geri dolgu zemini üzerine yük plakası yerleştirilmiştir. Ardından yatay deplasmanlar için 4 adet deformasyon saati duvarın ön yüzeyine istinat duvarı temelinden itibaren 5 cm, 30 cm ve 55 cm yüksekliklerine yerleştirilmişlerdir. Bu deformasyon saatleri 0,001 mm hassasiyete sahiptir. Uygulanan yük- deformasyon tabloları oluşturulmuş deneyden gelen veriler kaydedilmiştir. Düşeyde deformasyonu ölçmek için deformasyon saati ve potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Yükleme esnasında yatayda ve düşeyde oluşan deformasyonlar kaydedilmiştir. Tüm yükleme değerleri 80 kPa değerine kadar devam ettirilmiş ve bu yük altında deformasyonlar ölçülmüştür. Bu yük değeri belirlenirken duvarın taşıma kapasitesi sınır değerini görmek ve deney esnasında deplasmanların 5 mm'yi aşacağı değeri esas almak amaçlanmış ve yapılan ön deneyde istinat duvarında 80 kPa yük altında duvarda herhangi bir hasar oluşmaması durumu, gövde temel kritik birleşim bölgesinde kırılmaya neden olmayacak değer dikkate alınmıştır. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra tank içerisindeki malzeme boşaltılmış, temel zemini düzeltilerek duvar tekrar teraziye alınmıştır. Daha sonra aynı işlem %20, 40, 60 GDBA içeren zemin içinde tekrarlanmıştır (Şekil 3.105).



Şekil 3.105. Deney sonrası duvar arkası geri dolgusunun boşaltılması

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1. Deneylerde Kullanılan Zeminlerle İlgili Yapılan Deneylerin Sonuçları

4.1.1. Proktor deney sonuçları

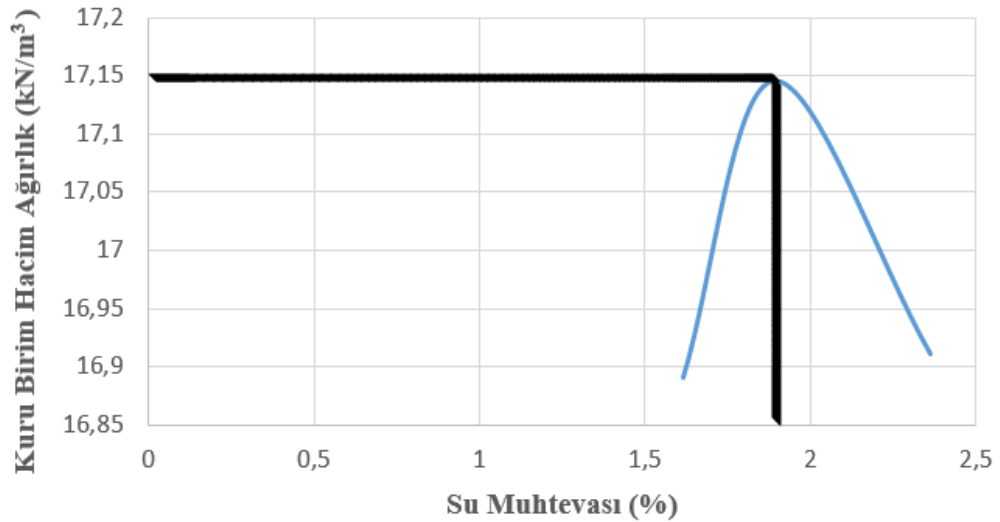
Materyal ve Metot kısmında açıklanan Harvard mini proktor deneyi %100 kum ve %20, 40, 60 oranlarında GDBA ilaveli karışımlar için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu deneyde kullanılan tüpün ağırlığı 49.76 gr olarak tartılmış, hacmi ise 169,8 cm³ olarak hesaplanmıştır. Bu deneyden elde edilen verilerden su muhtevası – kuru birim hacim ağırlık grafikleri çizilmiş ve buradan optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Tüm karışımlara ait deney sonuçlarına ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.1.1.1. %100 Doğal Kum için Mini Proktor Deney Sonuçları

Geri dolgu malzemesi olarak doğal agreganın kullanıldığı durum için sırasıyla %1, 3, 5 oranlarında su muhtevası değerleri için proktor deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.5'te optimum su muhtevası yaklaşık olarak %1.85 ve maksimum kuru yoğunluk ise 17.15 kN/m³ olarak bulunmuştur (Şekil 4.1) (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. %100 DA için Harvard mini proktor deneyleri

w (%)	ρ_n (g/cm ³)	Kap+yaş (gr)	Kap+kuru (gr)	Kuru (gr)	w (%)	γ_k (kN/m ³)
1,0	1,7163	49,51	48,99	41,51	1,6140	16,891
3,0	1,7469	51,03	50,15	40,76	1,8891	17,1461
5,0	1,7310	55,28	53,61	44,44	2,3627	16,9114



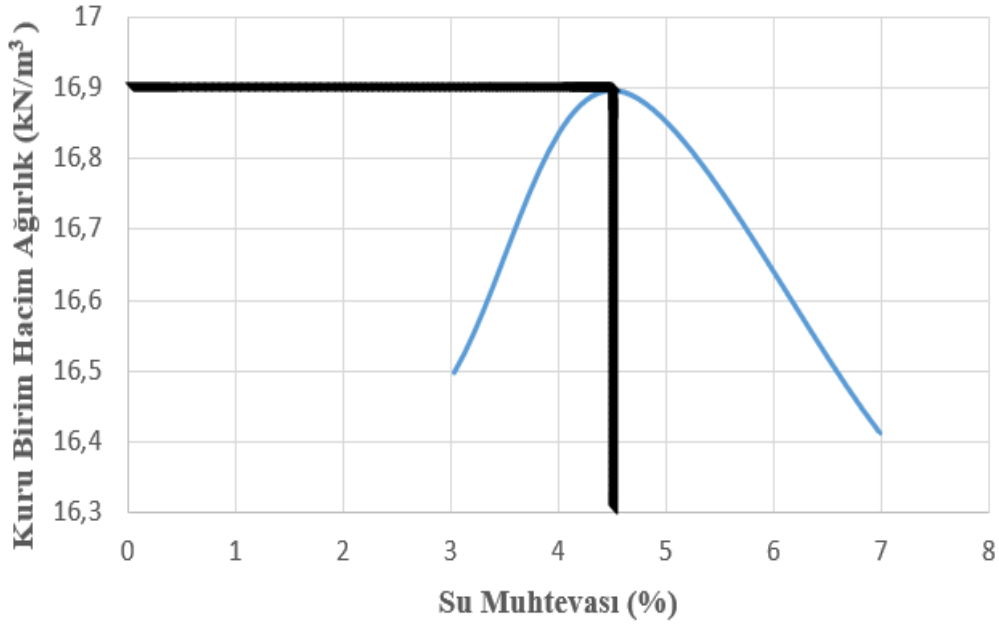
Şekil 4.1 %100 DA için Harvard mini proktor deney sonuçları

4.1.1.2. %20 GDBA + %80 DA karışımı için Mini Proktor Deney Sonuçları

Geri dolgu malzemesi olarak %20 GDBA + % 80 DA'nın kullanıldığı durum için sırasıyla %3, 5, 7 oranlarında su muhtevası değerleri için proktor deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.6'da optimum su muhtevası yaklaşık olarak %4.5 ve maksimum kuru birim hacim ağırlık ise 16.9 kN/m³ bulunmuştur (Şekil 4.2) (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. %20 GDBA+ %80 DA için Harvard mini proktor deneyleri

w (%)	ρ_n (g/cm ³)	Kap+yaş (gr)	Kap+kuru (gr)	Kuru (gr)	w (%)	γ_k (kN/m ³)
3,0	1,6998	37,62	36,7	30,26	3,04	16,497
5,0	1,7667	32,64	31,5	25,03	4,55	16,897
7,0	1,7558	42,61	42,61	33,77	6,98	16,411



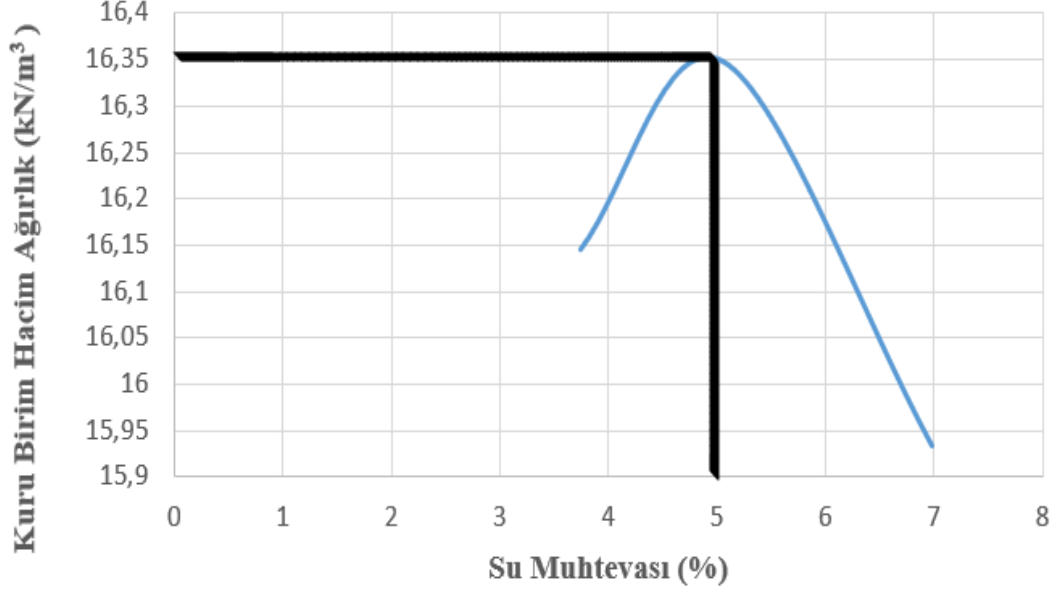
Şekil 4.2. %20 GDBA+%80 DA için Harvard mini proktor deney sonuçları

4.1.1.3. %40 GDBA + % 60 DA karışımı için Mini Proktor Deney Sonuçları

Geri dolgu malzemesi olarak %40 GDBA + % 60 DA'nın kullanıldığı durum için sırasıyla %3, 5, 7 oranlarında su muhtevası değerleri için yapılan deneylerde optimum su muhtevası yaklaşık olarak %5.0 ve maksimum kuru birim hacim ağırlık ise 16,35 kN/m³ olarak bulunmuştur (Şekil 4.3) (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. %40 GDBA + %60 DA için Harvard mini proktor deneyleri

w (%)	ρ_n (g/cm ³)	Kap+yaş (gr)	Kap+kuru (gr)	Kuru (gr)	w (%)	γ_k (kN/m ³)
3,0	1,675	50,85	49,35	40,01	3,749	16,146
5,0	1,717	50,99	48,85	42,32	5,056	16,348
7,0	1,704	42,61	40,25	33,84	6,973	15,934

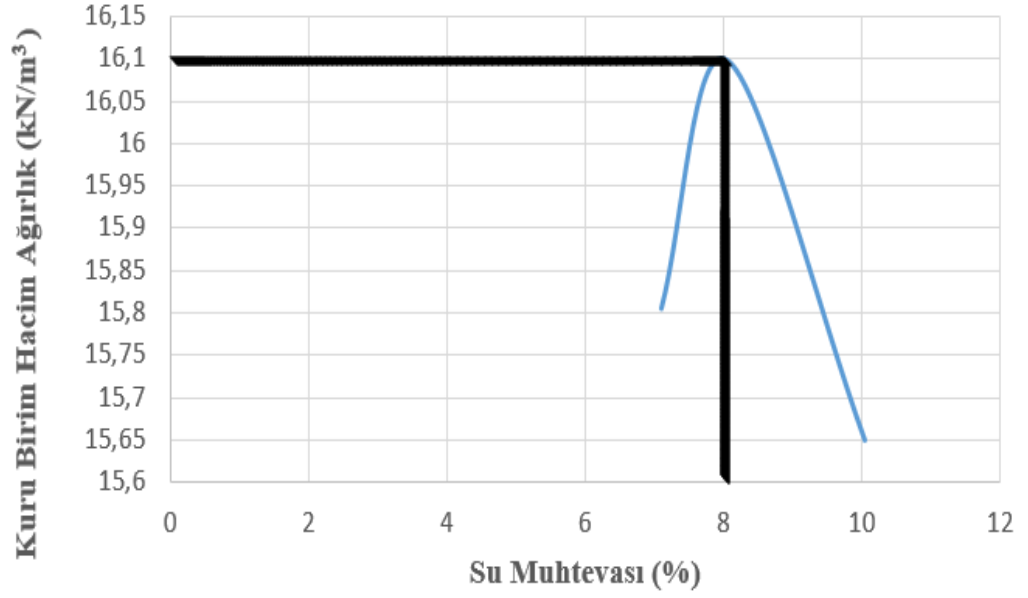
**Şekil 4.3** %40 GDBA+%60 DA için Harvard mini proktor deney sonuçları

4.1.1.4. %60 GDA + % 40 DA karışımı için Mini Proktor Deney Sonuçları

Geri dolgu malzemesi olarak %60 GDBA + %40 DA'nın kullanıldığı durum için sırasıyla %5, 7, 9 oranlarında su muhtevası değerleri için yapılan proktor deneylerinde optimum su muhtevası yaklaşık olarak %8.0 ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise 16.1 kN/m³ olarak bulunmuştur (Şekil 4.4) (Çizelge 4.4).

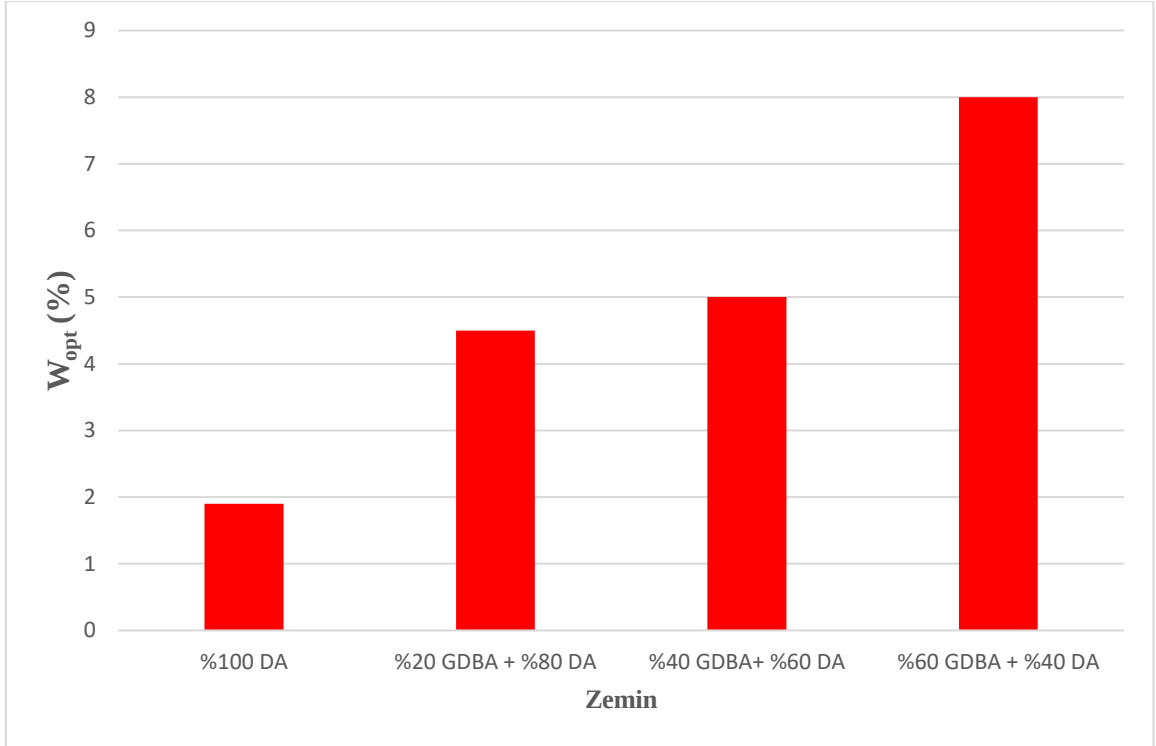
Çizelge 4.4. %60 GDBA + % 40 DA için Harvard mini proktor deneyleri

w (%)	ρ_n (g/cm ³)	Kap+yaş (gr)	Kap+kuru (gr)	Kuru (gr)	w (%)	γ_k (kN/m ³)
5,0	1,692	48,13	45,37	38,84	7,106	15,805
7,0	1,739	44,22	41,42	34,75	8,057	16,097
9,0	1,722	58,46	53,73	47,06	10,051	15,649

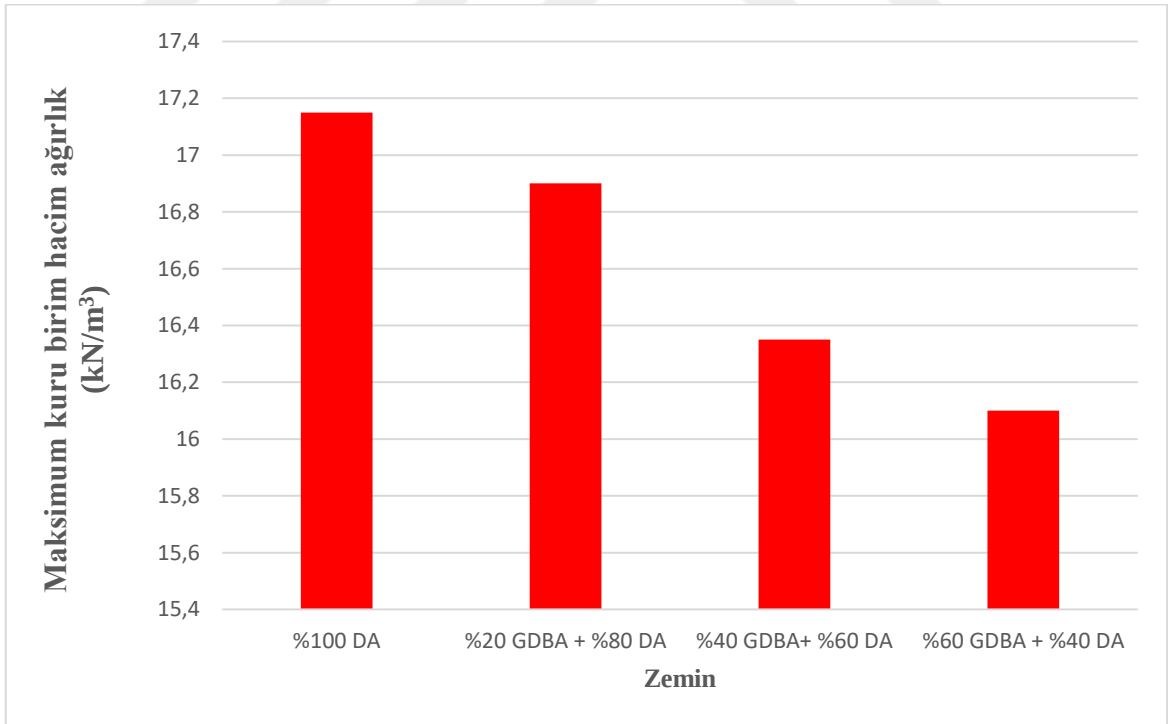


Şekil 4.4 %60 GDBA+%40 DA için Harward mini proktor deney sonuçları

Dört farklı karışım oranı içeren zemin için Harward mini kompaksiyon deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.5 ve 4.6’da toplu olarak gösterilmiştir. Bu deney sonuçlarından yola çıkılarak karışım oranlarında GDBA’nın artması optimum su muhtevasında artışa sebep olduğu, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde ise ters orantılı olarak azalmaya sebep olduğu görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda GDBA’ların optimum su içeriklerinin fazla olmasının GDBA üzerine yapışmış olarak bulunabileceği öngörülen eski beton ve harç parçalarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Karışımlardaki eğrilere bakılarak GDBA’nın artmasıyla kompaksiyon eğrileri daha basık bir hal almaktadır. Bu olay GDBA tanelerinin daha yüksek su emme kapasitesine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir ifadeyle, su muhtevası değerleri çok geniş bir alanda değişim göstermesine rağmen kuru birim hacim ağırlık değerlerinde çok bariz bir fark olmamıştır. Poon ve Chan (2006) yılında yapmış oldukları bir çalışmada yol mühendisliği uygulamalarında sıkıştırma eğrisinin basık olmasının malzemelerin kararlı sıkıştırma davranışlarını ve farklı su içeriklerinde iyi işlenebilir olduğunu temsil ettiğini belirtmişlerdir. Farklı bir çalışmada Padmini ve diğer araştırmacılar (2009), eski çimento harcının gözenekli mikro yapısı nedeniyle GDBA’nın doğal agregaya göre daha fazla su emebildiğini ortaya koymuşlardır. Bu tez kapsamında elde ettiğimiz deneysel sonuçlar literatürde elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.5 Dört farklı karışım oranı için elde edilen optimum su muhtevaları



Şekil 4.6. Dört farklı karışım oranı için elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri

4.1.2. Kesme kutusu deneyleri

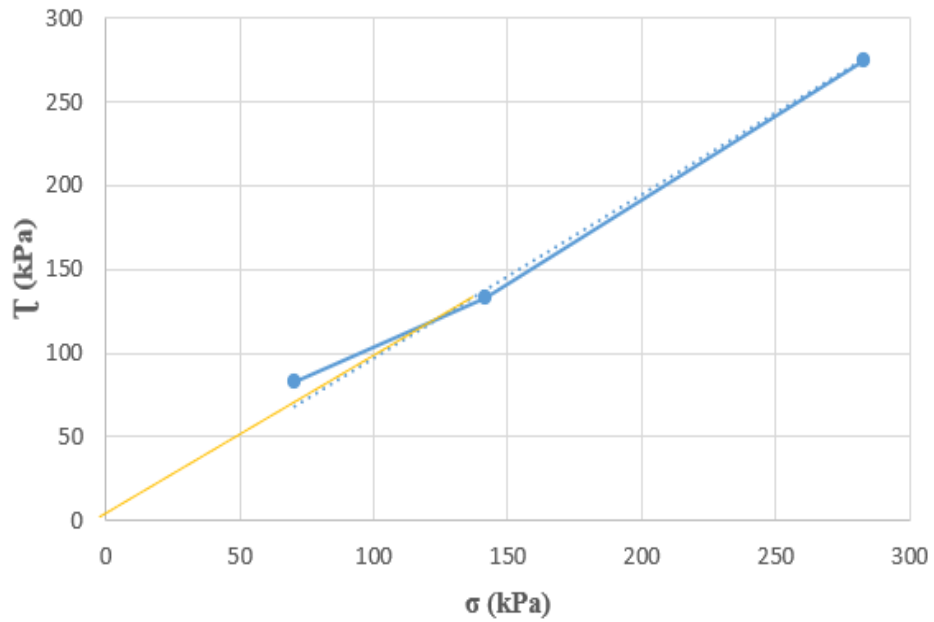
Laboratuvarda farklı karışımlar için 20, 40 ve 80N düşey yükler altında 60x60 mm boyutlarındaki kalıpta kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Deneyde, laboratuvardaki tank içerisine yerleştirilen zemin ile kesme kutusu deneyinde kullanılan zemin aynı sıkılıkta yerleştirilmiştir. Deneyden elde edilen veriler kaydedilmiş ve bu verilerden zeminlere ait içsel sürtünme açıları ve kohezyon değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.11, 4.12, 4.13, 4.14).

4.1.2.1. %100 DA içeren zemin için kesme kutusu deney sonuçları

20, 40 ve 80 Newton düşey yük etkisi altında her karışım için üç deney yapılmıştır. Bu sonuçlara göre kohezyon değeri 0,1 kPa ve içsel sürtünme açısı $\phi = 35^\circ$ elde edilmiştir (Çizelge 4.5, Şekil 4.7).

Çizelge 4.5. %100 DA içeren zemin için kesme kutusu deney sonuçları

P = 20 N		P = 40 N		P = 80 N	
ΔL (mm)	T max(N)	ΔL (mm)	T max(N)	ΔL (mm)	Tmax (N)
5,8	234	7	375	7,8	775
σ_1 (kPa)	$\tau_{max 1}$ (kPa)	σ_2 (kPa)	$\tau_{max 2}$ (kPa)	σ_1 (kPa)	τ_{max3} (kPa)
70,771	82,80	141,54	132,7	283,09	274,24
c (kPa)		ϕ (°)			
0,1		35			



Şekil 4.7. DA için kayma mukavemeti parametrelerinin elde edilmesi

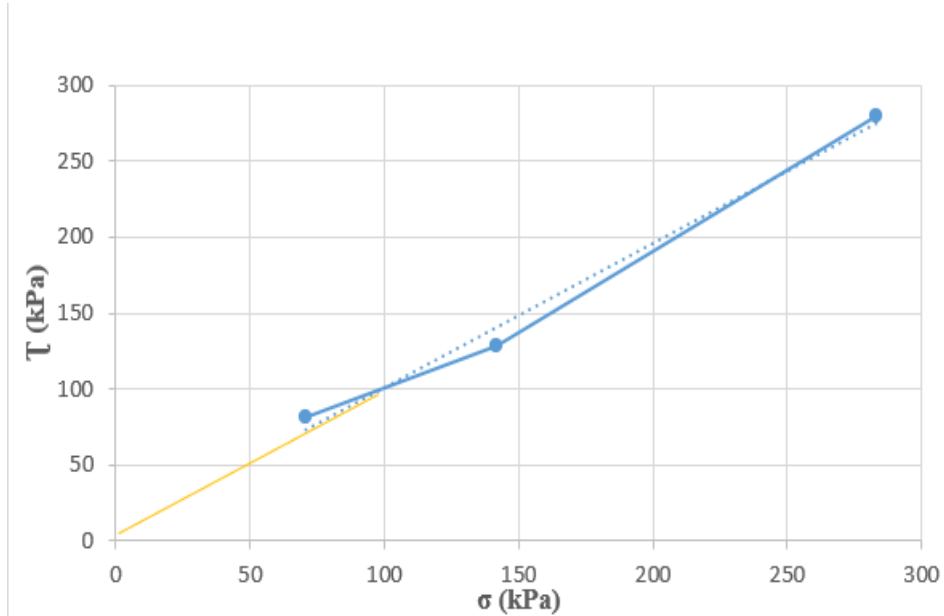
4.1.2.2. %20 GDBA + %80 DA karışımı içeren zemin için kesme kutusu deney sonuçları

20,40 ve 80 N düşey yük etkisi altında her karışım için üç deney yapılmıştır. Bu sonuçlara göre kohezyon değeri 0,12 kPa ve içsel sürtünme açısı $\phi = 34^\circ$ elde edilmiştir. (Çizelge 4.6, Şekil 4.8).

Zeminde GDBA olması kohezyon değerini değiştirmemiş içsel sürtünme açısını düşürmüştür. Zeminde ince malzeme miktarının artmasından dolayı içsel sürtünme açısı GDBA oranıyla birlikte düşme eğilimi göstermektedir.

Çizelge 4.6. %20 GDBA+ %80 DA içeren zemin için kesme kutusu deney sonuçları

P = 20 N		P = 40 N		P = 80 N	
ΔL (mm)	T max(N)	ΔL (mm)	T max(N)	ΔL (mm)	Tmax (N)
5,8	230	6,2	364	7,0	790
σ_1 (kPa)	$\tau_{max 1}$ (kPa)	σ_2 (kPa)	$\tau_{max 2}$ (kPa)	σ_1 (kPa)	τ_{max3} (kPa)
70,771	81,39	141,54	128,81	283,09	279,55
c (kPa)		ϕ (°)			
0,12		34			



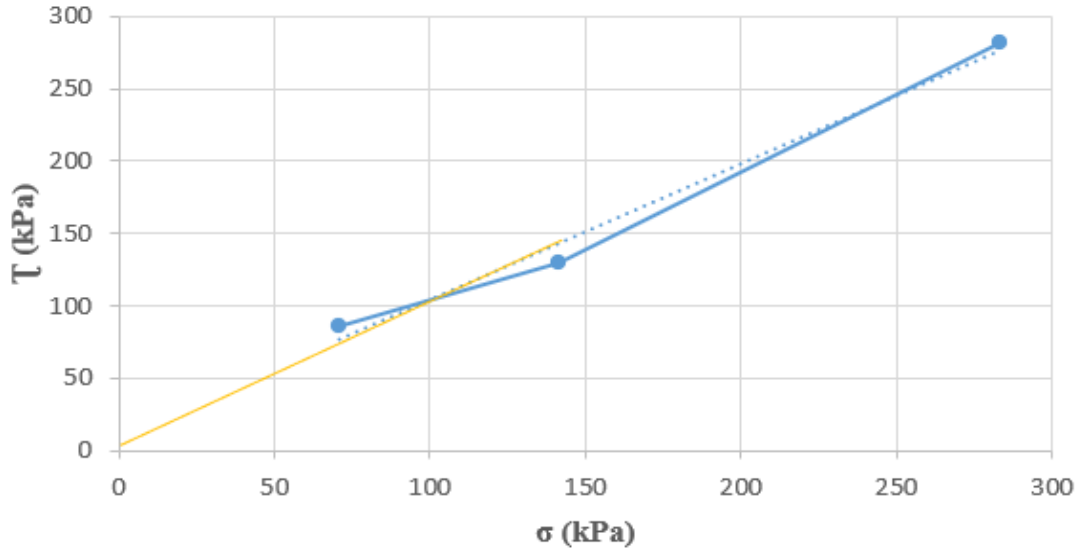
Şekil 4.8 %20 GDBA +%80 DA karışımı için kayma mukavemeti parametrelerinin elde edilmesi

4.1.2.3. %40 GDBA + %60 DA karışımı içeren zemin için kesme kutusu deney sonuçları

20,40 ve 80 N düşey yük etkisi altında her karışım için üç deney yapılmıştır. Bu sonuçlara göre kohezyon değeri 0,45 kPa ve içsel sürtünme açısı $\phi = 32^\circ$ elde edilmiştir (Çizelge 4.7, Şekil 4.9).

Çizelge 4.7. %40 GDBA + %60 DA karışımı içeren zemin için kesme kutusu deney sonuçları

P = 20 N		P = 40 N		P = 80 N	
ΔL (mm)	T max(N)	ΔL (mm)	T max(N)	ΔL (mm)	T max (N)
5,8	242	7	368	7,8	795
σ_1 (kPa)	$\tau_{\max 1}$ (kPa)	σ_2 (kPa)	$\tau_{\max 2}$ (kPa)	σ_1 (kPa)	$\tau_{\max 3}$ (kPa)
70,771	85,63	141,54	130,22	283,09	281,32
c (kPa)		ϕ (°)			
0,45		32			



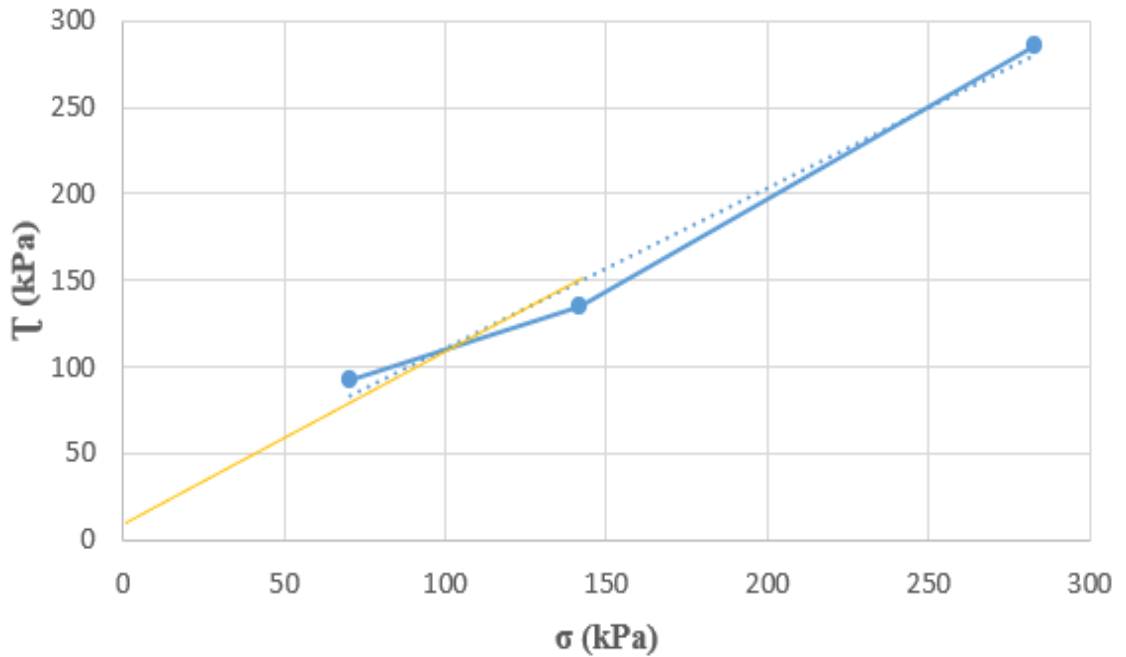
Şekil 4.9. %40 GDBA +%60 DA karışımı için kayma mukavemeti parametrelerinin elde edilmesi

4.1.2.4. %60 GDBA + %40 DA karışımı içeren zemin için kesme kutusu deney sonuçları

20,40 ve 80 N düşey yük etkisi altında her karışım için üç deney yapılmıştır. Bu sonuçlara göre kohezyon değeri 0,50 kPa ve içsel sürtünme açısı $\phi = 30^\circ$ elde edilmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.10). Zemin içerisinde GDBA oranı arttıkça zeminde ince malzeme oranı da artış göstermiştir. Bu artış kohezyon değerini değiştirmese de içsel sürtünme açısında bir azalmaya neden olmuştur. Bu azalma zeminin kayma direncinde azalmaya neden olmaktadır. Aynı zamanda istinat duvarları açısından, duvar arkasındaki yatay toprak basıncının artışına neden olarak dayanma duvarının stabilitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Zeminin içsel sürtünme açısının daha fazla azalması istenmediği için GDBA'nın %60 miktarının karışım içerisinde kullanılmasının uygun olmadığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.8 %60 GDBA+ %40 DA içeren zemin için kesme kutusu deney sonuçları

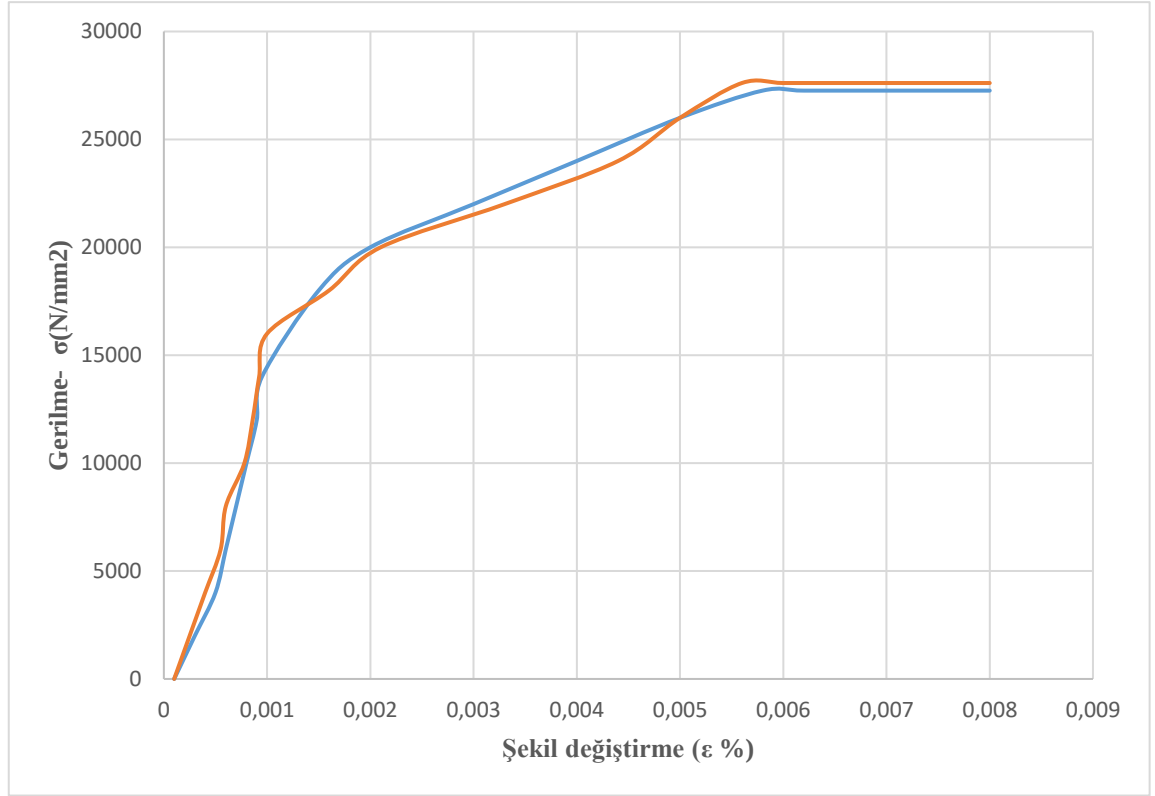
P = 20 N		P = 40 N		P = 80 N	
ΔL (mm)	T max(N)	ΔL (mm)	T max(N)	ΔL (mm)	Tmax (N)
5,0	262	7	380	7,8	807
σ_1 (kPa)	$\tau_{max 1}$ (kPa)	σ_2 (kPa)	$\tau_{max 2}$ (kPa)	σ_1 (kPa)	τ_{max3} (kPa)
70,771	92,71	141,54	134,47	283,09	285,56
c (kPa)		ϕ (°)			
0,50		30			



Şekil 4.10 %60 GDBA +%40 DA karışımı için kayma mukavemeti parametrelerinin elde edilmesi

4.1.3. İstinat Duvarı Betonunu için Alınan Küp Numunelerin Analizi

İstinat duvarı imalatı esnasında 5x5x5 cm'lik küp numuneler alınmıştır. Bu numuneler için serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deneylerde beton küp numuneler ortalama 69.03 kN yük etkisi altında kırılmışlardır. Yüklemeler esnasındaki beton numunelere ait gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 4.11' de verilmiştir. Deney sonucunda betonun elastisite modülü yaklaşık olarak $2,7 \times 10^6$ kN/m² olarak hesaplanmıştır.



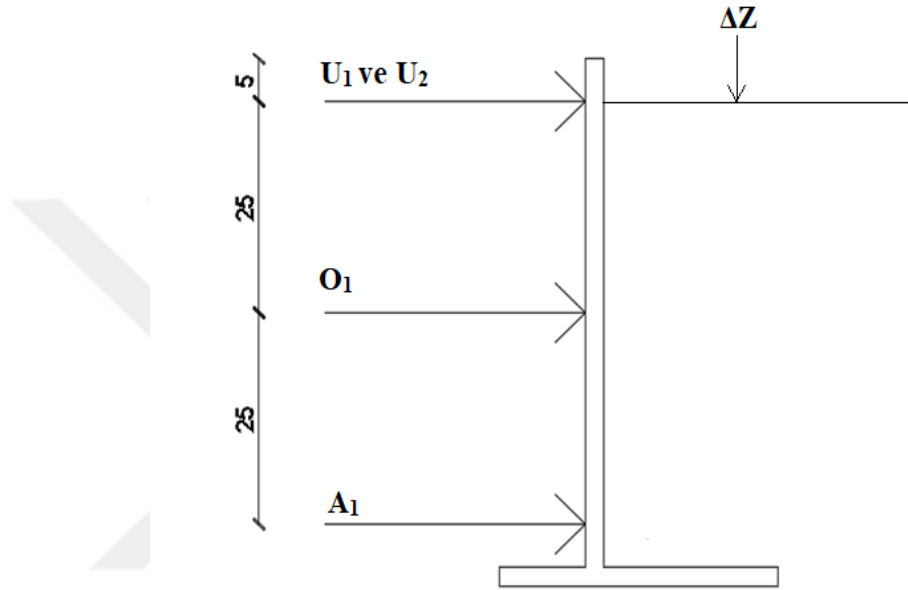
Şekil 4.11 Beton numunelere ait gerilme-deformasyon ilişkileri

4.2. Yükleme Deneyleri

Bu kısımda Geoteknik Laboratuvarında tank içerisinde istinat duvarı geri dolgusuna sürşarj yükü etki etmiş, yük- deformasyon değişimleri verilmiştir. Yatay deplasmanların ölçülmesi için duvar yan yüzeylerine üst yüzeye 2, orta ve tabana yakın bölgeye birer tane olmak üzere toplamda 4 adet deformasyon saati yerleştirilmiştir. Duvarın en üst seviyesi deformasyonların maksimum değerinin elde edildiği noktalar olduğundan dolayı 2 adet saat yerleştirilmiş ve bu saatlerin ortalama değeri alınmıştır.

Çizelgelerde bu saatlerdeki deformasyon okuması değerleri için en üstte yer alan saatlere U_1 , U_2 olarak isimlendirilmiş ve bu iki deformasyon okumasının ortalaması U_{ort} ;

ortada yer alan saat için O_1 , en altta yer alan deformasyon saati A_1 olarak isimlendirilmiştir. İstinat duvarı geri dolgusundaki temel sisteminin yüklenmesiyle oluşan düşey deformasyonları ölçen deformasyon saati ise ΔZ olarak isimlendirilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Yüklemeler için deformasyon saatlerinin istinat duvarları üzerinde yerleştirilmesi

Load-Cell sürşarj yükünü aktarırken yük birimini Newton'dur. Yapılan çalışmada yükün birimi kPa alınmıştır. Çizelge 4.9'da kPa değerlerine karşılık gelen Newton birimleri gösterilmiştir. Geri dolgudaki temelin boyutları 0,29x0,1 m olduğundan dolayı temel taban alanı 0,029 m² alınmıştır.

Çizelge 4.9. Load-Cell’den okunan Yük değerleri - Gerilme ilişkisi

Gerilme (kPa)	Uygulanan yük değeri (Newton)
5	145,05
10	290,1
15	435,15
20	580,2
25	725,25
30	870,3
35	1015,35
40	1160,4
45	1305,45
50	1450,5
55	1595,5
60	1740,6
65	1885,65
70	2030,7
75	2175,7
80	2320,8
85	2465,8
90	2610
95	2755,9
100	2901

4.2.1. Geri dolgu malzemesi %100 DA olan istinat duvarında yükleme deneyleri

Başlangıç ve referans deneyi olarak geri dolgusunda doğal kum (DA) olan istinat duvarında yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneye yük maksimum 80 kPa değerine ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Bu değer belirlenirken duvarda bir hareket görmek amaçlanmış ancak duvarın yapısal olarak zarar görmemesine dikkat edilmiştir. Çalışmanın başlarında duvardaki yapısal hasarı görmek ve duvar hareketini gözlemleyebilmek adına ön yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu etkiyen yükün 120 kPa değerine kadar istinat duvarında yapısal bir hasar oluşturmadığı ve istenilen yatay ve düşey yönlü hareketin elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle izin verilen sürşarj yükü 80 kPa seçilmiş ve bu değerdeki yatay ve düşey deformasyon değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.13, 4.14).

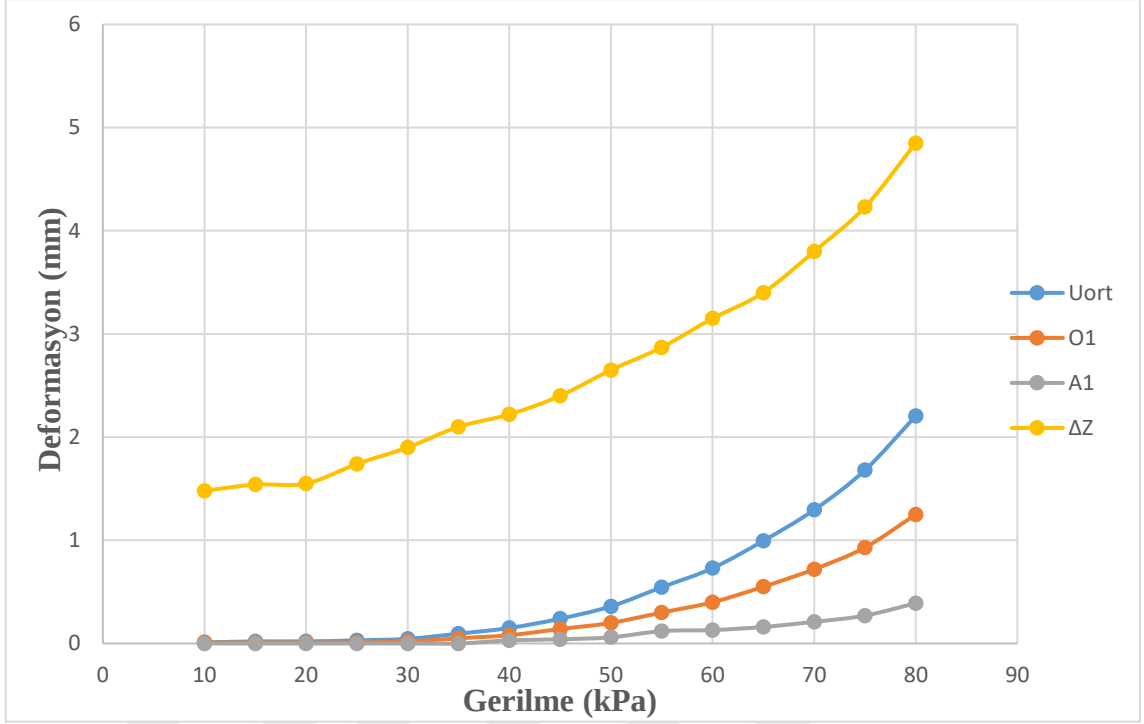
Deneyden elde edilen yük- deformasyon değerleri Çizelge 4.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Geri dolgu malzemesi %100 DA olan istinat duvarında yükleme deneyi

Çizelge 4.10 Geri dolgu malzemesi %100 DA içeren istinat duvarı yükleme deneyi sonuçları

Kuvvet(N)	Gerilme (kPa)	U_1 (mm)	U_2 (mm)	U_{ort} (mm)	O_1 (mm)	A_1 (mm)	ΔZ (mm)
290,1	10	0,01	0,01	0,01	0,01	0	1,48
435,15	15	0,02	0,02	0,02	0,01	0	1,54
580,2	20	0,02	0,02	0,02	0,01	0	1,55
725,25	25	0,03	0,03	0,03	0,01	0	1,74
870,3	30	0,05	0,04	0,045	0,02	0	1,9
1015,35	35	0,1	0,09	0,095	0,05	0	2,1
1160,4	40	0,16	0,14	0,15	0,08	0,03	2,22
1305,45	45	0,25	0,23	0,24	0,14	0,04	2,4
1450,5	50	0,37	0,35	0,36	0,2	0,06	2,65
1595,5	55	0,55	0,54	0,545	0,3	0,12	2,87
1740,6	60	0,74	0,72	0,73	0,4	0,13	3,15
1885,65	65	0,99	1	0,995	0,55	0,16	3,4
2030,7	70	1,29	1,3	1,295	0,72	0,21	3,8
2175,7	75	1,66	1,7	1,68	0,93	0,27	4,23
2320,8	80	2,21	2,2	2,205	1,25	0,39	4,85



Şekil 4.14. Geri dolgu malzemesi %100 DA olan istinat duvarı arkası dolgu malzemesi üzerine yapılan yükleme sonucu elde edilen gerilme- deformasyon ilişkisi

Yüklemeler sonucunda 80 kPa gerilmeye karşılık gelen maksimum deformasyon değeri U_1 ve U_2 değerinin ortalaması U_{ort} 2,205 mm olarak ölçülmüş, aynı değerdeki temel altındaki düşey deformasyon ise ΔZ ise 4,85 mm olarak ölçülmüştür. Geri dolgusunda kum malzeme olan istinat duvarı deney sonuçları bu çalışmada referans değer olarak kabul edilmiştir.

Ölçeklendirme kurallarınca yapılan bu çalışmada yükleme deneylerinde uygulanan gerilme değerleri ile arazide uygulanan gerilme değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, ölçeklendirme kuralları ışığında gerilmenin ölçeklendirme faktörü $1/N$ 'dir. Dolayısıyla, istinat duvarı geri dolgusuna uygulanan 80 kPa gerilme, gerçek arazide 800 kPa'lık bir gerilme değerini temsil etmektedir.

4.2.2. Geri dolgu malzemesi %20 GDBA + %80 DA karışımı olan istinat duvarında yükleme deneyleri

Geri dolgu malzemesi içerisinde %20 oranında GDBA içeren bulunan zemin optimum su muhtevasında hazırlanmıştır. Bu dolgu zemini daha sonrasında tank içerisinde 10 cm tabakalar halinde yerleştirilmiş ve metal tokmakla sıkıştırılmıştır. Dolgu işlemi yapılırken istinat duvarı ile tank arasına zemin taneleri sıkışmaması için bant çekilmiş ve duvarın terazide olmasına dikkat edilmiştir. Geri dolgu tamamen

yerleştirildiğinde üst yüzeyinin düz olmasına ve yerleştirilen temel tabakasının da terazide olmasına dikkat edilmiştir.

Deneyde geri dolgu üzerindeki temele gelen sürşarj yükü, gerilme değeri 80 kPa değerine kadar yüklenmiştir. Sistemin yatay ve düşey deformasyonları ölçülmüştür. Deney sonucunda maksimum gerilme altında U_1 ve U_2 saatlerinde elde edilen yatay deplasmanların ortalaması 1,87 mm olmuştur. Düşeyde ise 6,6 mm'lik düşey deplasman ölçülmüştür (Şekil 4.15, 4.16).

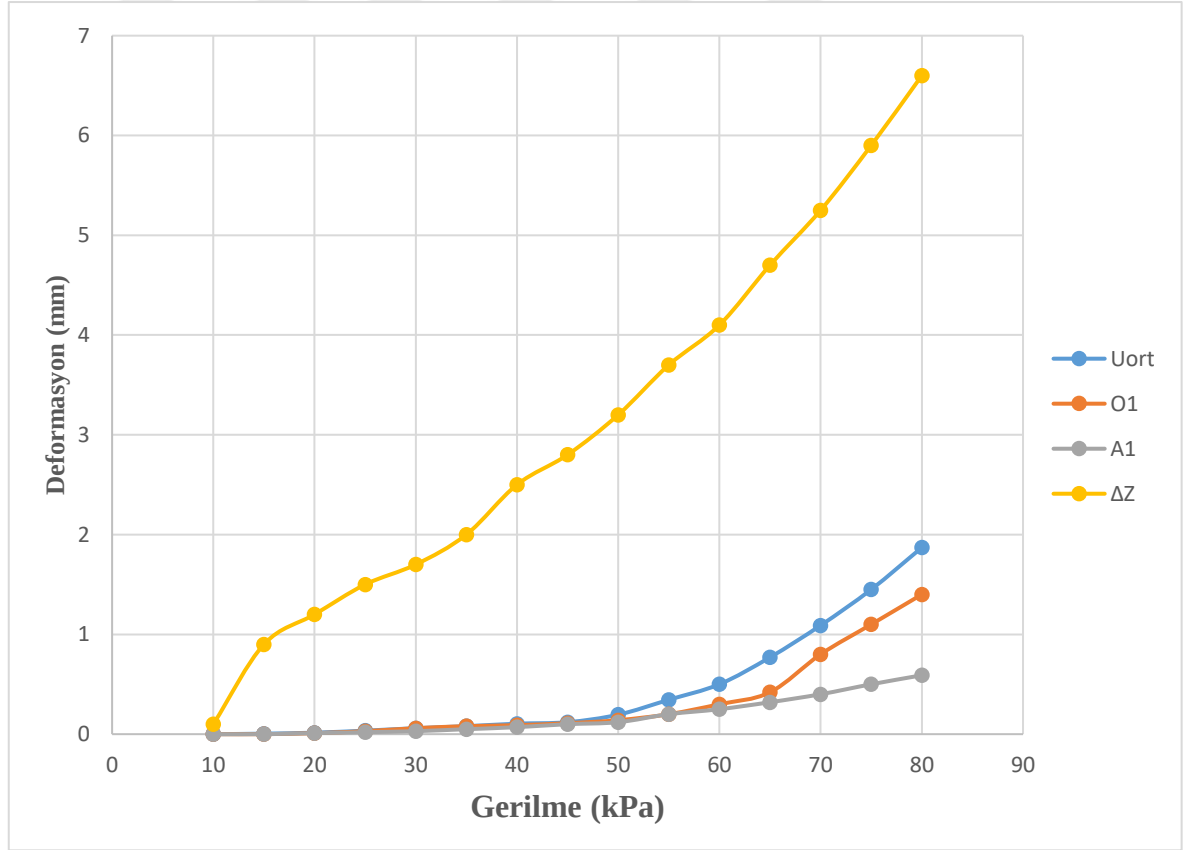
%100 doğal kum ile yapılan deneyle karşılaştırıldığında yatay deformasyonun yaklaşık %15 azaldığı, düşey deformasyonun ise %36 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Yükleme değerlerine ait, gerilme- deformasyon değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Geri dolgu malzemesi %20 GDBA + %80 DA olan istinat duvarında yükleme deneyi

Çizelge 4.11 Geri dolgu malzemesi %20 GDBA + %80 DA içeren istinat duvarı için yükleme deneyi sonuçları

Kuvvet(N)	Gerilme (kPa)	U ₁ (mm)	U ₂ (mm)	U _{ort} (mm)	O ₁ (mm)	A ₁ (mm)	ΔZ(mm)
290,1	10	0	0	0	0	0	0,1
435,15	15	0,01	0	0,005	0	0	0,9
580,2	20	0,02	0,01	0,015	0,01	0,01	1,2
725,25	25	0,04	0,03	0,035	0,03	0,02	1,5
870,3	30	0,06	0,06	0,06	0,06	0,03	1,7
1015,35	35	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	2
1160,4	40	0,1	0,11	0,105	0,09	0,07	2,5
1305,45	45	0,12	0,12	0,12	0,11	0,1	2,8
1450,5	50	0,2	0,19	0,195	0,14	0,12	3,2
1595,5	55	0,35	0,34	0,345	0,2	0,2	3,7
1740,6	60	0,5	0,5	0,5	0,3	0,25	4,1
1885,65	65	0,78	0,76	0,77	0,42	0,32	4,7
2030,7	70	1,08	1,1	1,09	0,8	0,4	5,25
2175,7	75	1,4	1,5	1,45	1,1	0,5	5,9
2320,8	80	1,84	1,9	1,87	1,4	0,59	6,6



Şekil 4.16. Geri dolgu malzemesi %20 GDBA + %80 DA olan istinat duvarı için yükleme deneyine ait gerilme- deformasyon ilişkisi

4.2.3. Geri dolgu malzemesi %40 GDBA + %60 DA karışımı olan istinat duvarında yükleme deneyleri

Geri dolgu malzemesi içerisinde %40 oranında GDBA bulunan zemin optimum su muhtevalarında karıştırılmıştır. Bu dolgu zemini daha sonrasında tank içerisinde 10 cm kalınlığındaki tabakalar halinde yerleştirilmiş ve metal tokmakla sıkıştırılmıştır. Geri dolgu tamamen yerleştirildiğinde üst yüzeyinin düz olmasına ve yerleştirilen temel tabakasının da terazide olmasına dikkat edilmiştir.

Yükleme deneyinde geri dolguya gelen yük 80 kPa değerine ulaşıncaya kadar deneye devam edilmiştir. Yükleme deneyinde elde edilen gerilme – deformasyon sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir (Şekil 4.17, 4.18).

Yükleme de 80kPa gerilme için, U_1 ve U_2 deformasyon saatlerinde maksimum deplasmanların oluştuğu görülmüştür. Bu saatlerde; U_{ort} 2,265 mm ve düşeydeki deformasyon saatinde ise 6,3 mm deplasman değerleri ölçülmüştür.

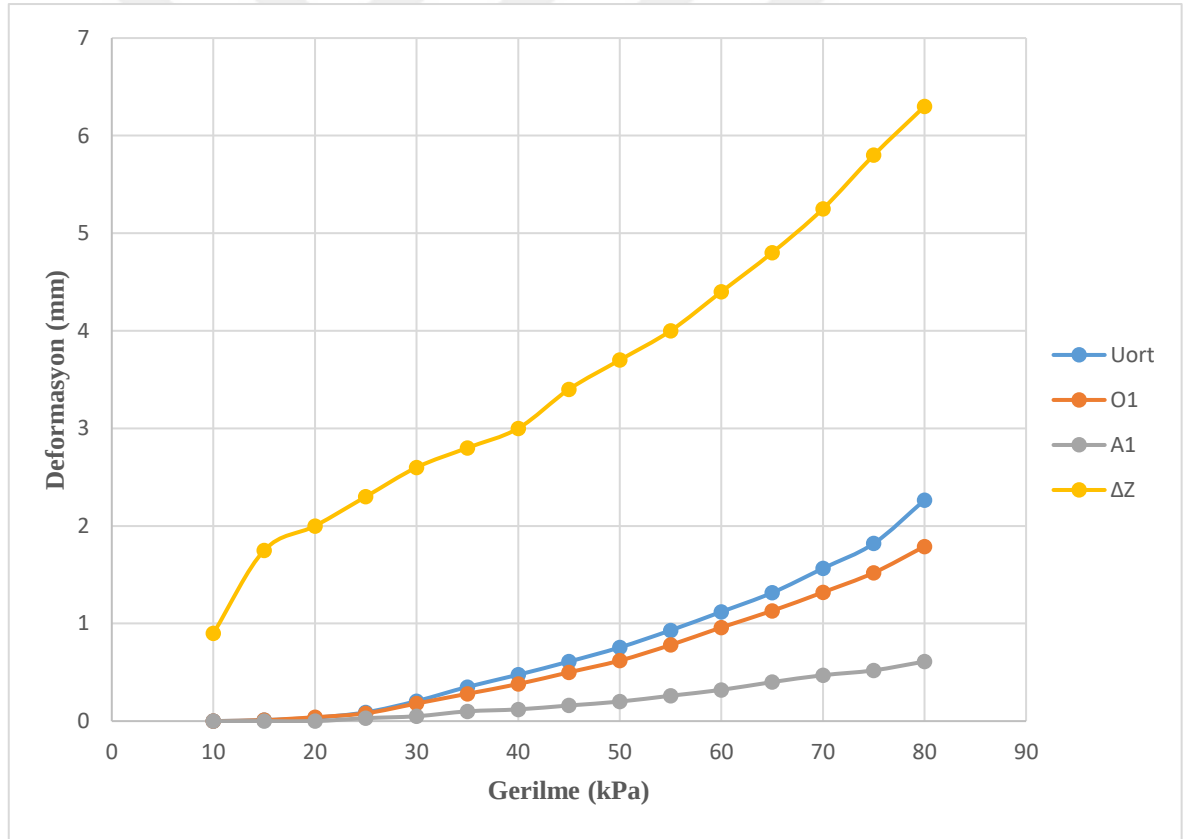
Referans numune olan doğal kum ile deformasyon sonuçları karşılaştırıldığında yataydaki deformasyonun neredeyse kum ile aynı olduğu, düşeyde ise %29,9’luk bir azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.17 Geri dolgu malzemesi %40 GDBA +% 60 DA olan istinat duvarında yükleme deneyi

Çizelge 4.12 Geri dolgu malzemesi %40 GDBA + %60 DA içeren istinat duvarı için yükleme deneyi sonuçları

Kuvvet(N)	Gerilme (kPa)	U ₁ (mm)	U ₂ (mm)	U _{ort} (mm)	O ₁ (mm)	A ₁ (mm)	ΔZ(mm)
290,1	10	0	0	0	0	0	0,9
435,15	15	0,01	0,01	0,01	0,01	0	1,75
580,2	20	0,04	0,03	0,035	0,04	0	2
725,25	25	0,1	0,08	0,09	0,08	0,03	2,3
870,3	30	0,23	0,18	0,205	0,18	0,05	2,6
1015,35	35	0,36	0,34	0,35	0,28	0,1	2,8
1160,4	40	0,49	0,46	0,475	0,38	0,12	3
1305,45	45	0,62	0,6	0,61	0,5	0,16	3,4
1450,5	50	0,75	0,76	0,755	0,62	0,2	3,7
1595,5	55	0,94	0,92	0,93	0,78	0,26	4
1740,6	60	1,14	1,1	1,12	0,96	0,32	4,4
1885,65	65	1,33	1,3	1,315	1,13	0,4	4,8
2030,7	70	1,57	1,56	1,565	1,32	0,47	5,25
2175,7	75	1,84	1,8	1,82	1,52	0,52	5,8
2320,8	80	2,27	2,26	2,265	1,79	0,61	6,3



Şekil 4.18 Geri dolgu malzemesi %40 GDBA + %60 DA olan istinat duvarında yükleme deneyine ait gerilme- deformasyon ilişkisi

4.2.4. Geri dolgu malzemesi %60 GDBA + %40 DA karışımı olan istinat duvarında yükleme deneyleri

Geri dolgu malzemesi içerisinde %60 oranında GDBA bulunan zemin optimum su muhtevasında hazırlanmıştır.

Hazırlanan karışım zemini tank içerisine 10 cm'lik tabakalar şeklinde yerleştirilmiş ve metal tokmakla sıkıştırılmıştır. Dolgu işlemi yapılırken istinat duvarı ile tank arasına zemin tanelerinin sıkışmaması için bant çekilmiş ve duvarın terazide olmasına dikkat edilmiştir.

Yükleme deneyinde geri dolguya gelen gerilme 80 kPa değerine ulaşıncaya kadar deneye devam edilmiştir (Şekil 4.19). Yükleme deneyinde elde edilen gerilme – deformasyon ilişkileri Çizelge 4.13 ve Şekil 4.20’de verilmiştir.

Yükleme sonucunda 80 kPa gerilme değeri için U_1 ve U_2 deformasyon saatlerinde maksimum deplasmanlar elde edilmiştir. Bu saatlerde okunan deplasmanların ortalaması $U_{ort}=6,55\text{mm}$ şeklindedir. Düşeyde ise 12,1 mm’lik deformasyon olduğu görülmüştür.

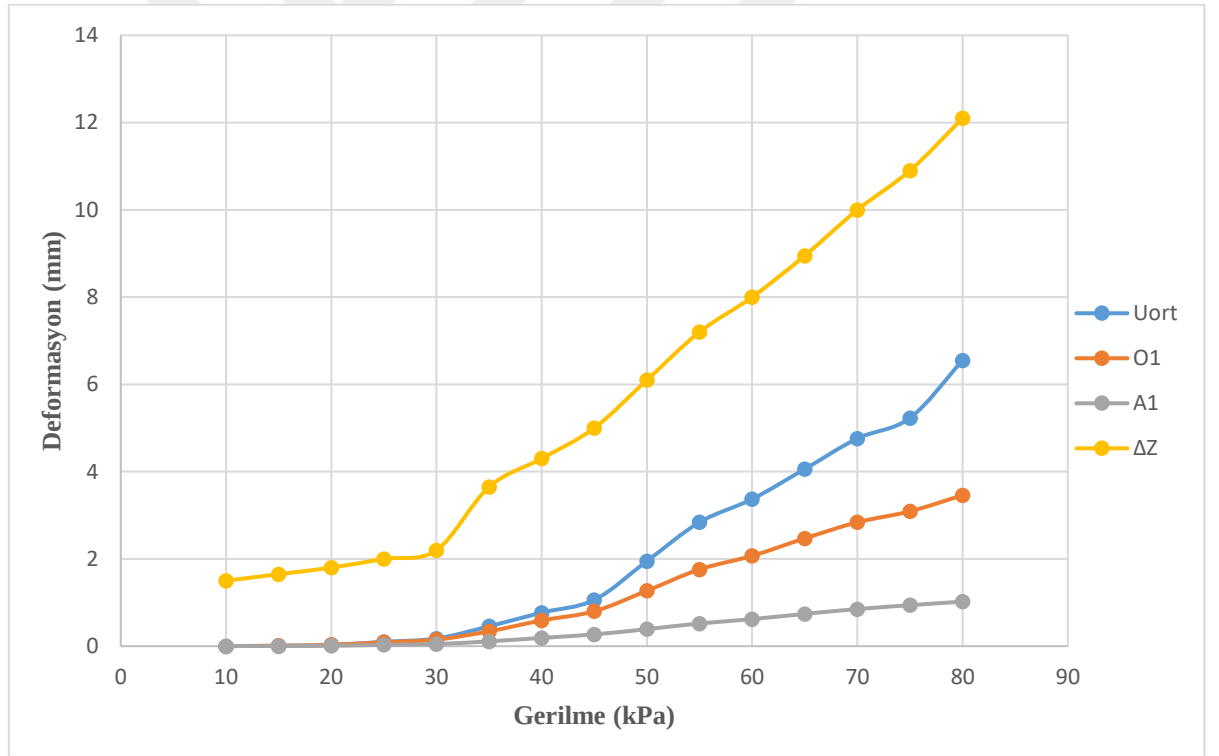
%60 GDBA+ %40 DA karışımı için elde edilen deformasyon değerlerinin %100 DA zemin için elde edilen deformasyon değerleri ile karşılaştırılmasıyla; yatay deplasmanlarda yaklaşık %300 ve düşey deplasmanlarda ise %250 oranında artış olduğu belirlenmiştir. Bu deplasmanlardaki artışın GDBA oranının artmasıyla birlikte dolgudaki ince malzeme oranının yüksek oranda artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İnce malzeme oranının artması aynı zamanda taşıma gücünde azalmalar meydana getirmiştir.



Şekil 4.19. Geri dolgu malzemesi %60 GDBA+%40 DA olan istinat duvarında yükleme deneyi

Çizelge 4.13 Geri dolgu malzemesi %60 GDBA+ %40 DA içeren istinat duvarı için yükleme deneyi sonuçları

Kuvvet(N)	Gerilme (kPa)	U ₁ (mm)	U ₂ (mm)	U _{ort} (mm)	O ₁ (mm)	A ₁ (mm)	ΔZ(mm)
290,1	10	0	0	0	0	0	1,5
435,15	15	0,01	0,01	0,01	0,01	0	1,65
580,2	20	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	1,8
725,25	25	0,1	0,1	0,1	0,09	0,03	2
870,3	30	0,17	0,18	0,175	0,15	0,05	2,2
1015,35	35	0,45	0,46	0,455	0,34	0,11	3,65
1160,4	40	0,76	0,78	0,77	0,59	0,19	4,3
1305,45	45	1,05	1,07	1,06	0,8	0,27	5
1450,5	50	1,93	1,97	1,95	1,27	0,39	6,1
1595,5	55	2,82	2,86	2,84	1,76	0,52	7,2
1740,6	60	3,36	3,38	3,37	2,07	0,62	8
1885,65	65	4,04	4,08	4,06	2,47	0,74	8,95
2030,7	70	4,72	4,8	4,76	2,84	0,85	10
2175,7	75	5,18	5,28	5,23	3,09	0,94	10,9
2320,8	80	6,5	6,6	6,55	3,46	1,02	12,1



Şekil 4.20 Geri dolgu malzemesi %60 GDBA + %40 DA olan istinat duvarında yükleme deneyine ait gerilme- deformasyon ilişkisi

4.2.5. Geri Dolgusunda %60 GDBA + %40 DA olan ve Geotekstil donatı kullanılarak güçlendirilen istinat duvarı için yükleme deneyleri

Tank içerisine geri dolgusunda %60 GDBA + %40 DA bulunan zemin ile yapılan yükleme deneylerinde deformasyon değerlerinin izin verilen deformasyon değerlerinden fazla olduğu ve sistemin taşıma gücünün yeterli olmadığı belirlenmiştir. Taşıma gücünü iyileştirmek, oturma miktarını azaltmak amacıyla sisteme geotekstil donatı eklenmiştir. Bu deneyin diğer bir amacı da geotekstil donatının nasıl çalıştığını ve ne oranda bir iyileştirme yaptığını görmektir (Şekil 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25)

%60 GDA + %40 DA malzemesi optimum su içeriğinde karıştırılmış ve deneye hazır hale getirilmiştir. Zemin 10 cm kalınlığındaki tabakalar halinde serilmiş ve sıkıştırılmıştır. Geotekstil donatı ise bu aralıklara 5 sıra olacak şekilde yerleştirilmiştir. Özener (2001)'in yapmış olduğu çalışma dikkate alınarak, donatı boyu $B=0,9L$ olacak şekilde geotekstil boyu belirlenmiştir. Burada B temel genişliğini, L ise donatı uzunluğunu temsil etmektedir. Geotekstil donatı serilmesinde bohçalama metodu kullanılmış, ilki 10 cm serilen dolgu zemini üzerinden başlamak üzere 5 sıra halinde geotekstil donatılar yerleştirilmiştir.



Şekil 4.21 İlk geotekstil tabakanın serilmesi (Üstten görünüş)



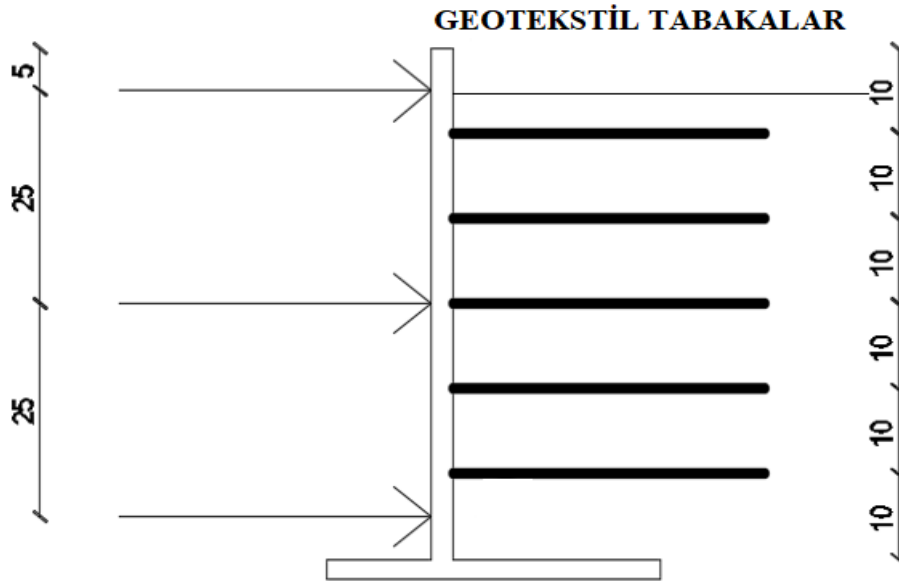
Şekil 4.22. Geotekstil tabakalarının oluşturulması ve bohçalama



Şekil 4.23. Geotekstil tabakaların mavi kalemle işaretlenmesi



Şekil 4.24. Geotekstil kullanılarak oluşturulan yükleme sistemi için ölçüm aletleri



Şekil 4.25. Duvar arkası dolgusunda Geotekstil tabakaları yerleşimi kesit görünüşü

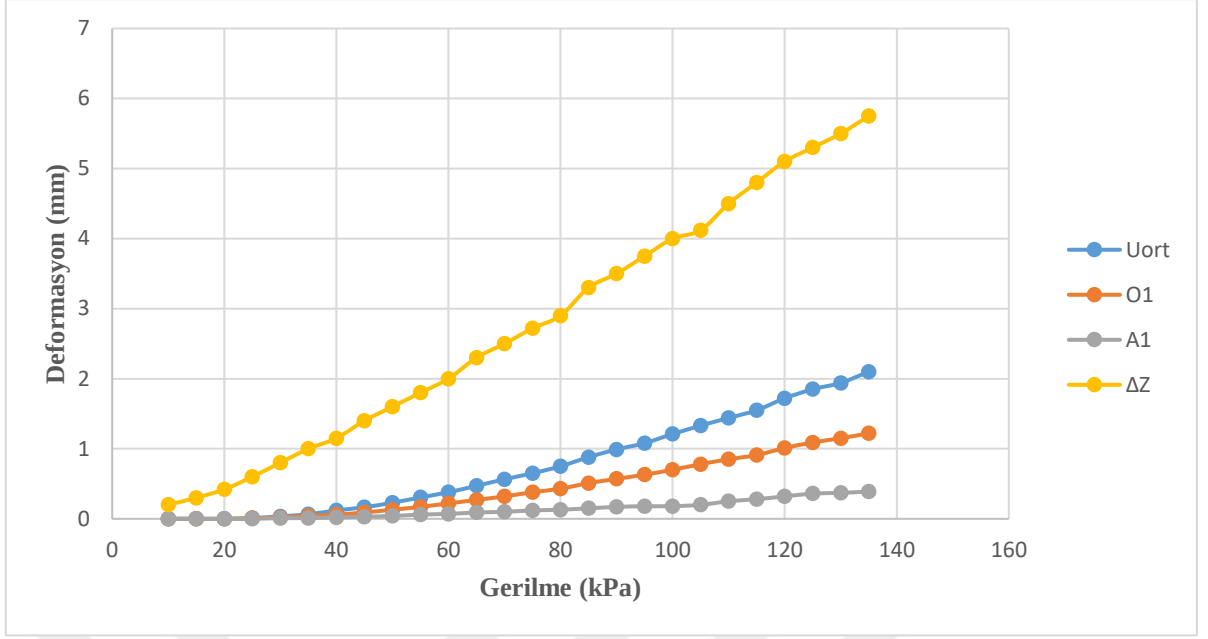
İstinat duvarı geri dolgusunda yükleme işlemi 135 kPa değerine kadar devam ettirilmiştir. Yükün artırılmasındaki amaç deney anında geotekstil donatılı istinat duvarı

geri dolgusunda yatay ve düşey deformasyon değerlerini %100 Kum içeren geri dolgudaki deformasyon değerlerine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Geotekstil donatılı geri dolgudaki 135 kPa yük sürşarj etkisinde maksimum deformasyon yatayda U_{ort} 2,1 mm, düşeyde ise ΔZ 5,75 mm ölçülmüştür. Burada geotekstil donatılar, dolgu ve temel üzerine etkiyen yükü çekme gerilmesi olarak karşılamaktadırlar. Ayrıca geotekstiller farklı oturmaları engellemiş sistemin üniform olarak hareket etmesini sağlamıştır (Şekil 4.26) (Çizelge 4.14).

%60 GDBA + % 40 DA içeren zemine göre deformasyonlar açısından kıyaslama yapıldığında; geotekstil donatılı zeminde yaklaşık olarak yatayda %250, düşeyde ise %211'lik bir iyileşme söz konusudur.

Çizelge 4.14 Geri dolgu malzemesi %60 GDBA+ %40 DA içeren ve geotekstil donatı takviyesi yapılan istinat duvarı yükleme deneyi sonuçları

Kuvvet(N)	Gerilme (kPa)	U_1 (mm)	U_2 (mm)	U_{ort} (mm)	O_1 (mm)	A_1 (mm)	ΔZ (mm)
290	10	0	0	0	0	0	0,2
435	15	0	0	0	0	0	0,3
580	20	0	0	0	0	0	0,42
725	25	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,6
870	30	0,04	0,03	0,035	0,02	0,01	0,8
1015	35	0,07	0,06	0,065	0,04	0,01	1
1160	40	0,12	0,12	0,12	0,06	0,02	1,15
1305	45	0,17	0,16	0,165	0,09	0,03	1,4
1450	50	0,24	0,22	0,23	0,13	0,04	1,6
1595	55	0,31	0,3	0,305	0,17	0,06	1,8
1740	60	0,39	0,37	0,38	0,22	0,07	2
1885	65	0,48	0,46	0,47	0,27	0,09	2,3
2030	70	0,57	0,56	0,565	0,32	0,1	2,5
2175	75	0,66	0,64	0,65	0,38	0,12	2,72
2320	80	0,76	0,74	0,75	0,43	0,13	2,9
2465	85	0,9	0,86	0,88	0,51	0,15	3,3
2610	90	1	0,98	0,99	0,57	0,17	3,5
2755	95	1,1	1,06	1,08	0,63	0,18	3,75
2900	100	1,22	1,2	1,21	0,7	0,18	4
3045	105	1,34	1,32	1,33	0,78	0,2	4,12
3190	110	1,46	1,42	1,44	0,85	0,25	4,5
3335	115	1,56	1,54	1,55	0,91	0,28	4,8
3480	120	1,73	1,71	1,72	1,01	0,32	5,1
3625	125	1,86	1,84	1,85	1,09	0,36	5,3
3770	130	1,95	1,93	1,94	1,15	0,37	5,5
3915	135	2,11	2,09	2,1	1,22	0,39	5,75



Şekil 4.26 Geri dolgu malzemesi %60 GDBA + %40 DA + Geotekstil olan istinat duvarında yükleme deneyine ait gerilme- deformasyon ilişkisi

Çalışmanın deneysel kısmı bu deney ile birlikte sonlanmıştır. Son olarak istinat duvarındaki kritik kesitleri görmek amacıyla sisteme verilen yük artırılmış ve duvardaki yapısal hasar gözlenmiştir. Duvarda, gövde- temel birleşim yerinde ayrılmalar meydana gelmiş ve zemin ortamında toptan göçme hareketi gözlenmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Duvarın aşırı yükleme sonrası kırılmış hali

4.3. PLAXIS-3D Analizleri

Zemin deneyleri ve istinat duvarı yükleme deneyleri tamamlandıktan sonra çıkan sonuçların doğruluğunu kontrol etmek amacıyla tüm veriler bilgisayara aktarılarak Plaxis 3D programı ile her karışım için ayrı ayrı analizler yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

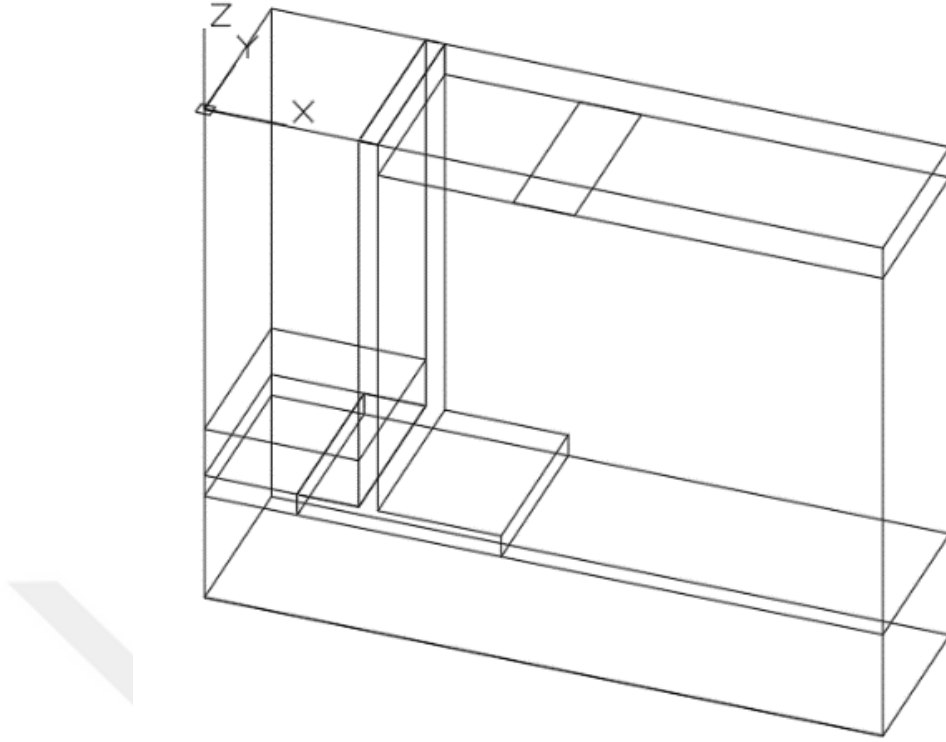
Programda zemini ve istinat duvarını tanımlamak amacıyla yapılan deneyler daha önceki bölümde verilmiştir. Bu deneylerde; elastisite modülleri, doğal birim hacim ağırlıkları, tane birim hacim ağırlıkları, karışımların optimum su muhtevaları, kohezyon ve içsel sürtünme açı değerleri bulunmuştur. Betonarme istinat duvarının elastisite modülünü belirlemek amacıyla beton numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır.

Laboratuvar da tank içerisinde yapılan yükleme deneylerinde istinat duvarı altında sıkı kum zemin kullanılmış ve bu kumun içsel sürtünme açısı değeri $\phi=38^0$ olarak hesaplanmıştır. Tüm yükleme deneylerinde aynı kum kullanıldığından dolayı Plaxis 3D programında tüm taban zemini aynı özellikte alınmıştır.

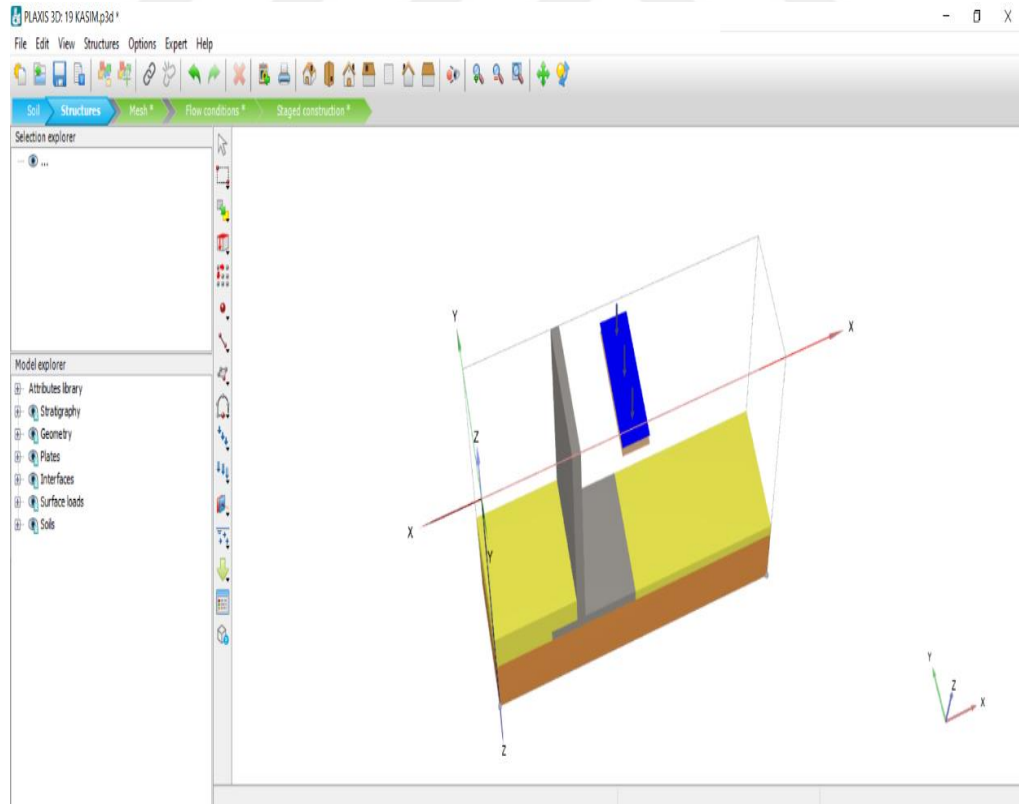
Plaxis 3D programında yapılacak olan tüm analizler için duvar ile ilgili parametreler aynı değer olarak alınmıştır. Ayrıca kullanılan temel parametresi de her yükleme durumu için aynı olmuştur.

Bu kısımda Plaxis 3D için malzeme özelliklerinin tanımlanması, analiz parametreleri ve yükleme işlemi sonucu oluşan yük-deformasyon ilişkileri ve duvarın yük etkisi altındaki davranışı incelenmiştir.

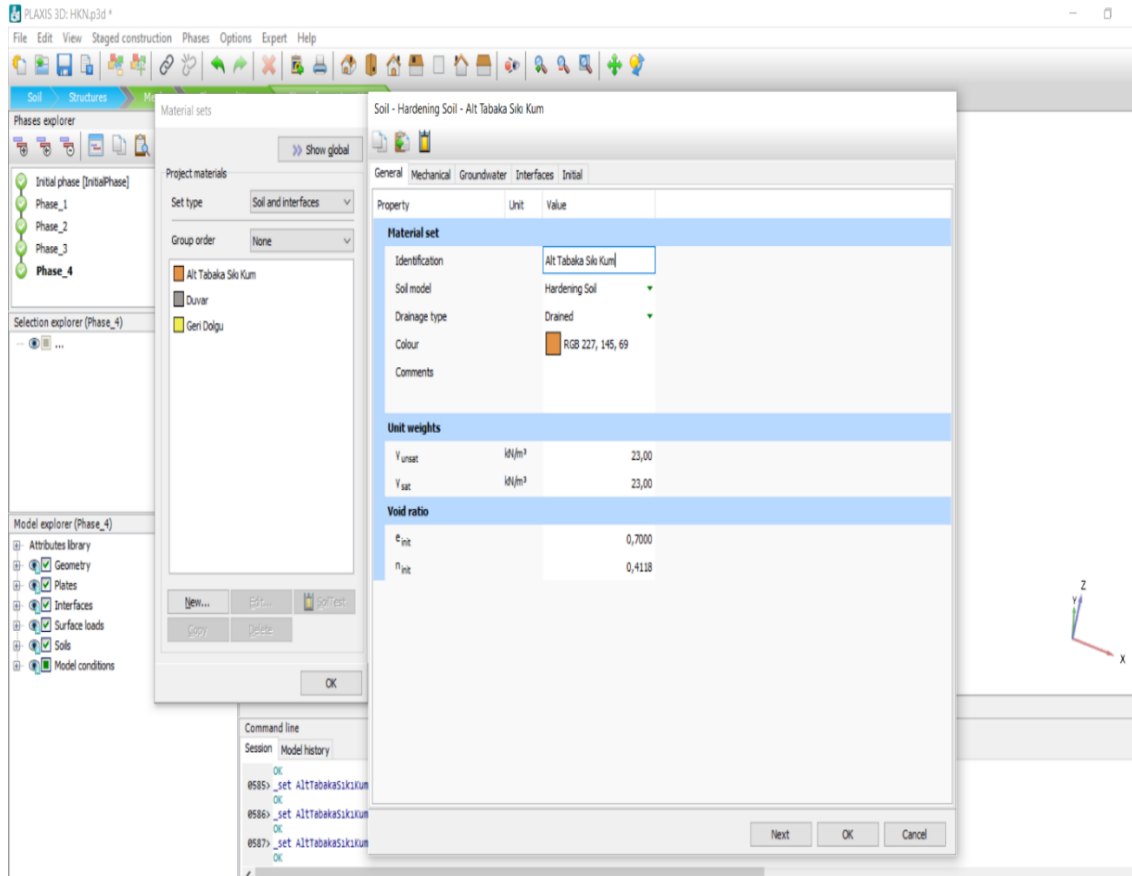
Deney sistemi 3 boyutlu olarak Autocad programında modellenmiştir (Şekil 4.28). Sistem daha sonrasında Plaxis 3D programına aktarılmış ve laboratuvar deneyleri ile elde edilen sonuçlar sisteme tanımlanmıştır (Şekil 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33).



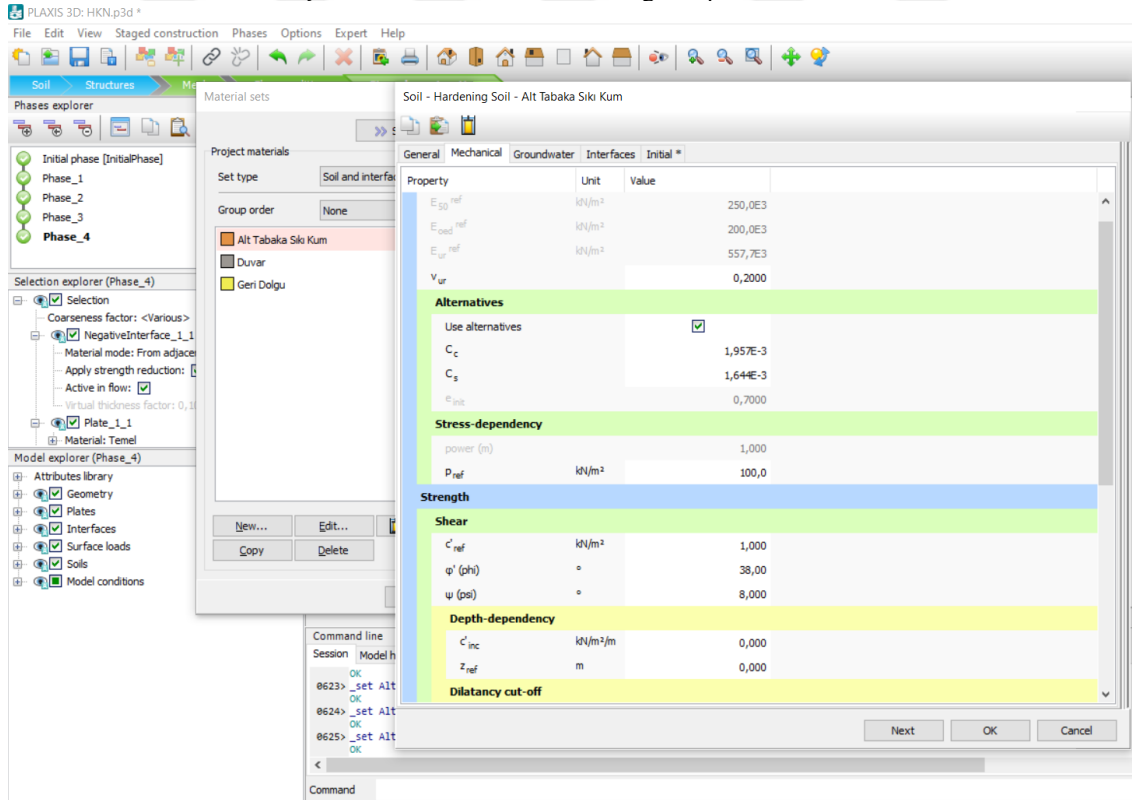
Şekil 4.28. Autocad 3 boyutlu model



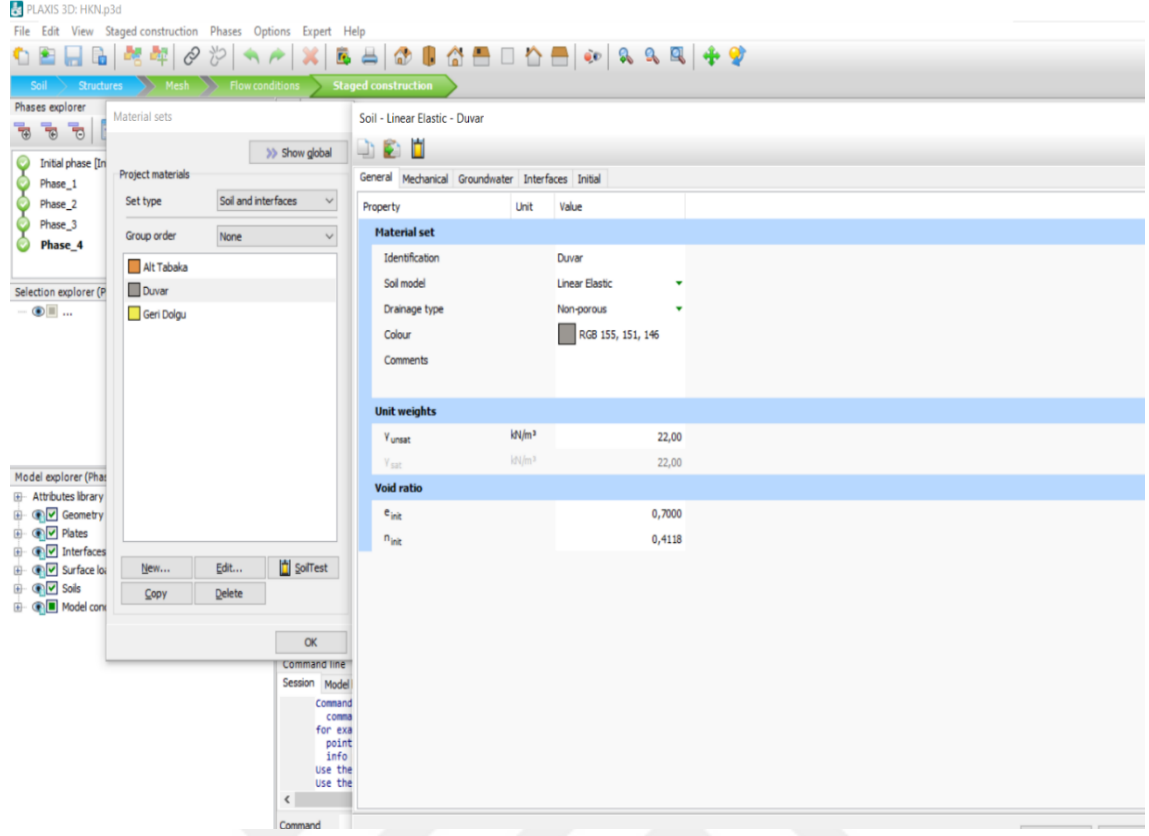
Şekil 4.29. Plaxis 3D programına tanımlanan temel zemini



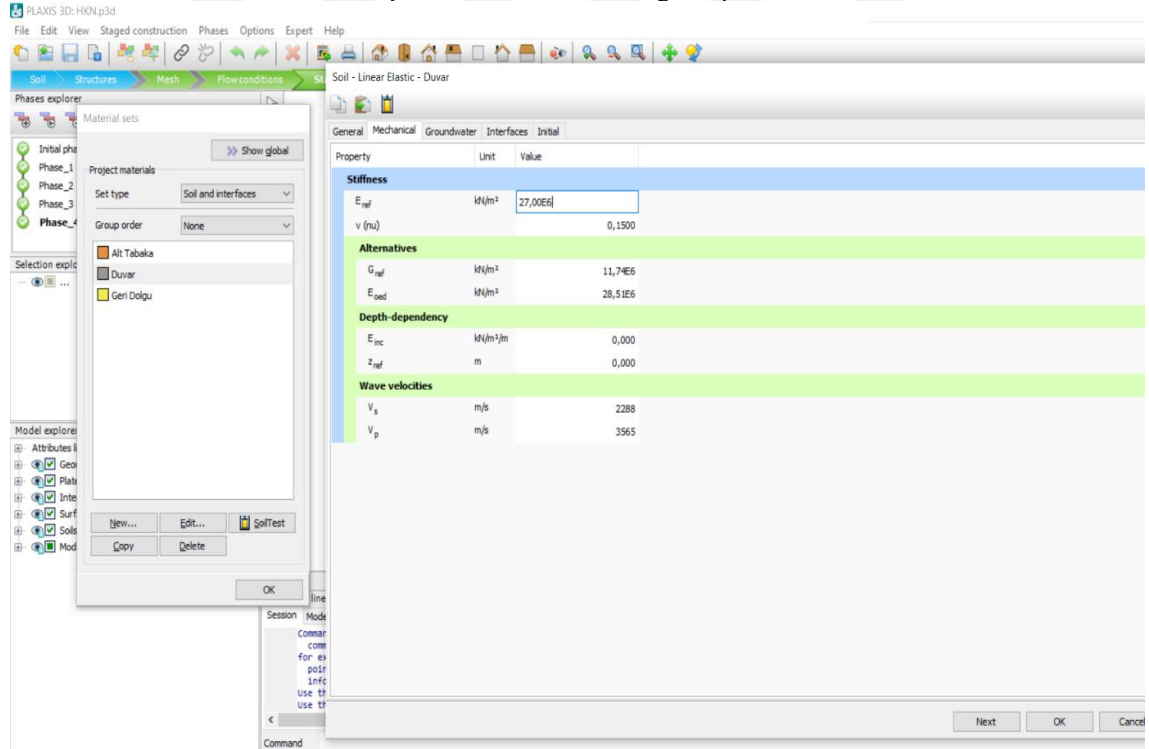
Şekil 4.30. Alt tabaka sıkı kum genel parametreleri



Şekil 4.31. Alt tabaka sıkı kum mekanik parametreleri



Şekil 4.32. İstinat duvarı genel parametreleri



Şekil 4.33. Plaxis 3D analizleri için; İstinat duvarına ait parametreler

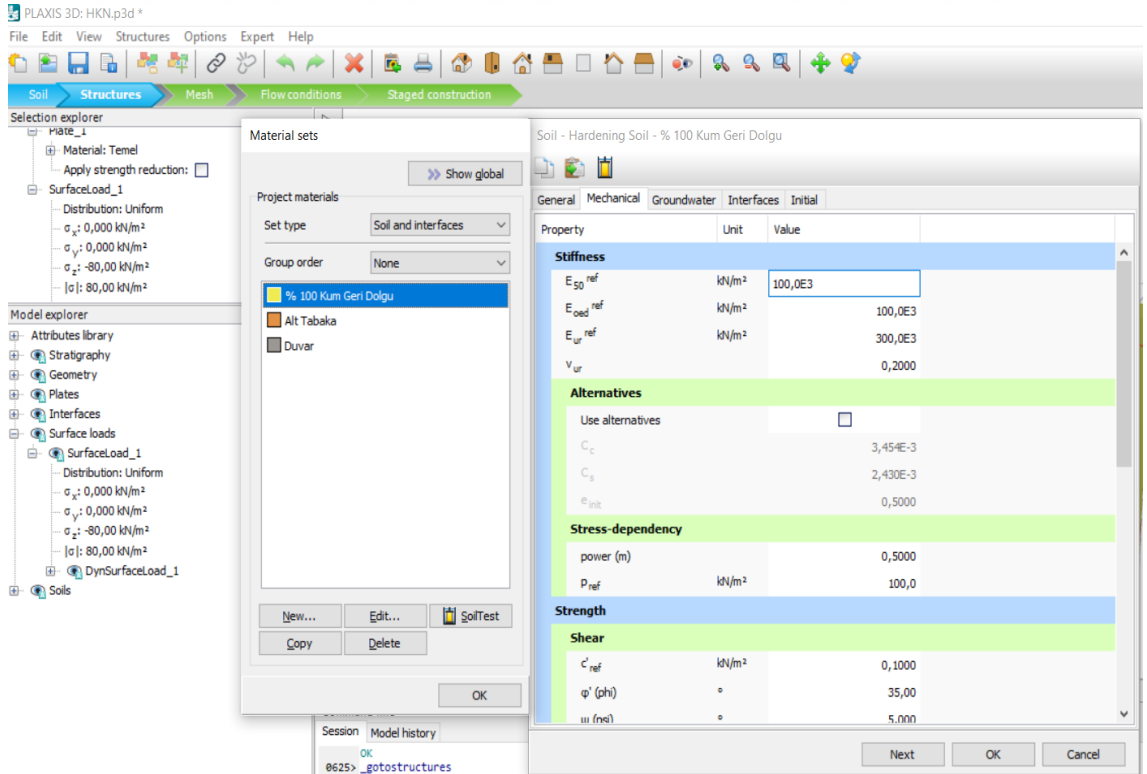
4.3.1. Geri dolgu malzemesi %100 doğal kum (DA) olan durumda Plaxis 3D analizleri

Geri dolgusunda %100 doğal kum bulunan istinat duvarı referans deneyinde zemin analizleri ve istinat duvarı analizleri yapılmış bulunan parametreler Plaxis 3D programına girilmiştir (Çizelge 4.15). Plaxis 3D analizlerinde materyal özellikleri ve oluşturulan sonlu elemanlar ağı (mesh) programdan alınan ekran görüntüleri aşağıda gösterilmiştir Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te gösterilmiştir.

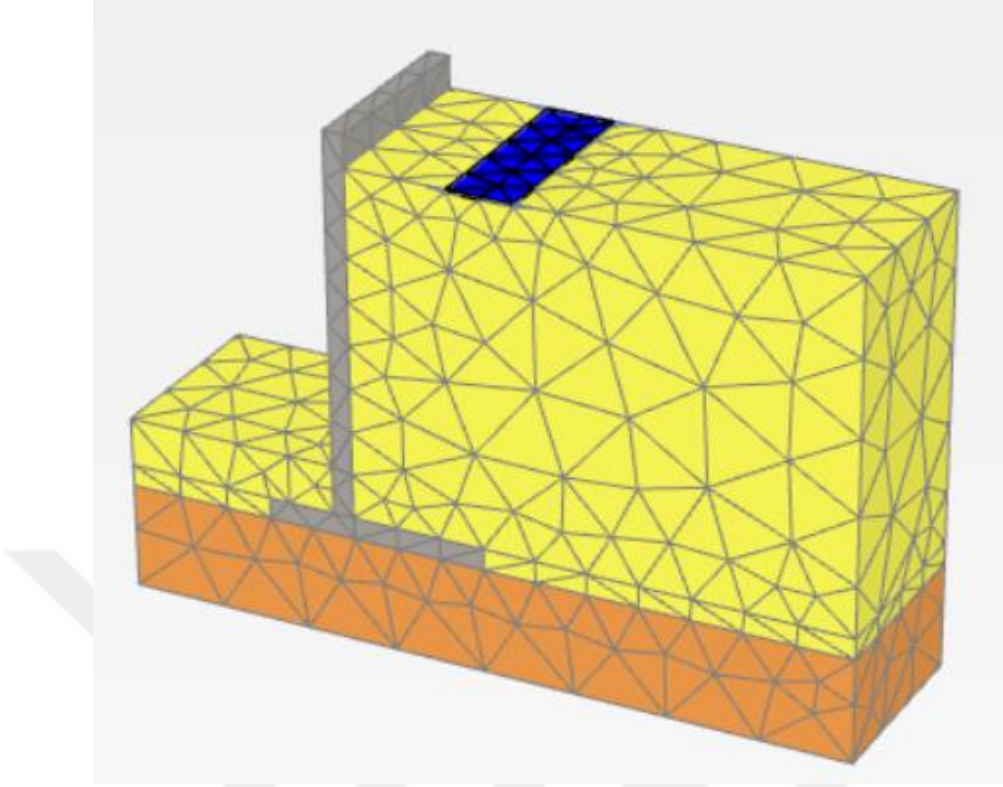
İstinat duvarı taban zemini sıkı kum olarak tanımlanmış, yükleme laboratuvar deneyi ile uyumlu olarak 80 kPa'a kadar devam ettirilmiştir.

Çizelge 4.15. Geri dolgusu %100 DA olan durum için zemin ve duvara ait parametreler

Betona ait özellikler	E (kN/m²)	27x10 ⁶
	γ (kN/m³)	22
	ν	0,15
Kum zemine ait özellikler	c (kN/m²)	0,1
	φ (°)	35

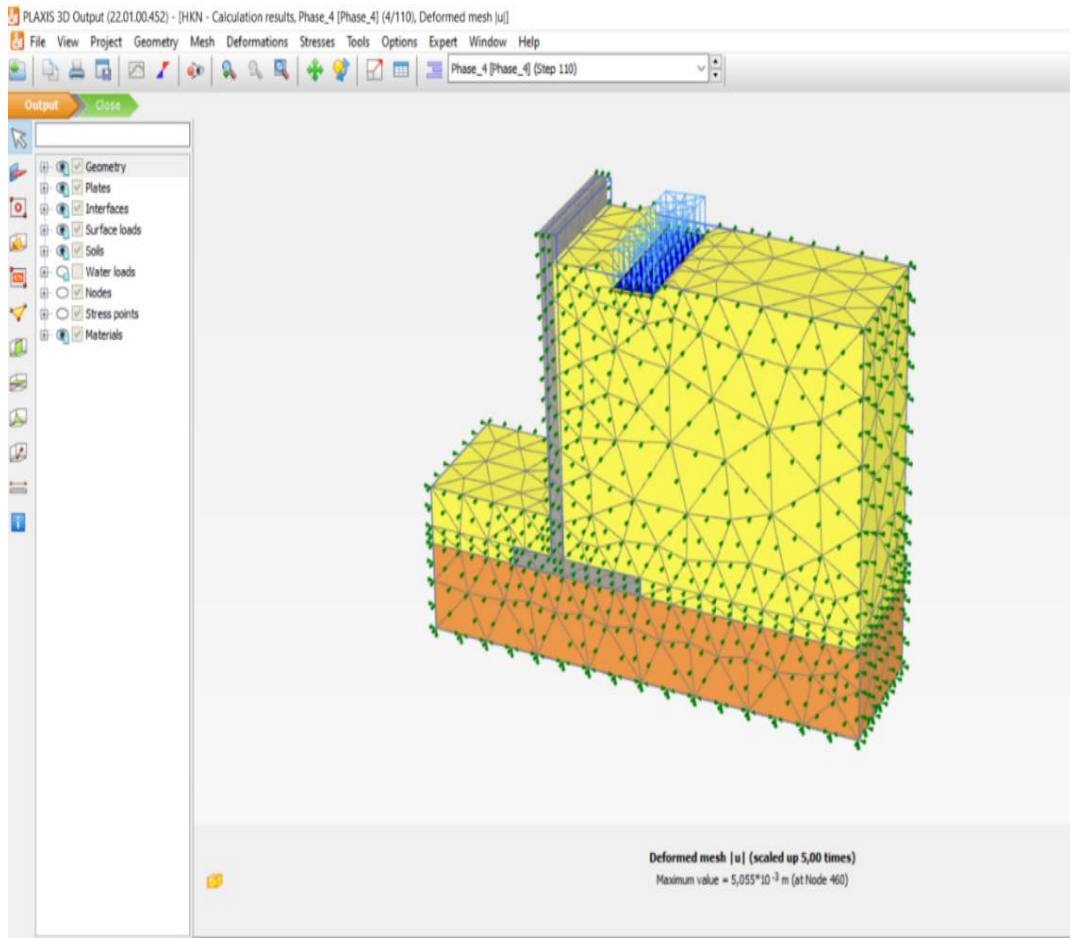


Şekil 4.34. Geri dolgusu %100 DA olan durum için modelleme ve materyal özellikleri

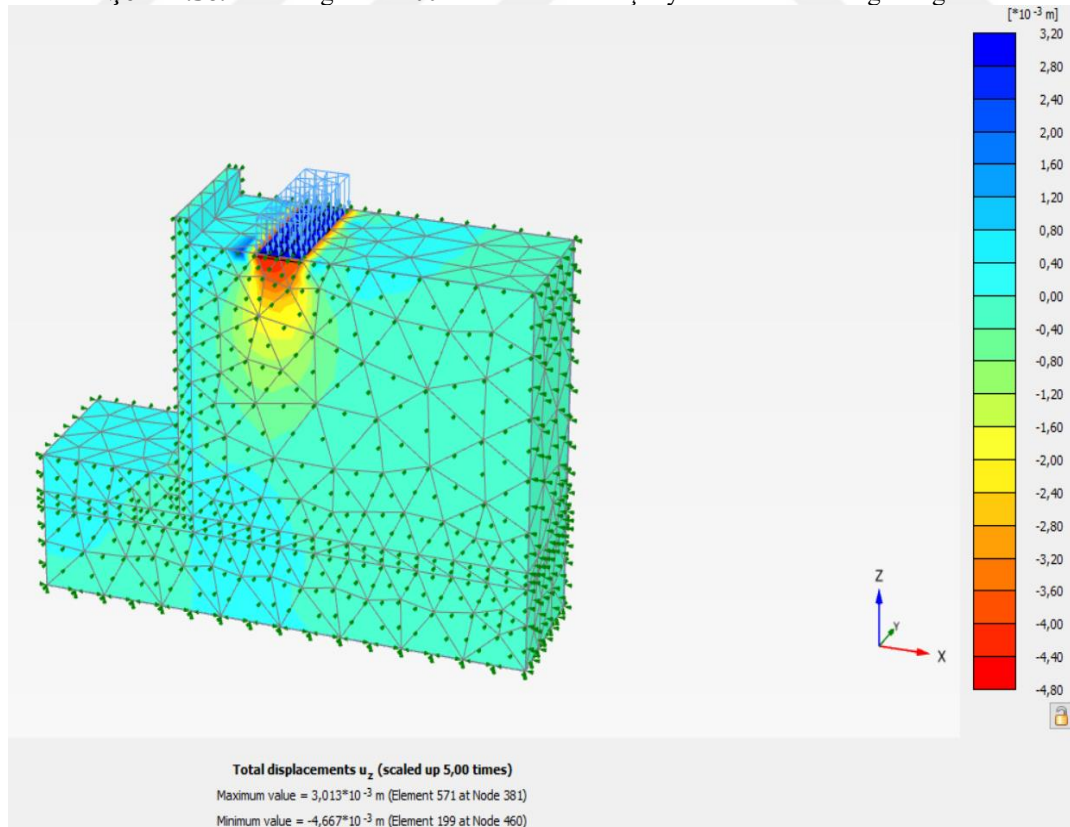


Şekil 4.35. Geri dolgusu %100 DA olan durum için sonlu elemanlar ağı (mesh)

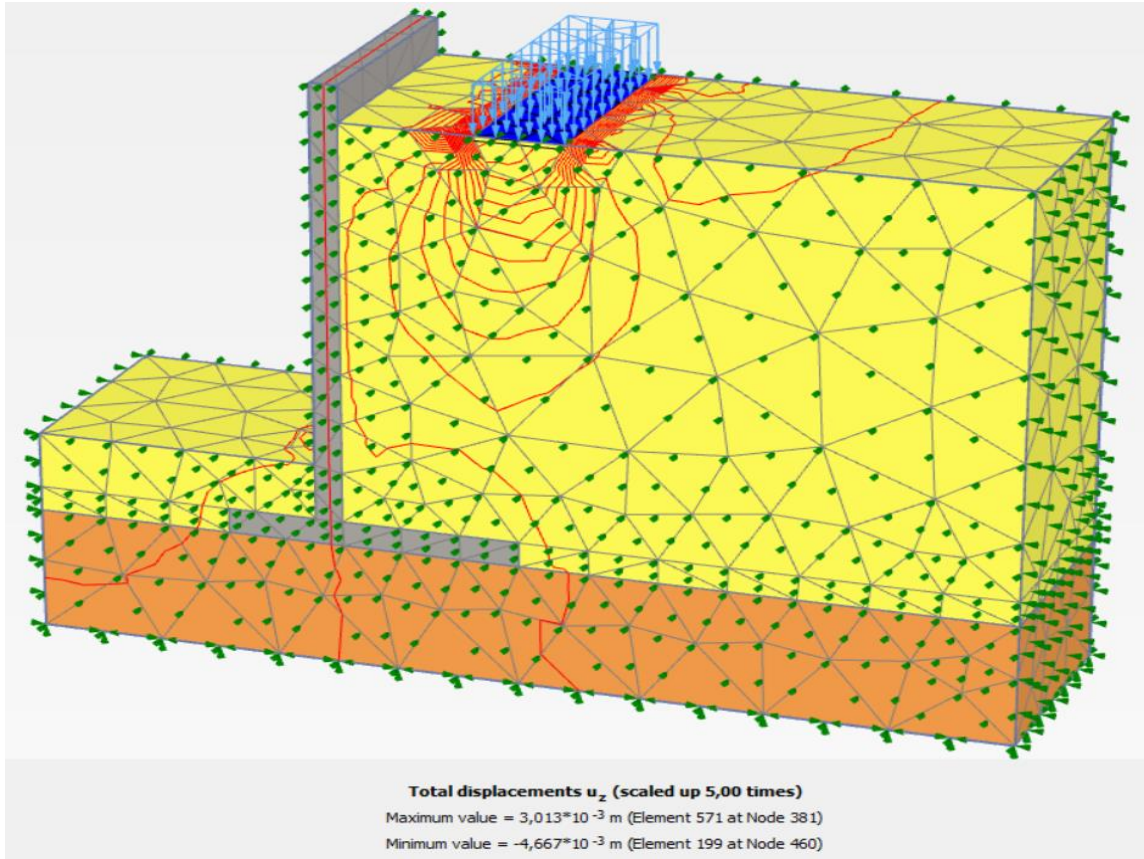
Plaxis 3D programına aktarılan veriler ve modelleme deneyleri sonucunda sisteme 80 kPa'lık gerilme etkisi sonucunda yatay ve düşey deformasyonlar elde edilmiştir. Yükleme sonucunda Plaxis 3D programında yatayda 2.606 mm deformasyon, düşeyde ise 4.667 mm'lik deformasyon olduğu görülmüştür. Aynı geri dolgu malzemesinde 80 kPa yük altında laboratuvar da yapılan deneyler sonucunda yatayda 2.205 mm düşeyde ise 4.85 mm'lik deformasyonlar elde edilmiştir. Laboratuvar da yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ile Plaxis 3D programından elde edilen sonuçların birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Küçük farklar olmasının birkaç farklı sebebi olabilir. Bunlar; geri dolgu yerleştirilmesi sırasında bazı noktalarda homojen dağılım olmaması, yük-deformasyon ölçümlerinde bazı gecikmelerin olması gibi nedenlerden dolayı az da olsa küçük farklar gözlemlenmiştir (Şekil 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.42, 4.41, 4.42).



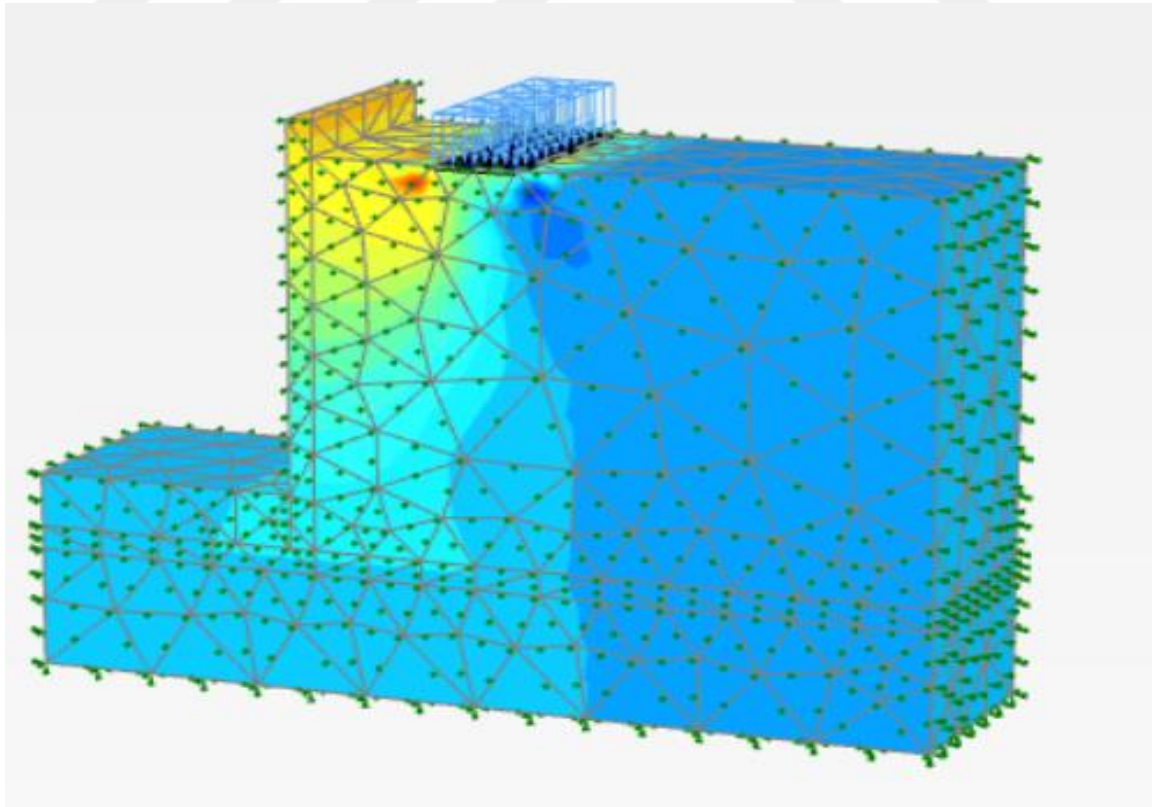
Şekil 4.36. Geri dolgusu %100 DA olan durum için yük altında sistem genel görünümü



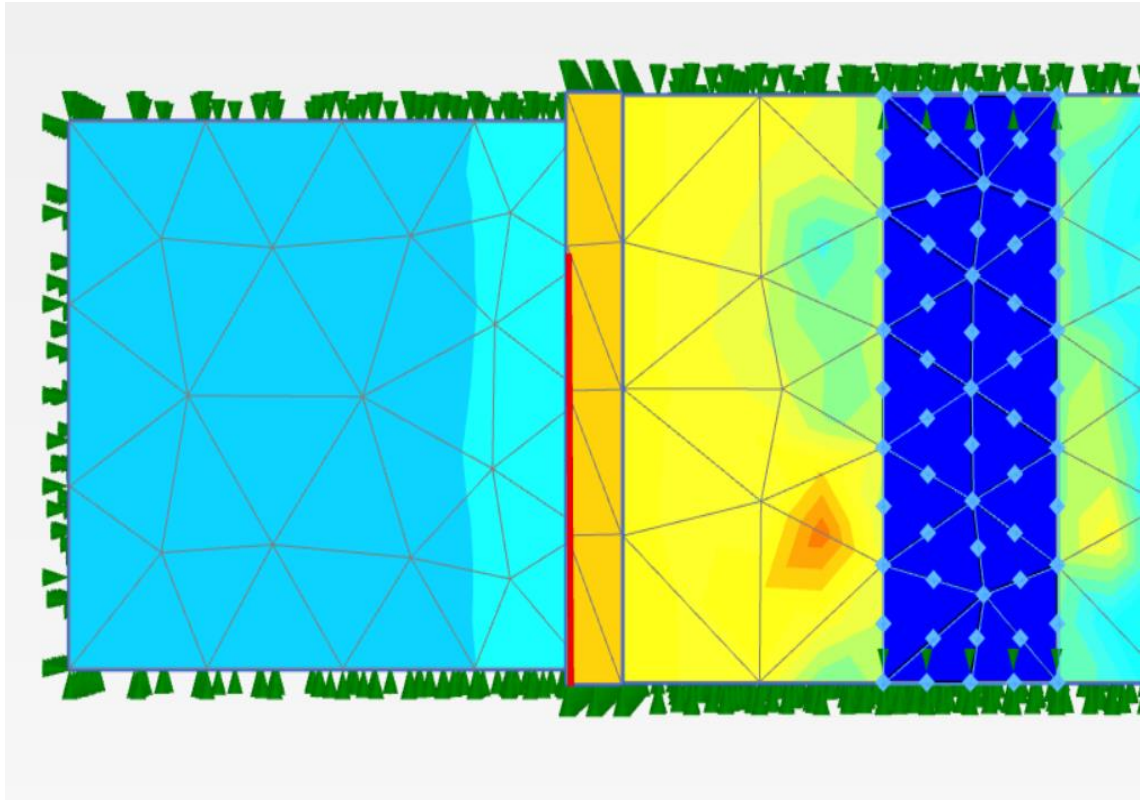
Şekil 4.37. Geri dolgusu %100 DA olan durum için düşey deformasyonların değişimi



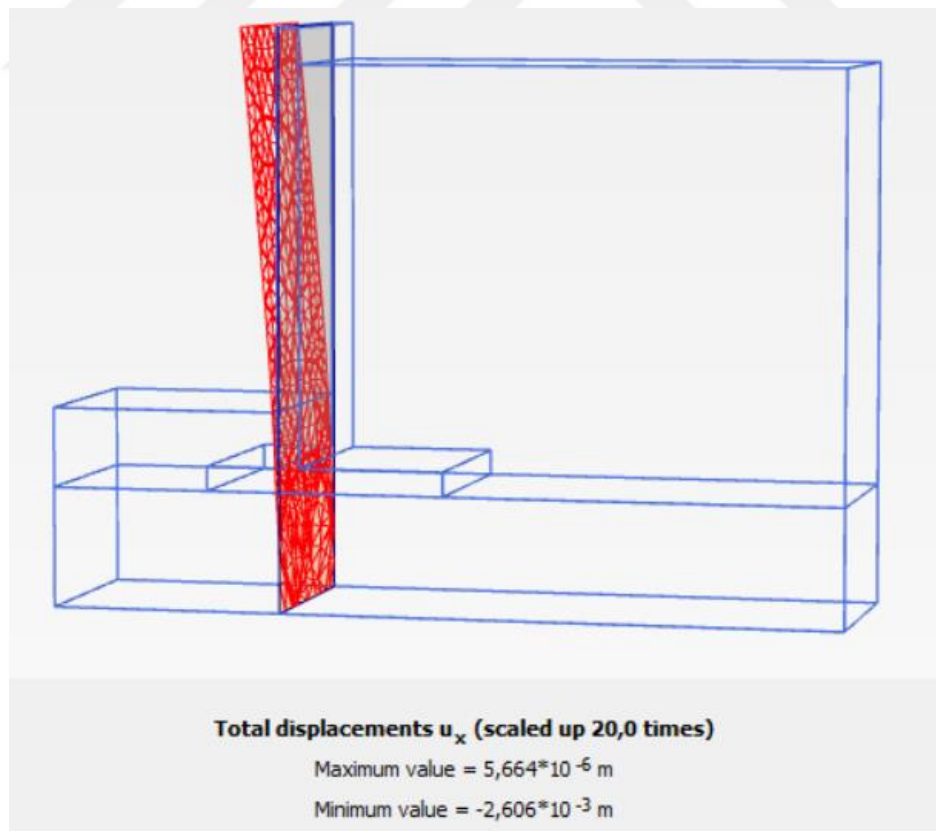
Şekil 4.38. Geri dolgusu %100 DA olan durum için düşey gerilme soğanları



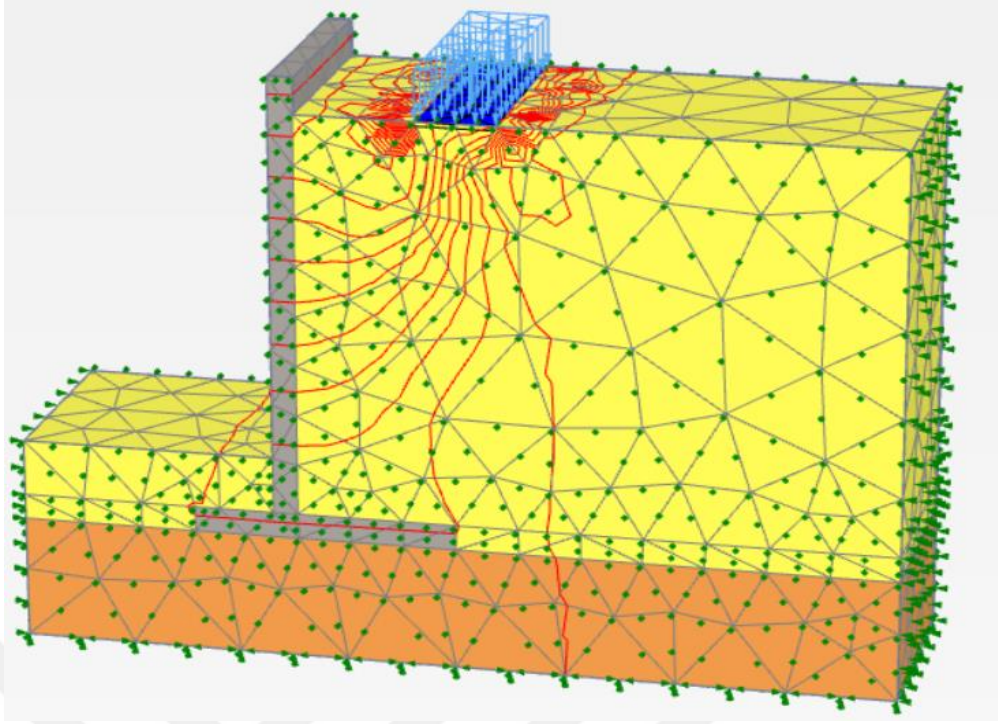
Şekil 4.39. Geri dolgusu %100 DA olan durum için yük altında sistem genel görünümü



Şekil 4.40. İstinat duvarında yatay yer değiştirme için alınan kesit (kırmızı çizgi)



Şekil 4.41. Geri dolgusunda %100 DA bulunan yanal zemin basıncı altındaki yatay deplasmanı için kesit görünümü



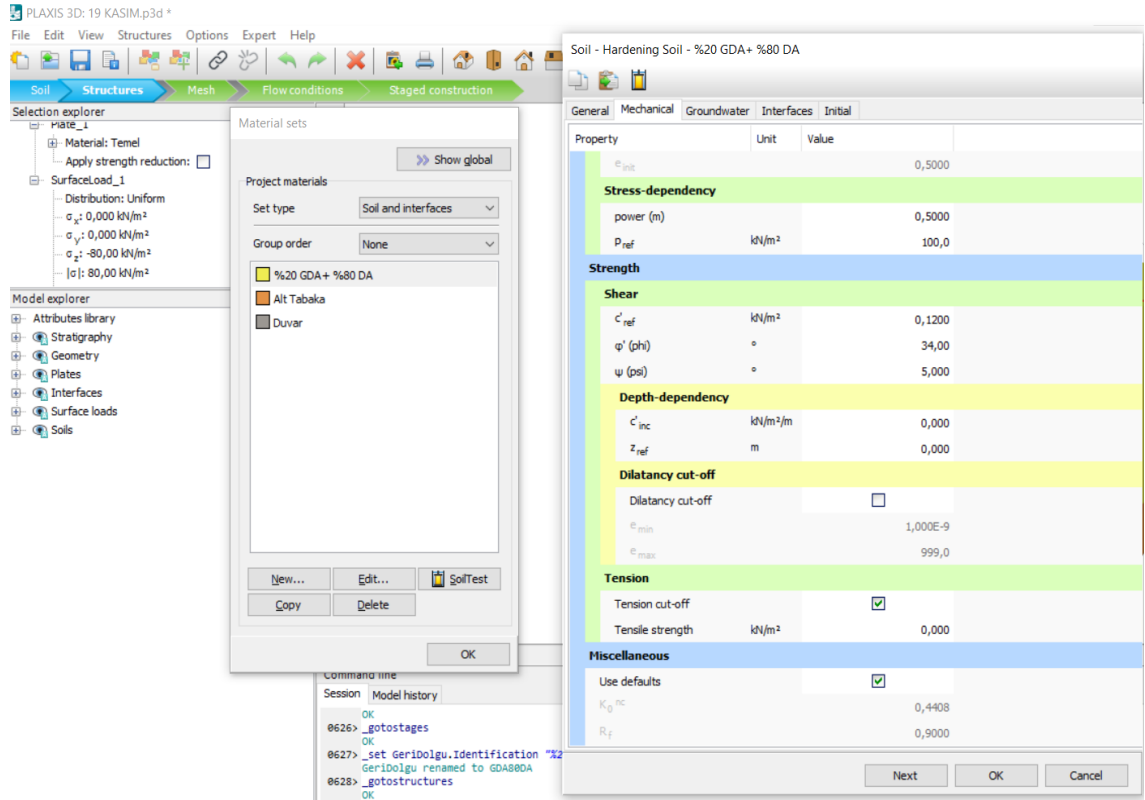
Şekil 4.42. Geri dolgusu %100 DA olan durum için yük altında yatay gerilme soğanları

4.3.2. Geri dolgu malzemesi %20 GDBA + %80 DA olan durumda Plaxis 3D analizleri

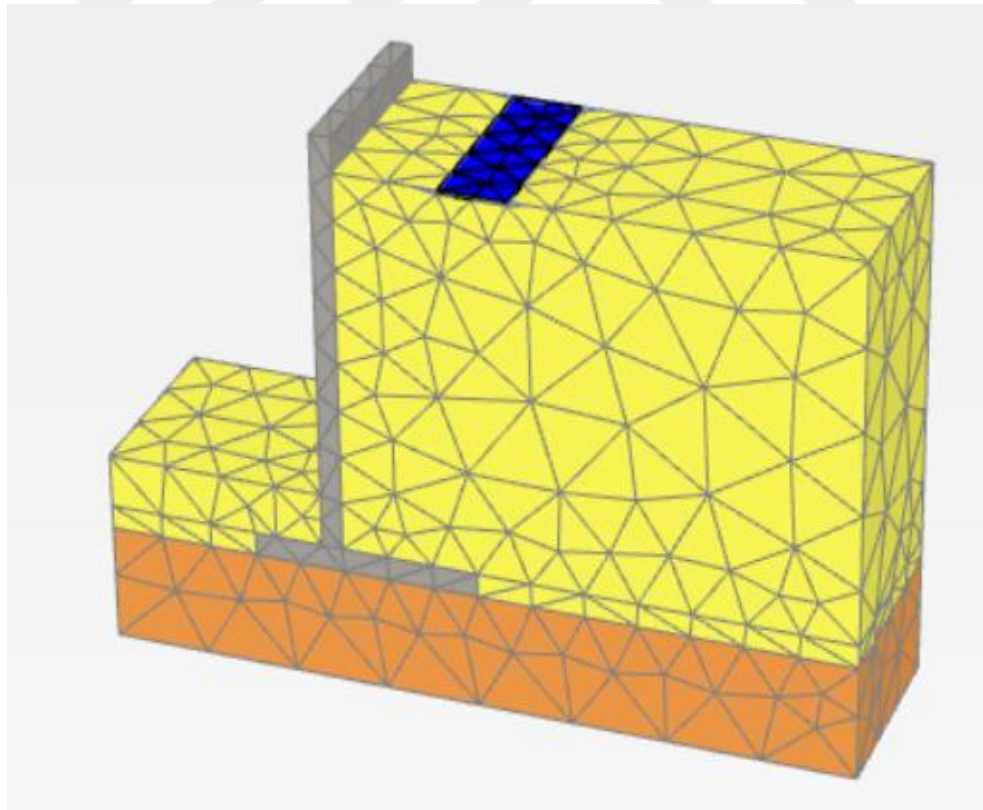
Geri dolgu malzemesi olarak %20 GDBA + %80 DA kullanılan istinat duvarı için yapılan yüklemelerde; Plaxis 3D programında kullanılan zemin ve duvar parametreleri Çizelge 4.16’da verilmiştir. Sistem 80 kPa gerilmeye ulaşınca kadar yüklenmiş, oluşan yatay ve düşey deformasyonlar ölçülmüştür. Temel zemini sıkı kum olarak tanımlanmıştır. Sistem özellikleri ve oluşturulan sonlu elemanlar ağı (mesh) Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’te verilmiştir.

Çizelge 4.16. Geri dolgusu %20 GDBA+%80 DA olan durum için zemin ve duvara ait parametreler

Betona ait özellikler	E (kN/m²)	27x10⁶
	γ (kN/m³)	22
	ν	0,15
Kum zemine ait özellikler	c (kN/m²)	0,12
	φ (°)	34,0

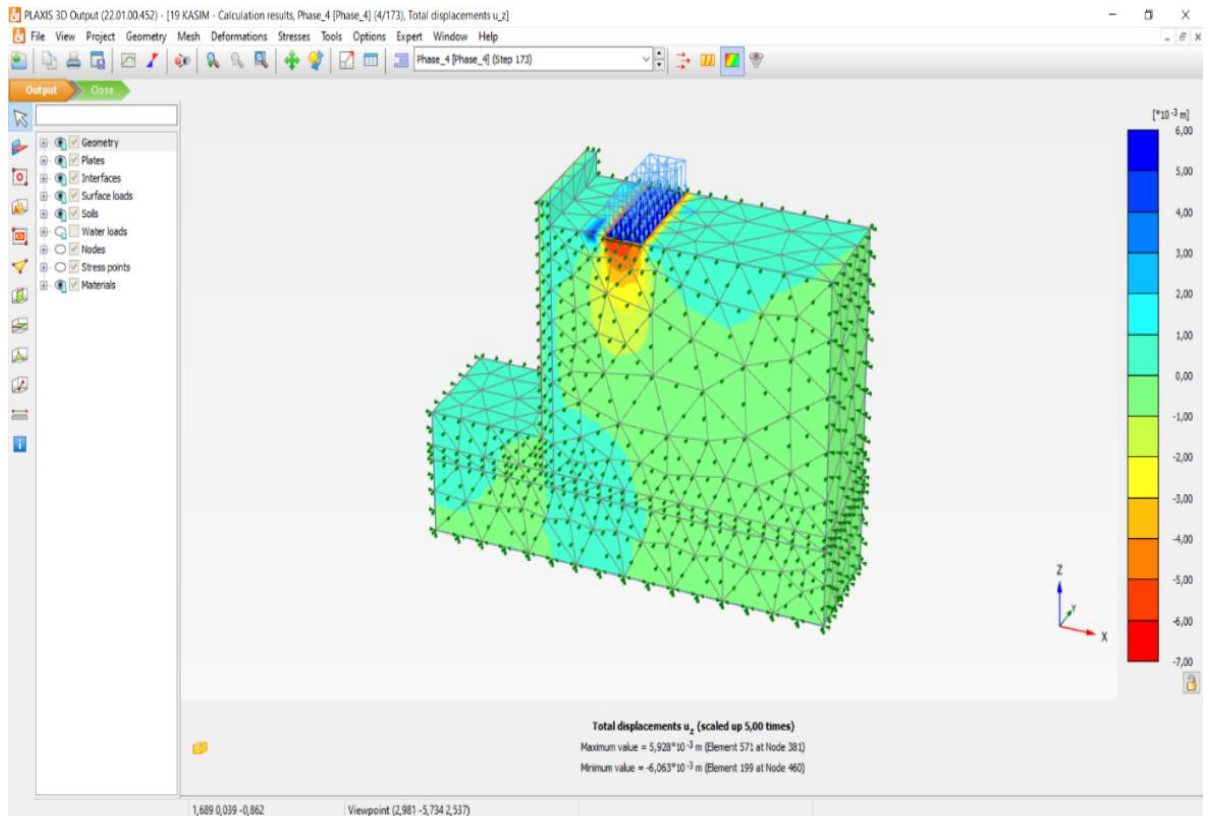


Şekil 4.43. Geri dolgusu %20 GDBA + %80 DA olan durum için modelleme ve materyal özellikleri

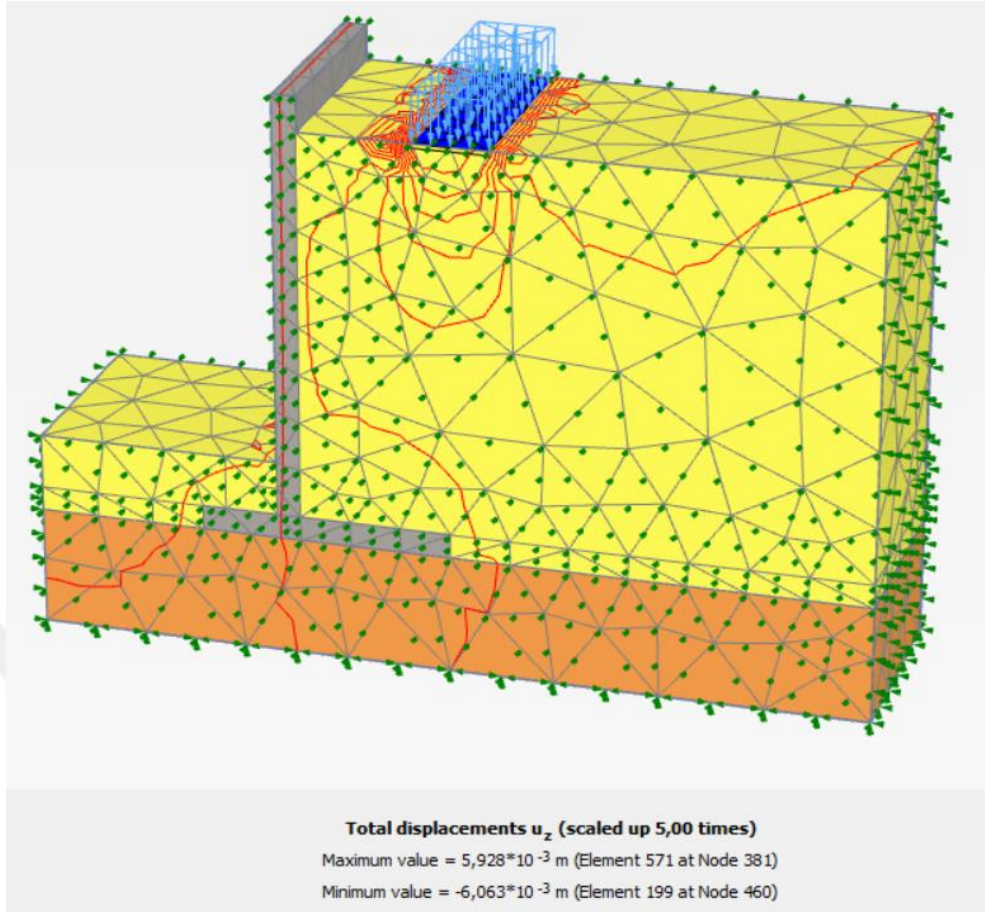


Şekil 4.44. Geri dolgusu %20 GDBA + %80 DA olan durum için istinat duvarı arkası sonlu elemanlar ağı (mesh)

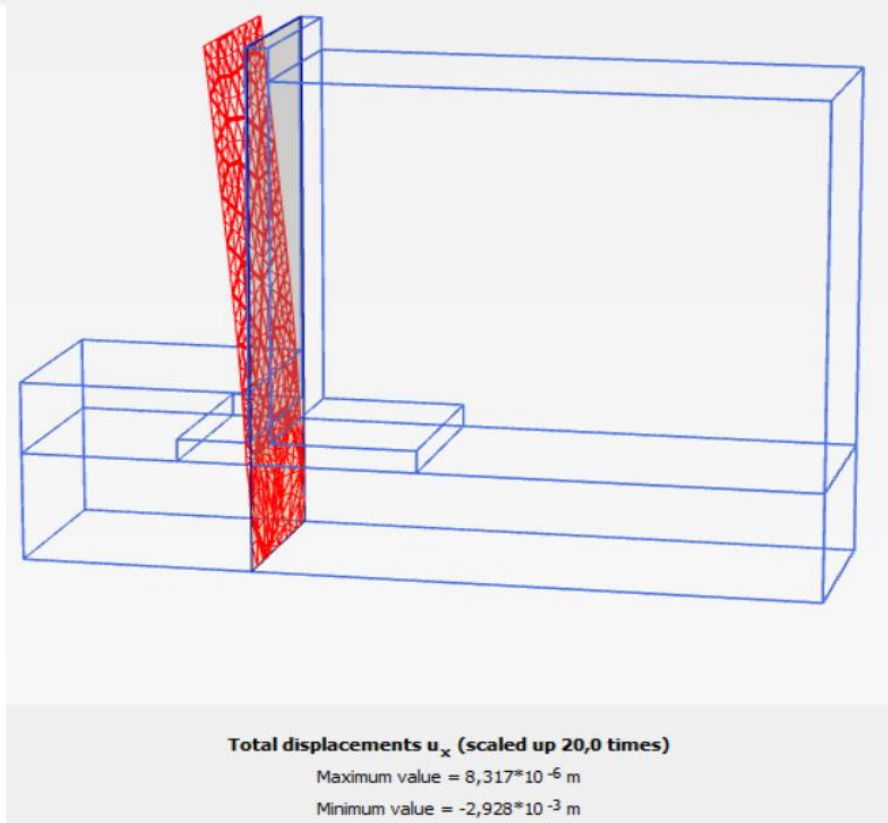
Plaxis 3D programında geri dolgusunda %20 GDBA + %80 DA bulunan istinat duvarı için geri dolgusu üzerine uygulanan 80 kPa düşey gerilme etkisi altında istinat duvarında yatayda 2,928 mm, düşeyde ise 6,063 mm'lik deformasyon gözlenmiştir. Aynı oranlarda karışım için laboratuvar da yapılan deneyler de ise yatayda 1,87 mm, düşeyde ise 6,6 mm'lik deformasyonlar ölçülmüştür. Aradaki farkın laboratuvar deneyi esnasında geri dolgu yerleştirilmesi sırasında bazı noktalarda homojen dağılımın sağlanamaması, yük- deformasyon ölçümlerinde bazı gecikmelerin oluşması gibi nedenlerden dolayı meydana geldiği düşünülmektedir (Şekil 4.45, 4.46, 4.47, 4.48, 4.49).



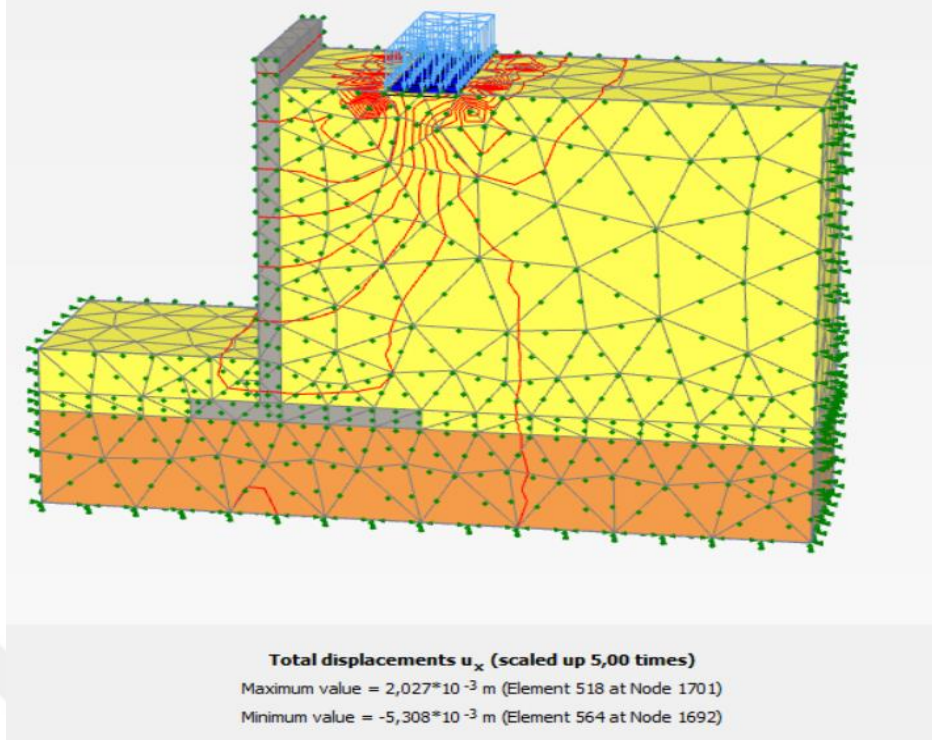
Şekil 4.45. Geri dolgusu %20 GDBA + %80 DA olan durum için yükleme altında oluşan deformasyonlar



Şekil 4.46. Geri dolgusu %20 GDBA + %80 DA olan durum için yük altında düşey gerilme soğanları



Şekil 4.47 Geri dolgusunda %20 GDBA + %80 DA bulunan istinat duvarının yanal zemin basıncı altında oluşan yatay deplasmanı için kesit görünümü



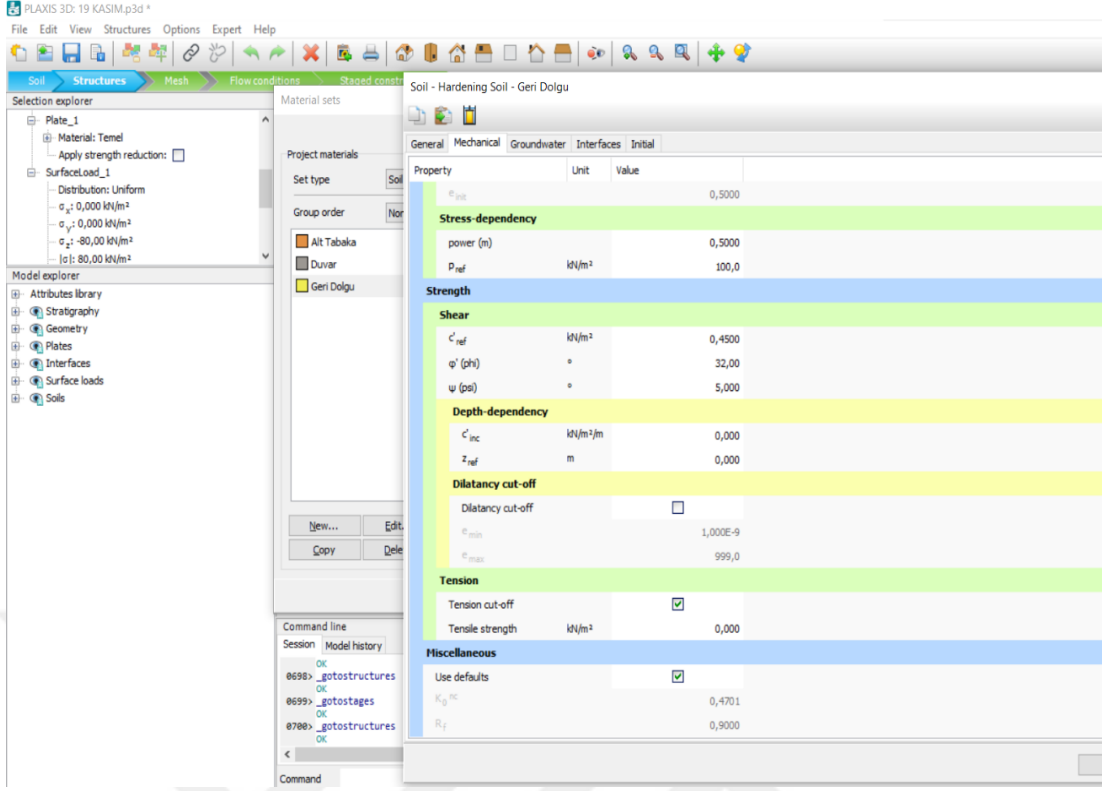
Şekil 4.48 Geri dolgusu %20 GDBA + %80 DA olan istinat duvarında düşey yükleme durum altında oluşan yatay gerilme soğanları

4.3.3. Geri dolgu malzemesi %40 GDBA + %60 DA olan durumda Plaxis 3D analizleri

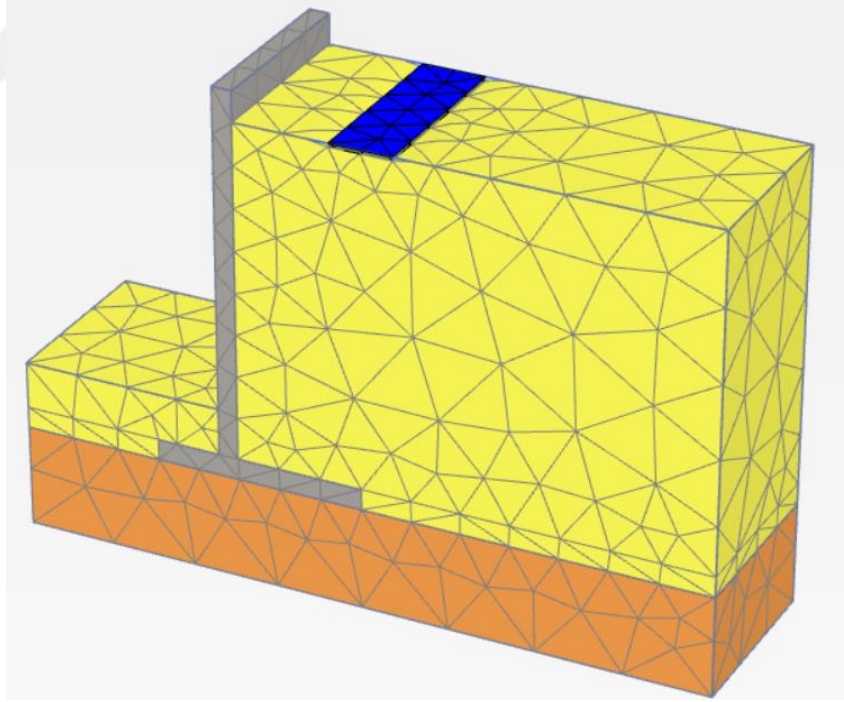
Geri dolgu malzemesi olarak %40 GDBA + %60 DA kullanılan istinat duvarının düşey yükleme durumunda davranışının incelenmesi için Plaxis 3D programında kullanılan zemin ve duvar parametreleri Çizelge 4.17’de verilmiştir. Sistem 80 kPa değerine kadar yüklenmiş, oluşan yatay ve düşey deformasyonlar ölçülmüştür. Sistem özellikleri ve oluşturulan sonlu elemanlar ağı (mesh) Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’da verilmiştir.

Çizelge 4.17. Geri dolgusu %40 GDBA+ %60 DA olan durum için zemin ve duvara ait parametreler

Betona ait özellikler	E (kN/m²)	27x10⁶
	γ (kN/m³)	22
	ν	0,15
Kum zemine ait özellikler	c (kN/m²)	0,45
	ϕ (°)	32,0



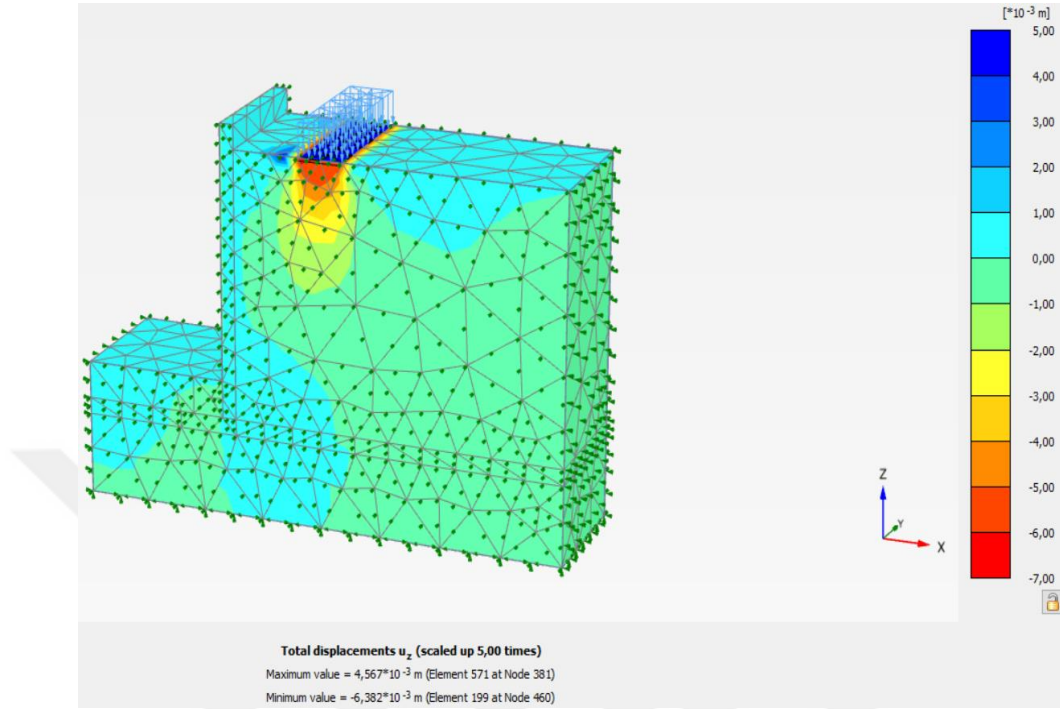
Şekil 4.49 Geri dolgusu %40 GDBA+ %60 DA olan durum için istinat duvarının modellenmesi ve materyal özellikleri



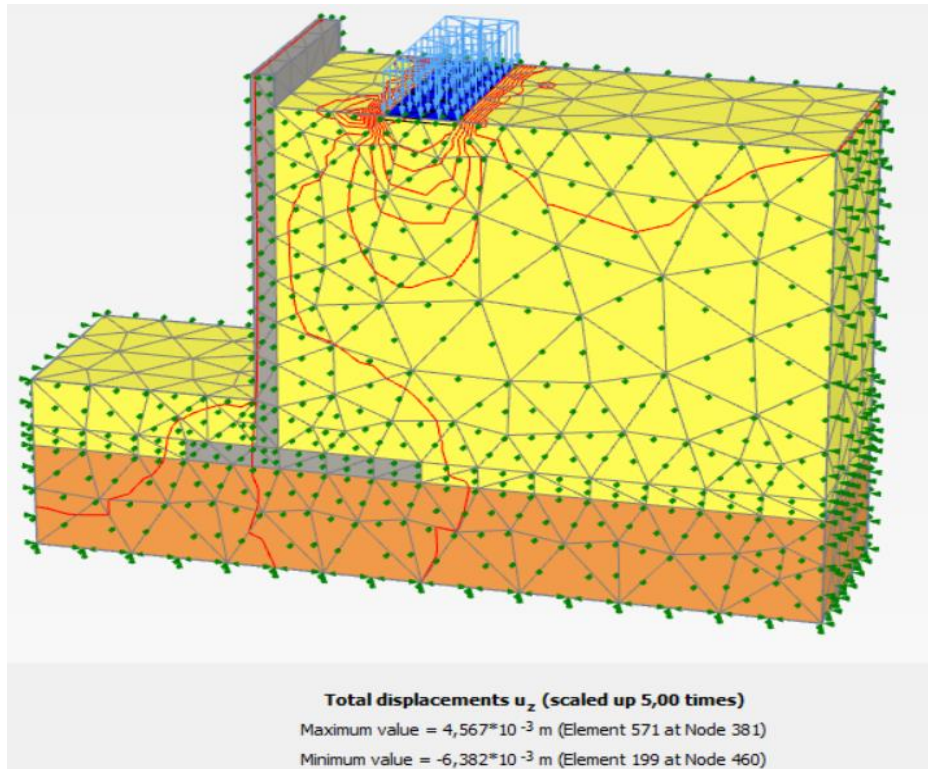
Şekil 4.50 Geri dolgusu % 40GDBA + %60 DA olan durum için sonlu elemanlar ağı (mesh)

Plaxis 3D programında yapılan analizlerde; geri dolgusunda %40 GDBA + %60 DA bulunan istinat duvarı için 80 kPa'lık düşey gerilme etkisi altında duvarda yatayda

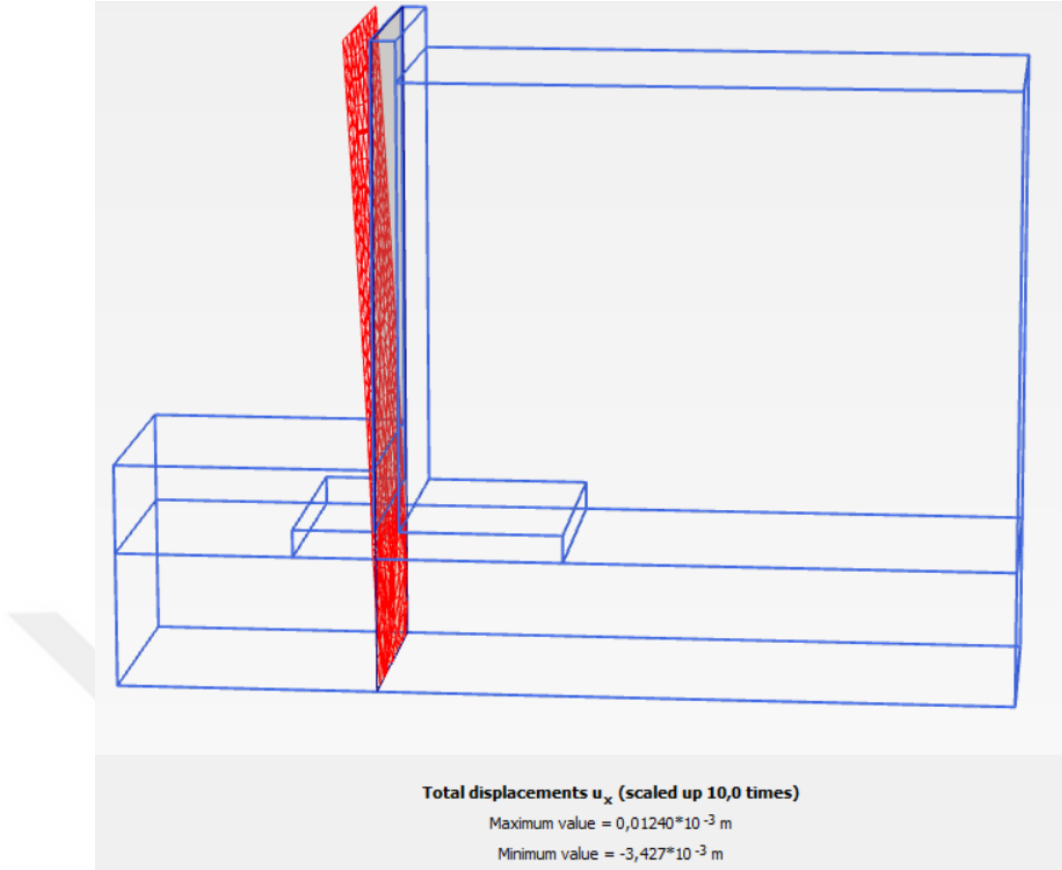
3,427 mm, düşeyde ise 6,382 mm’lik deformasyon gözlenmiştir. Aynı oranlarda karışım için laboratuvar da yapılan deneyler de ise yatayda 2,265 mm, düşeyde ise 6,3 mm’lik deformasyonlar ölçülmüştür (Şekil 4.51, 4.52, 4.53, 4.54).



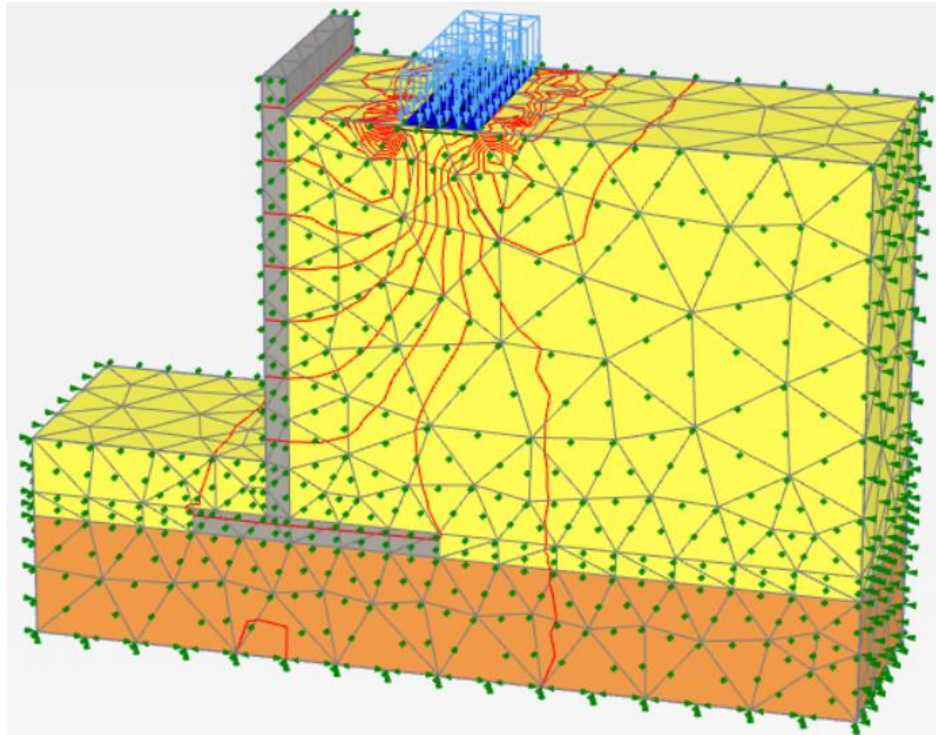
Şekil 4.51 Geri dolgusu %40 GDBA + % 60 DA olan durum için yük altında sistem görünümü



Şekil 4.52. Geri dolgusu %40 GDBA + %60 DA olan durum için yük altında düşey gerilme soğanları



Şekil 4.53. Geri dolgusunda %40 GDBA + %60 DA bulunan istinat duvarının yanal zemin basıncı altındaki yatay deplasmanı için kesit görünümü



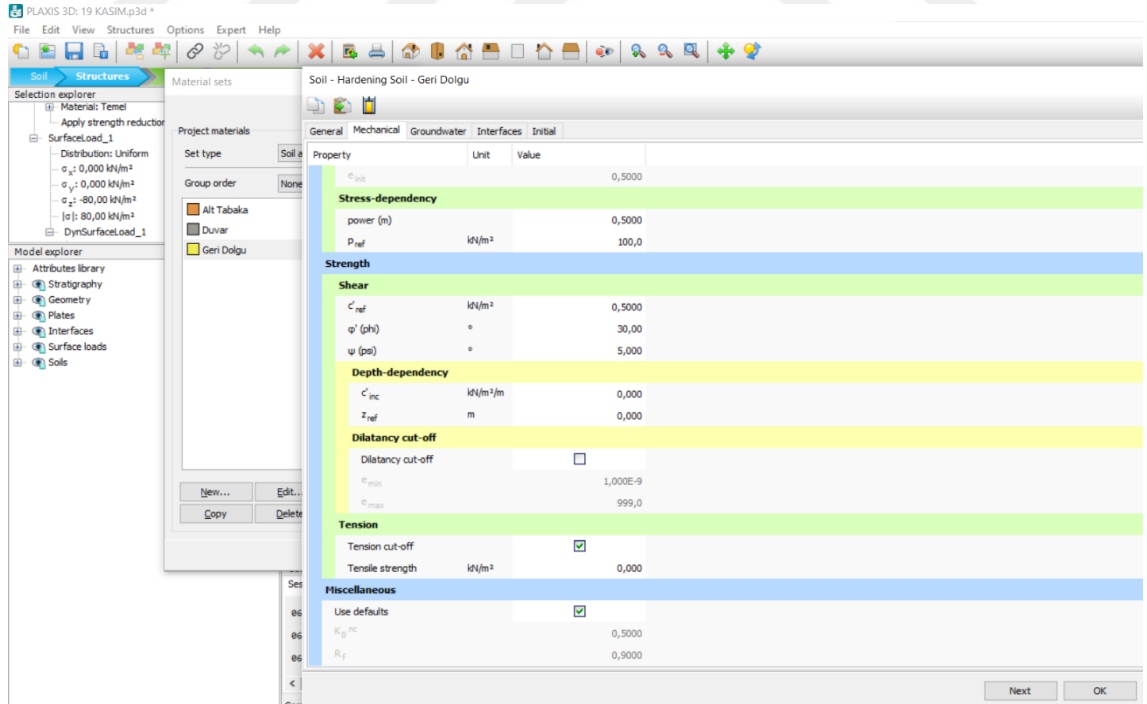
Şekil 4.54 Geri dolgusu %40 GDBA + % 60 DA olan durum için yük altında yatay gerilme soğanları

4.3.4. Geri dolgu malzemesi %60 GDBA + %40 DA olan durumda Plaxis 3D analizleri

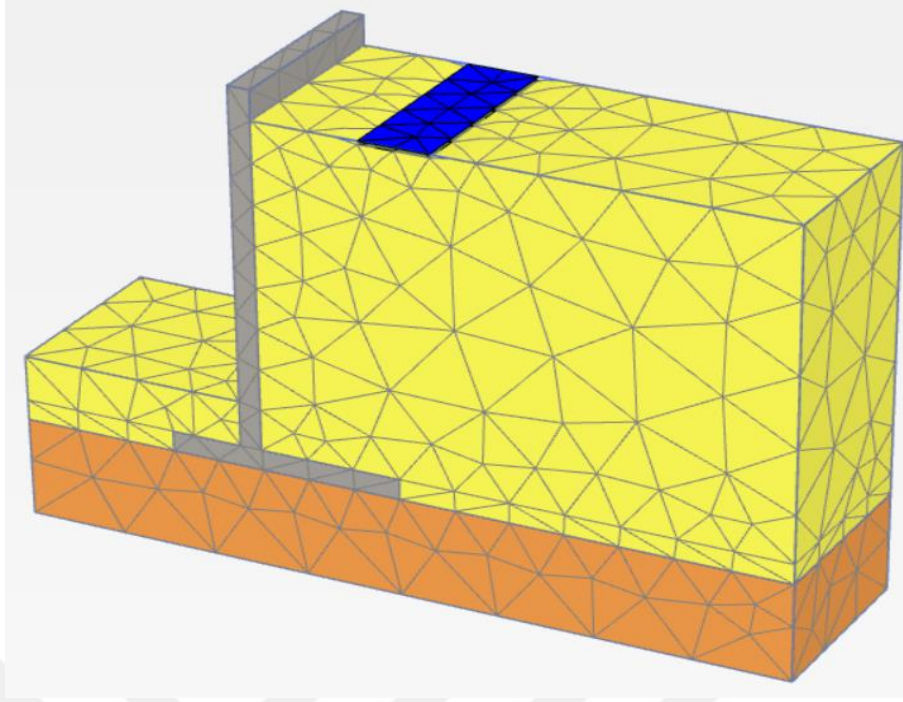
Geri dolgu malzemesi olarak %40 GDBA + %60 DA kullanılan istinat duvarının analizi için Plaxis 3D programında kullanılan zemin ve duvar parametreleri Çizelge 4.18’de verilmiştir. Sistem 80 kPa değerine kadar yüklenmiş, oluşan yatay ve düşey deformasyonlar ölçülmüştür. Temel zemini sıkı kum olarak tanımlanmıştır. Sistem özellikleri ve oluşturulan sonlu elemanlar ağı (mesh) Şekil 4.55 ve Şekil 4.56’da verilmiştir.

Çizelge 4.18. Geri dolgusu %60 GDBA + %40 DA olan durum için zemin ve duvara ait parametreler

Betona ait özellikler	E (kN/m²)	27x10⁶
	γ (kN/m³)	22
	ν	0,15
Kum zemine ait özellikler	c (kN/m²)	0,50
	φ (°)	30



Şekil 4.55. Geri dolgusu %60 GDBA- %40 DA olan durum için duvarın modellenmesi ve materyal özellikleri



Şekil 4.56. Geri dolgusu % 60 GDBA+ %40 DA olan durum için sonlu elemanlar ağı (mesh)

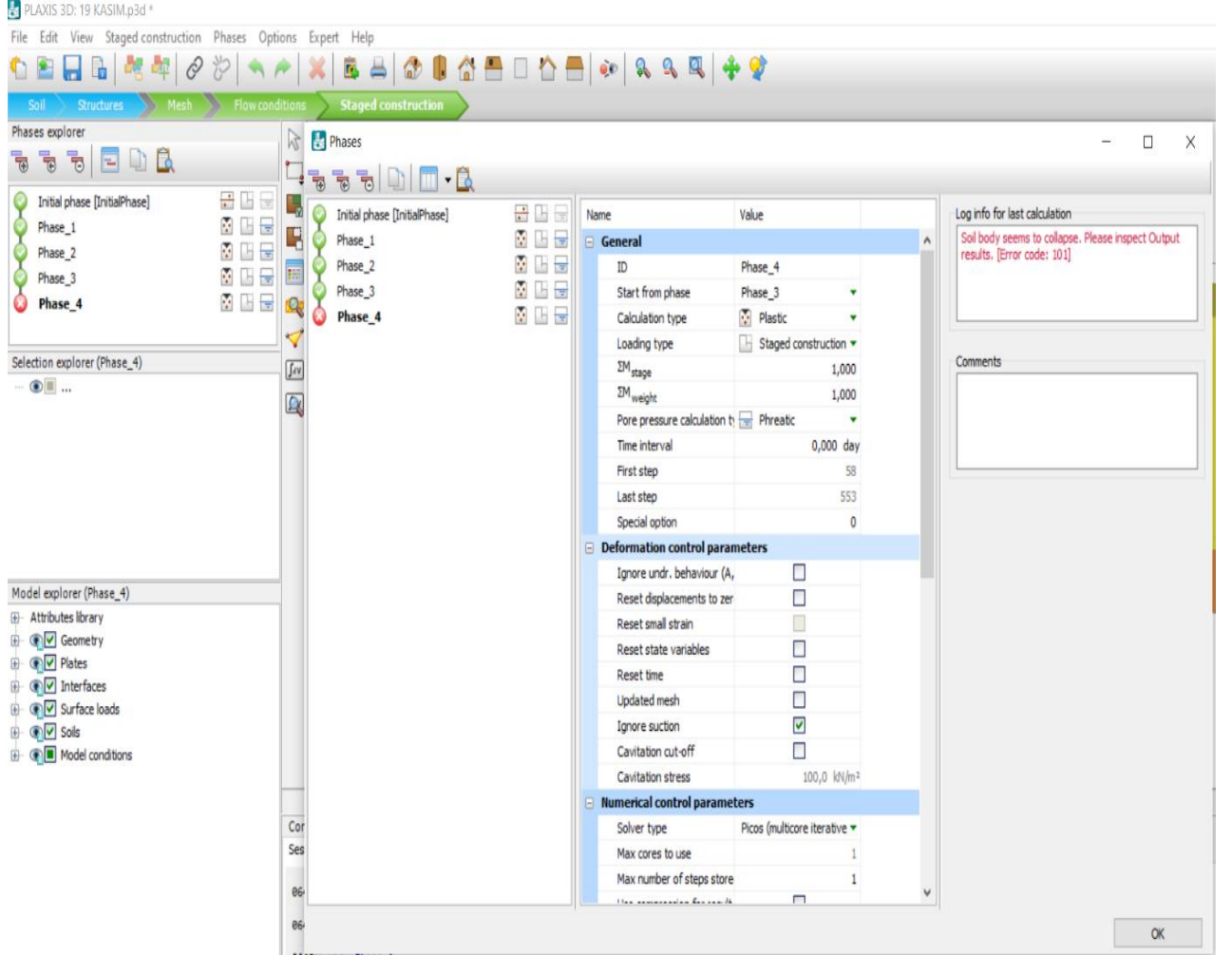
Plaxis 3D programından geri dolgunda %60 GDBA + %40 DA bulunan istinat duvarı geri dolgusuna uygulanan 80 kPa gerilme ile, istinat duvarında yatayda 6,056 mm ve düşeyde 10,22 mm'lik deformasyon gözlenmiştir. Aynı oranlarda karışım için laboratuvar da yapılan deneyler de ise yatayda 6,55 mm, düşeyde ise 12,1 mm'lik deformasyonlar ölçülmüştür.

Plaxis 3D programında geri dolgusunda %60 GDBA + %40 DA olan istinat duvarı için yapılan analizlerde deformasyon değerlerinin yüksek olduğu ve bu nedenle sistemin çöktüğü gözlemlenmiştir (Şekil 4.57). Sistemin çökmesinden ve deformasyon değerlerinin yüksek seviyelerde olmasından dolayı, geri dolgudaki GDBA'nın daha fazla oranda artması deformasyon değerlerinde önemli artışlar göstereceğinden dolayı deneye bu karışım oranları için son verilmiştir.

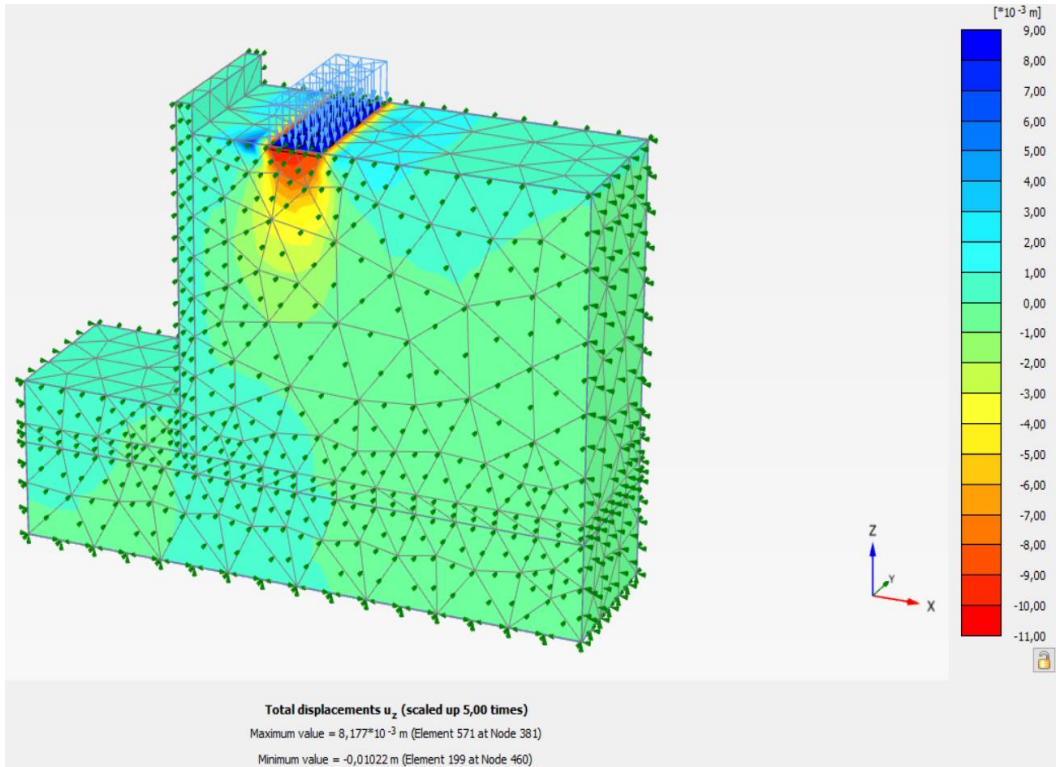
Plaxis 3D programıyla yapılan tüm analizler birlikte ele alındığında; laboratuvar da yapılan yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlarla paralellik gösterdikleri görülmektedir. GDBA miktarı arttıkça zemin taşıma gücünde ve deformasyonda azalmalar görülmektedir. Yatay ve düşey deformasyonlar ile izin verilebilir deformasyon değerleri dikkate alındığında geri dolguda %20 - 40 aralığında GDBA bulunan zemin için en uygun değerler elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.58, 4.59, 4.60, 4.61, 4.62).

Laboratuvar deneyleri ve Plaxis 3D programından elde edilen verilerden yola çıkarak %60 GDBA + % 40 DA için deformasyonların yüksek değerlerde olduğu ve bu

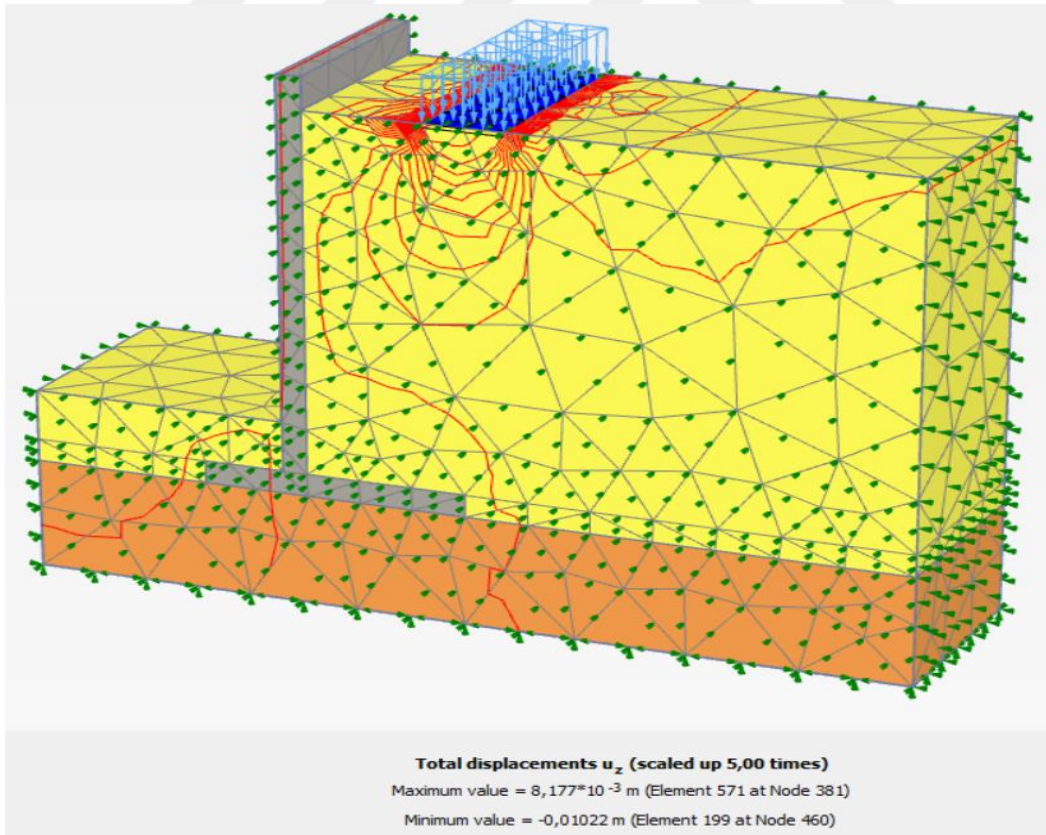
durumda bu sistemin kullanılamayacağı görülmüştür. Bu oranlardaki zemin karışımına geotekstil donatı ilave edilerek sistemde oluşan iyileşmeleri ve geotekstilin sistemde nasıl çalıştığı, ne oranda zeminde iyileştirme yaptığı ve deformasyonların kaç mm'ye düşeceğini gözlemlemek amacıyla analizler yapılmıştır.



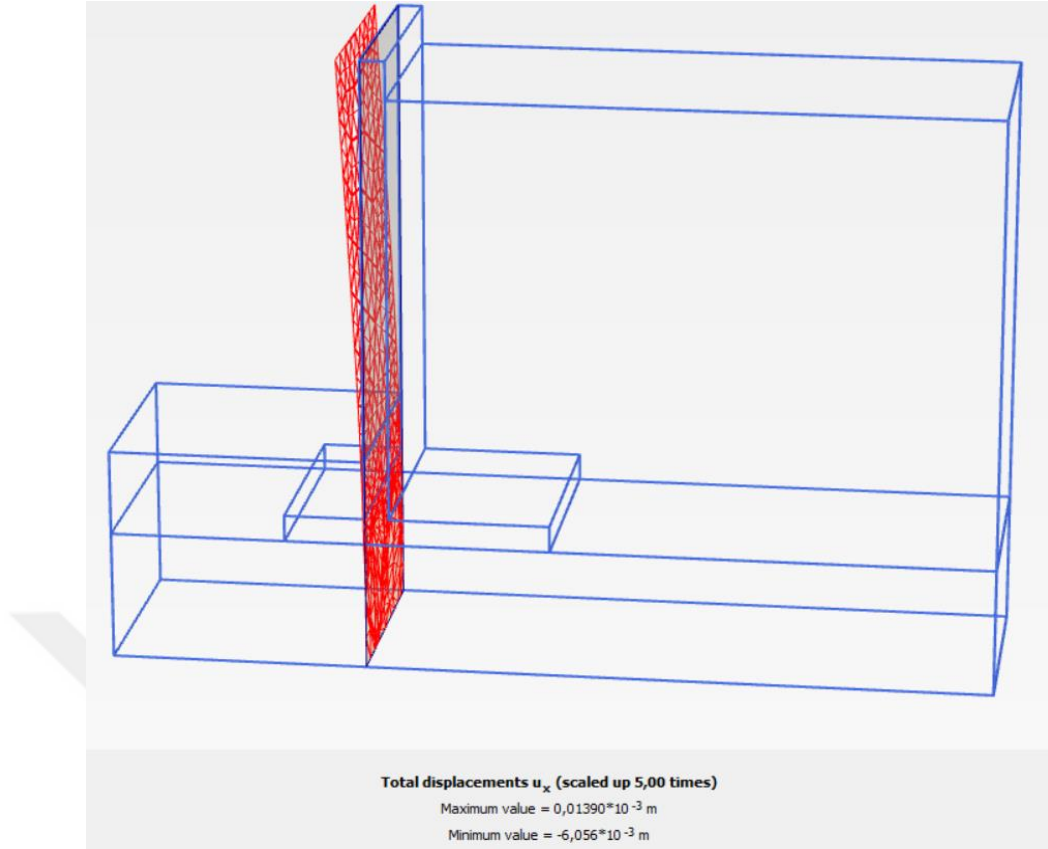
Şekil 4.57. Geri dolgusunda %60 GDBA +%40 DA olan zemin çökme uyarısı



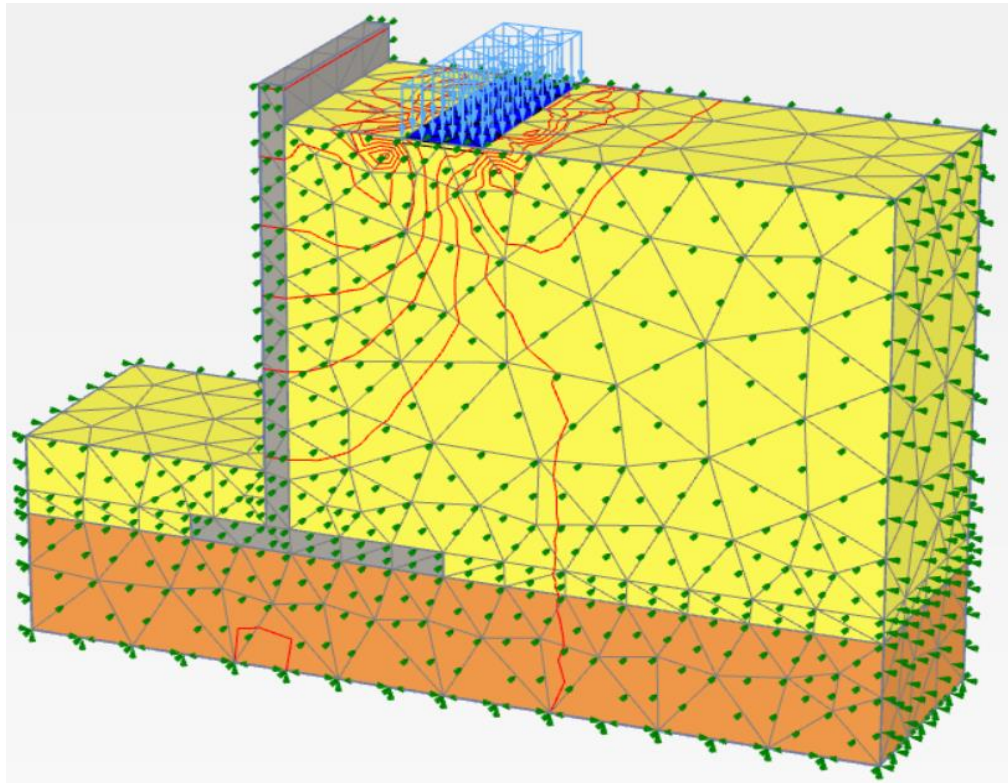
Şekil 4.58. Geri dolgusunda %60 GDBA +%40 DA olan zeminde oluşan düşey deformasyonlar



Şekil 4.59. Geri dolgusunda %60 GDBA + %40 DA olan durum için yük altında oluşan düşey gerilme soğanları



Şekil 4.60. Geri dolgusunda %60 GDBA + %40 DA bulunan duvarın yanal zemin basıncı altındaki yatay deplasmanı için kesit görünümü



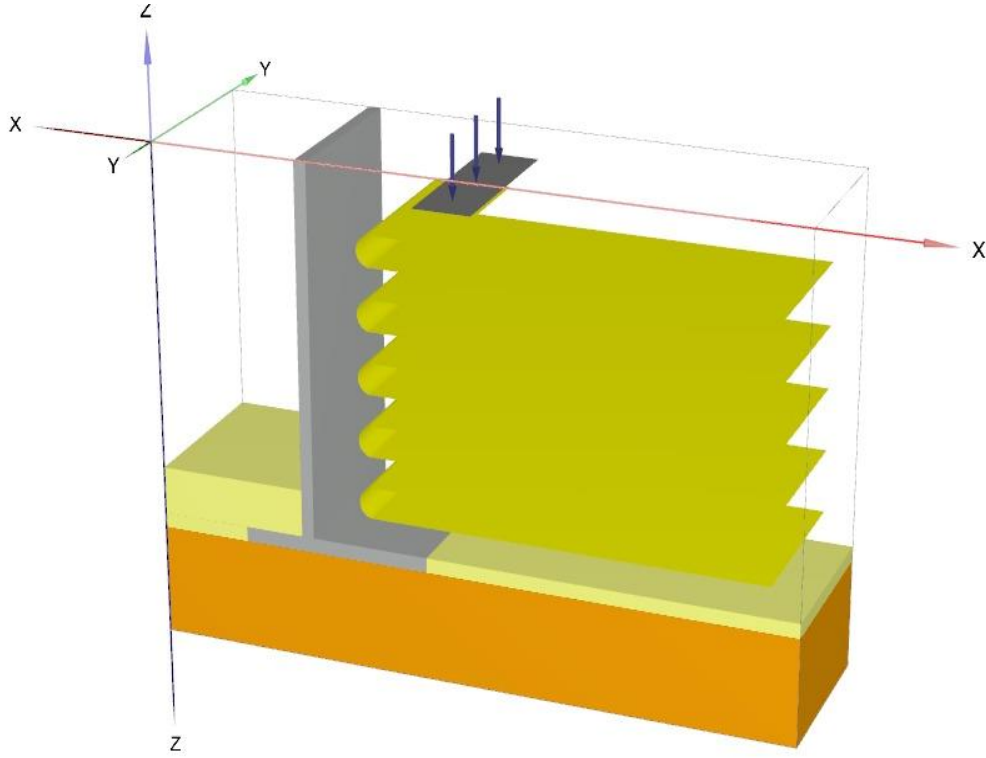
Şekil 4.61. Geri dolgusu %60 GDBA+ %40 DA olan durum için yük altında yatay gerilme soğanları

4.3.5. Geri dolgu malzemesi %60 GDBA + %40 DA + Geotekstil donatı olan durumda Plaxis 3D analizleri

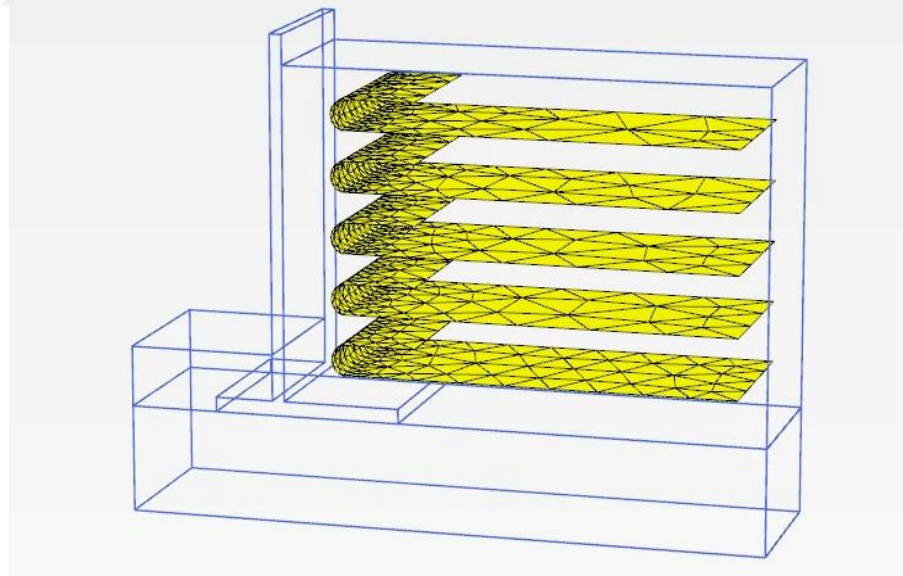
Geri dolgusunda %60 GDBA + %40 DA bulunan istinat duvarı arkasındaki zemin Plaxis 3D programında modellenip düşeyde 80 kPa yük verildiğinde sistem çökmüştür. Sistemin güvenli hale gelebilmesi, bu geri dolgu üzerine uygulanan yükü taşıyabilmesi, geotekstil donatının istinat duvarı arkasında nasıl çalıştığının ve ne oranda sistemde iyileştirme yaptığının gözlemlenebilmesi amacıyla istinat duvarı geri dolgusuna geotekstil donatı eklenip Plaxis 3D programında çözümlenmiştir. Geotekstil donatıya ait parametreler Çizelge 4.19’da verilmiştir. İstinat duvarı geri dolgusundaki yükleme deneyi için yapılan Plaxis 3D analizlerinde materyal özelliklerine ait ekran görüntüleri ve sonlu elemanlar ağı (mesh) Şekil 4.62 ve Şekil 4.63’te verilmiştir. İstinat duvarı arkasındaki geri dolgu zeminin altındaki ve duvar temelinin oturduğu zemin sıkı kum olarak hazırlanmış ve geri dolgu üzerinde 135 kPa’ a kadar yükleme yapılmıştır. Yükleme sonucunda yatay ve düşey deformasyonlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.19 Geri dolgusu %60 GDBA + %40 DA + geotekstil donatı olan durum için zemin, geotekstil ve duvara ait parametreler

	E (kN/m ²)	27x10 ⁶
	γ (kN/m ³)	22
Betona ait özellikler	ν	0,15
Zemine ait parameteler	c (kN/m ²)	0,50
	φ (°)	30,0
Geotekstile ait özellikler	EA (kN/m ²)	10



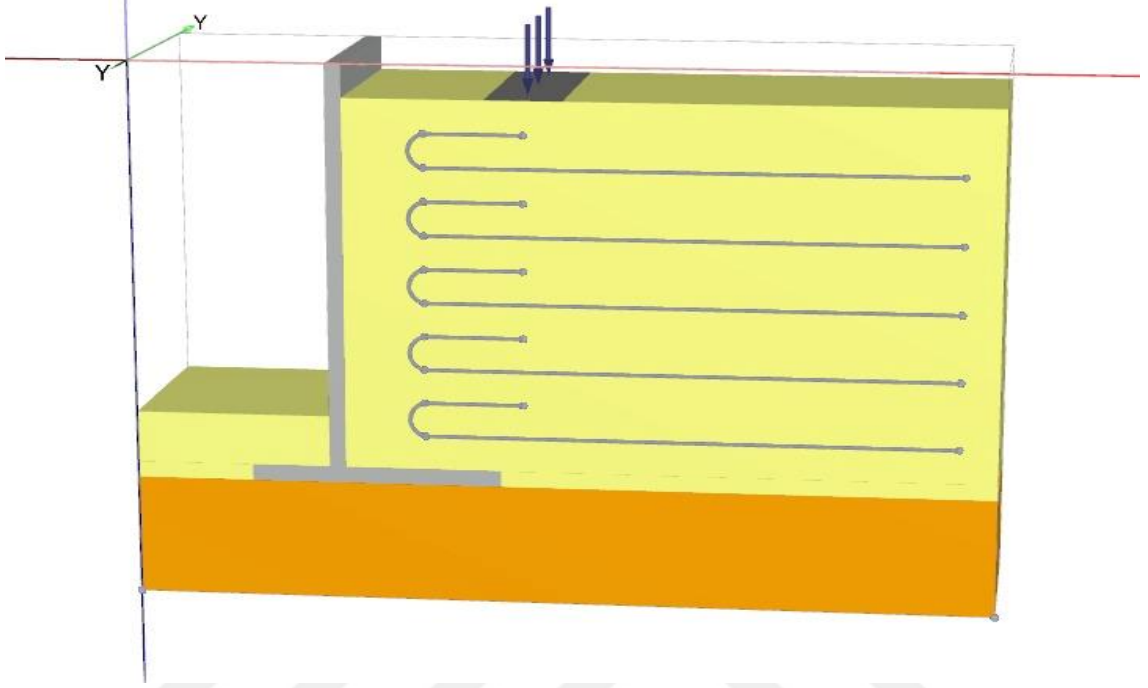
Şekil 4.62. Geri dolgusu %60 GDBA- %40 DA + geotekstil donatı olan durum için modelleme ve materyal özellikleri



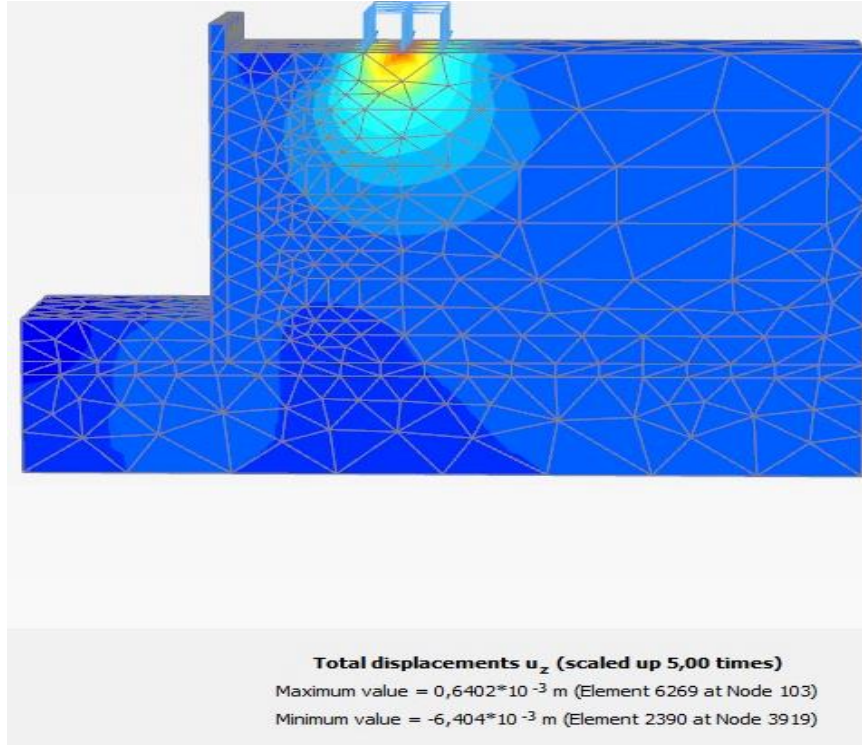
Şekil 4.63. Geri dolgusu %60 GDBA + %40 DA + geotekstil donatı olan istinat duvarı durumunda geotekstilller için sonlu elemanlar ağı

Plaxis 3D programından gelen veriler doğrultusunda %60 GDBA + %40 DA+ geotekstil içeren geri dolgunun 135 kPa sürşarj yükü altında yataydaki maksimum deformasyon değeri 2,463 mm, düşeyde ise 6,250 mm'dir. Aynı oranlarda karışım için

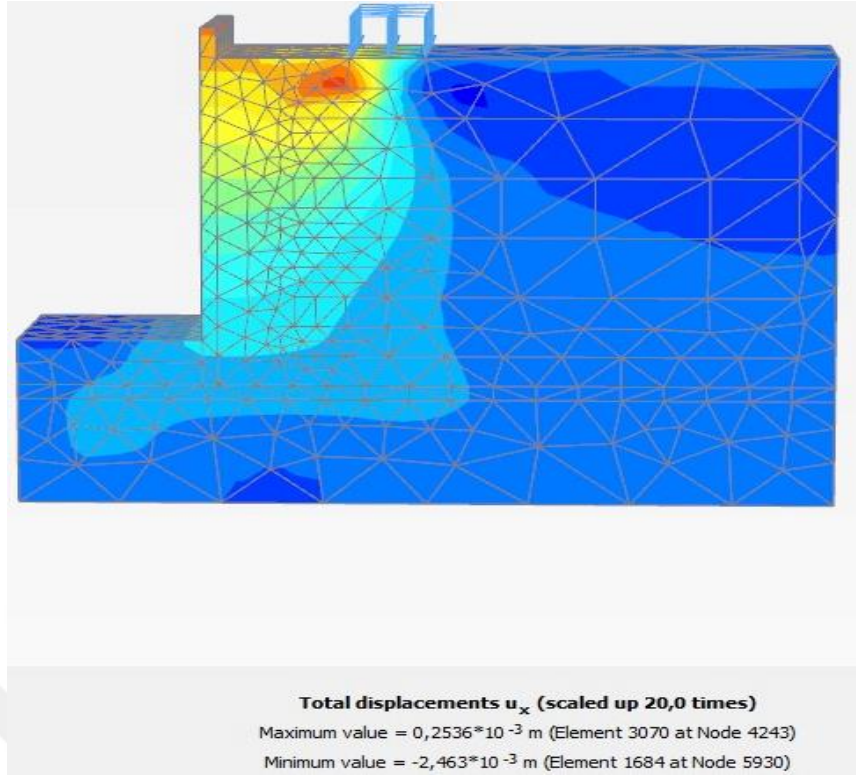
laboratuvar da yapılan deneyler de ise yatayda 2,1 mm, düşeyde ise 5,75 mm'lik deformasyonlar ölçülmüştür. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar Plaxis 3D programı analizlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında sonuçların birbirlerine yakın değerler olduğu görülmüştür (Şekil 4.64, 4.65, 4.66, 4.67, 4.68).



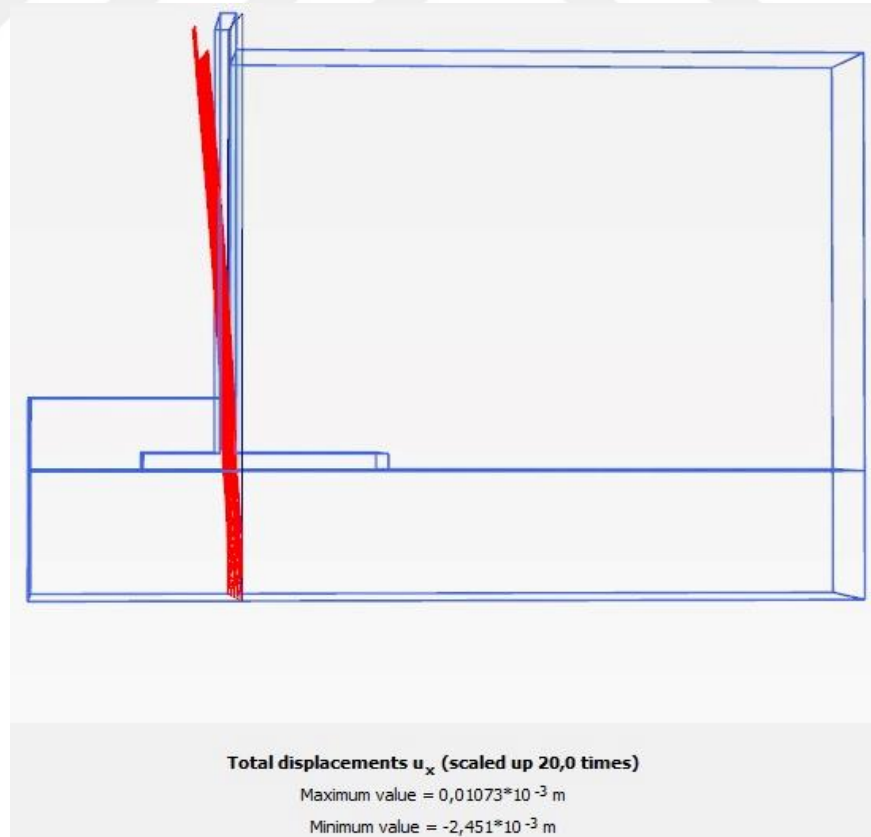
Şekil 4.64. Tank içerisine yerleştirilen geotekstil donatının sistem yan görünümü



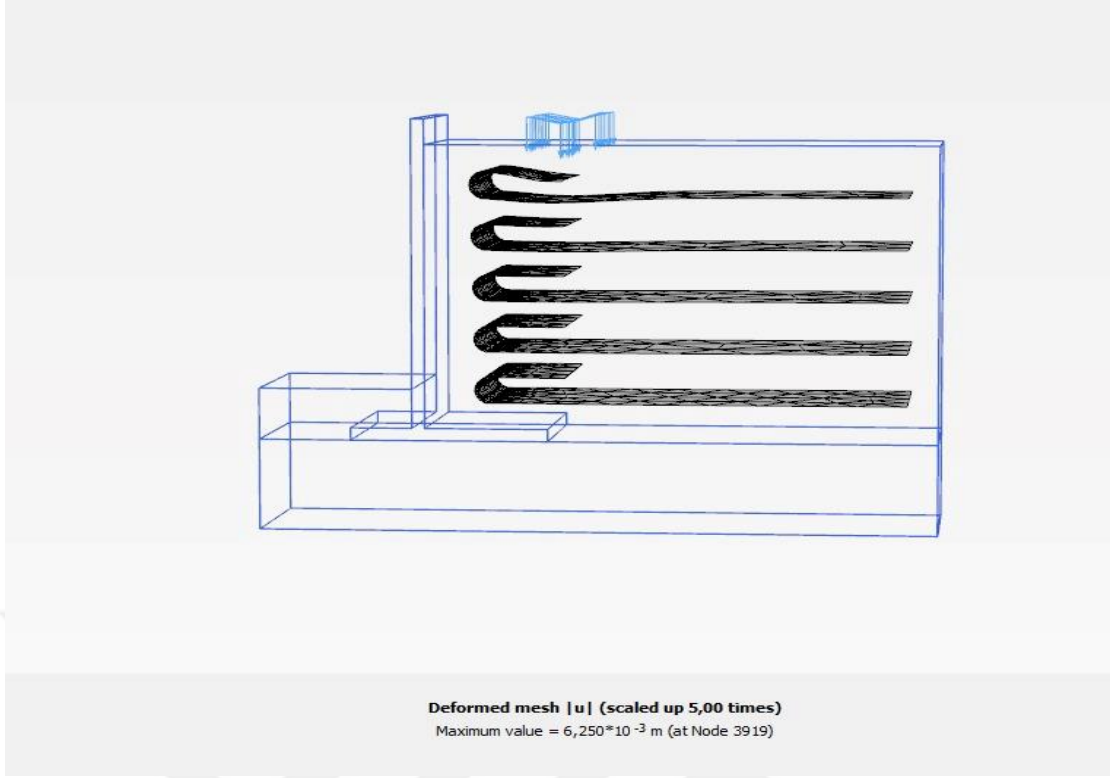
Şekil 4.65. Geri dolgusu %60 GDBA+ %40 DA + geotekstil donatı olan istinat duvarı arkasında oluşan toplam düşey deformasyonlar



Şekil 4.66. Geri dolgusu %60 GDBA+ %40 DA + geotekstil donatı olan durumda istinat duvarı arkasında oluşan toplam yatay deformasyonlar



Şekil 4.67.. Geri dolgusunda %60 GDBA + %40 DA+ Geotekstil tabaka bulunan duvarın yanal zemin basıncı altındaki yatay deplasmanı için kesit görünümü



Şekil 4.68. Geri dolgusu %60 GDBA + %40 DA + geotekstil donatı olan istinat duvarı arkasındaki geotekstillerin yük altındaki deformasyonları

Çizelge 4.20. Yükleme deneyleri ile PLAXIS analizlerinin kıyaslanması

Geri dolgu malzemesi	Max Gerilme (kPa)	Yatay deformasyon (Lab. Deney, mm)	Yatay deformasyon (Plaxis 3D, mm)
Doğal Kum (%100 DA)	80	2,21	2,61
%20 GDBA + %80 kum	80	1,87	2,93
%40 GDBA+ %60 kum	80	2,27	3,43
%60 GDBA + %40 kum	80	6,55	6,57
%60 GDBA+ %40 kum + geotekstil	135	2,10	2,46

Plaxis 3D ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında bir miktar fark olduğu görülmektedir. Bu farkın laboratuvar deneyi esnasında geri dolgu yerleştirilmesi sırasında bazı noktalarda homojen dağılımın sağlanamaması, yük-deformasyon ölçümlerinde bazı gecikmelerin olması gibi nedenlerden dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan analizler ve yüklemeler sonucunda istinat duvarı geri dolgusunda %20 GDBA karışım oranı için zemin taşıma gücünün %100 DA'ya benzer olduğu, yatay deformasyonun daha az olduğu görülmektedir. Düşeyde ise malzeme boyutunun küçülmesinden dolayı deformasyonda bir miktar artma olduğu gözlemlenmiştir. Geri dolguda %40 GDBA kullanılan karışımda ise yine yatay deformasyonun %100 kum

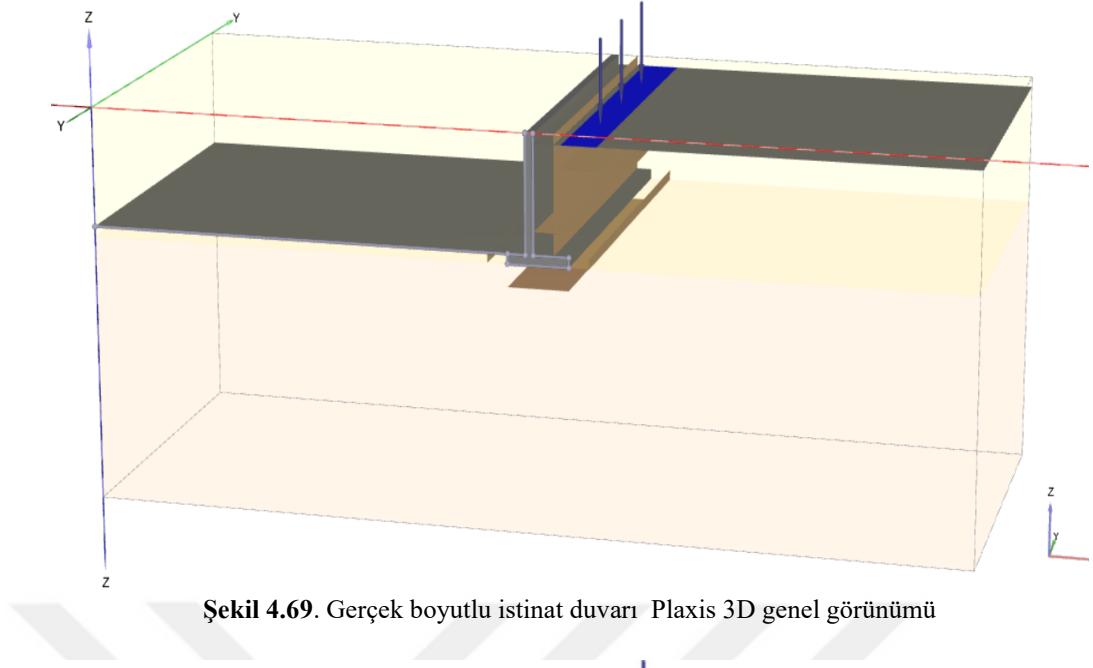
malzemeye yakın olduğu, düşeyde ise bir miktar artma olduğu gözlemlenmiştir. Buradan geri dolgu malzemesi olarak %100 kum kullanmak yerine %20-40 oranlarında GDBA kullanılmasının yatay ve düşey deformasyonlar ile taşıma gücü açısından bir olumsuzluğa sebep olmadığı ve benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Geri dolgu malzemesinde %60 miktarında GDBA kullanılan dolgu durumunda, sistemdeki yatay ve düşey deformasyonların fazla olduğu, sistemde yeterli taşıma gücüne ulaşamadığı ve Plaxis 3D programında yapılan deneylerde ise sistemin çöktüğü görülmüştür. Bu malzemeyi güçlendirmek amacıyla geotekstil donatı kullanıldığında ise sonuçların %100 Kum malzemeye çok yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

Xiao ve Falkner (2005), GDBA ve doğal kum ile yaptıkları bir araştırmada karışımda GDBA'nın %40 oranından fazla olması halinde dayanımın azaldığı ancak GDBA'nın %20-30 aralığında kullanılması durumunda dayanımın azalmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu seviyelerden sonra ise GDBA'nın artması halinde dayanımda azalma olduğunu belirtmişlerdir.

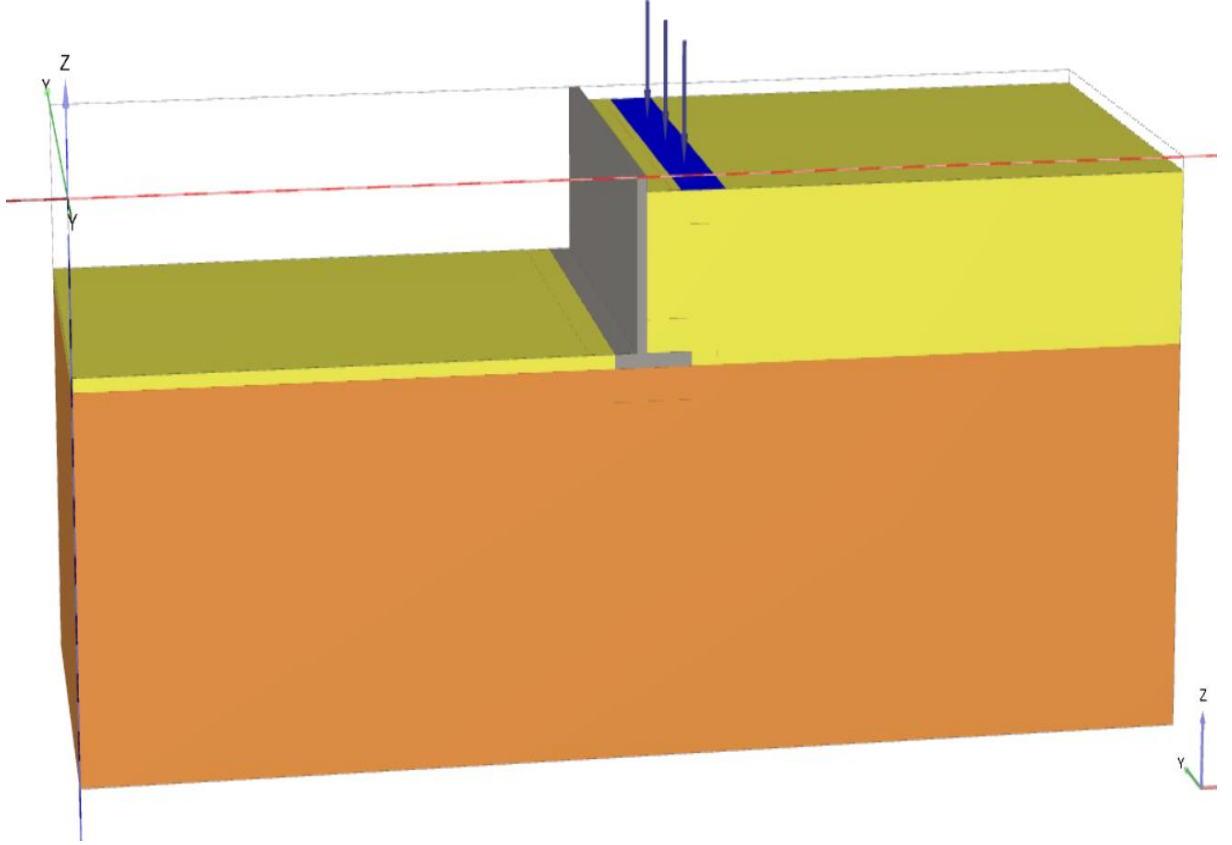
Plaxis 3D programında yapılan analizler ve laboratuvar da yapılan yükleme deneylerinde elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Hem program analizleri hem de laboratuvar da yapılan deneyler sonucunda optimum GDBA oranının %20-40 arasında olmasının uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Geri dolgu malzemesi içerisinde geotekstil donatı kullanılması halinde ise %60 GDBA'nın kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

4.3.6. Geri Dolgu Malzemesi %20 GDBA + %80 DA Karışımı için Gerçek Boyutlu İstinat Duvarında Yapılan Plaxis 3D Yükleme Analizleri

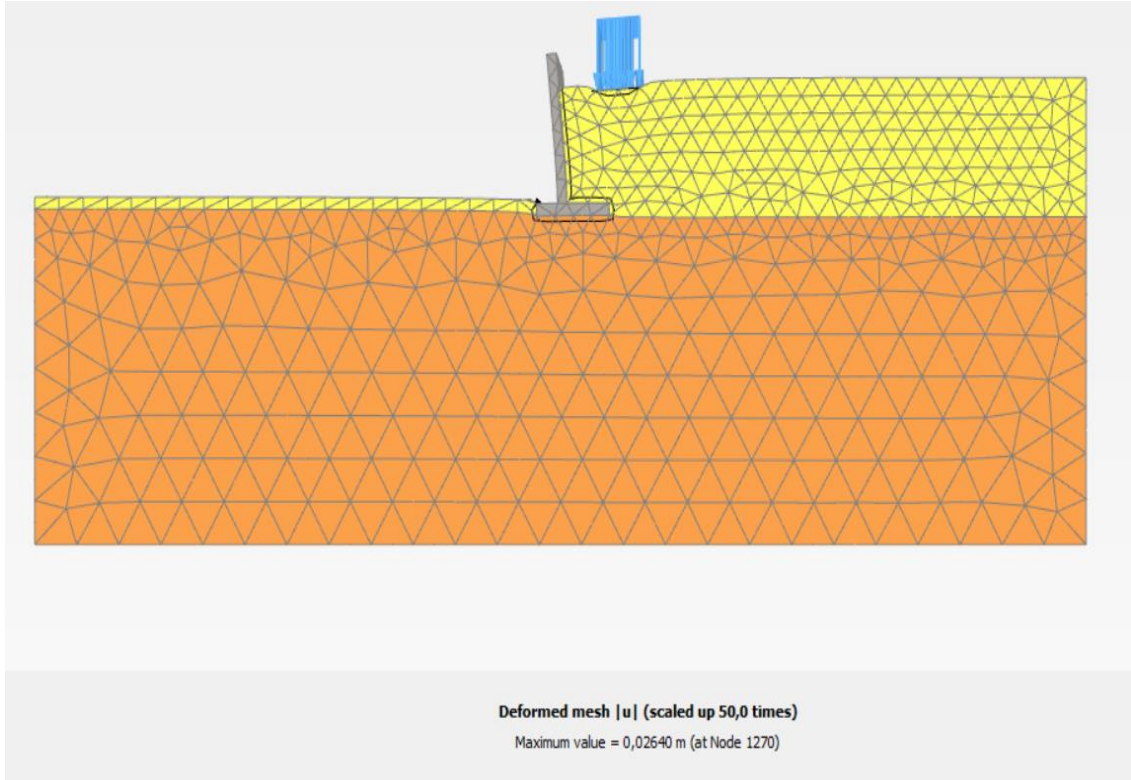
Yapılan laboratuvar deneylerinde geri dolgu malzemesi %20 GDBA + %80 DA karışımı optimum geri dolgu malzemesi olarak belirlenmiştir. Buna göre istinat duvarı Şekil 3.71'deki gerçek istinat duvarı boyutlarına göre modellenmiştir. Laboratuvar deneylerinde belirlenen malzeme özellikleri gerçek boyutlarda ki istinat duvarı arkası dolgu malzemesi için de kullanılmıştır. Buna göre Plaxis 3D programında istinat duvarı için yapılan modelleme için yükleme analizleri gerçekleştirilmiştir.(Şekil 4.69,4.70,4.71,4.72)



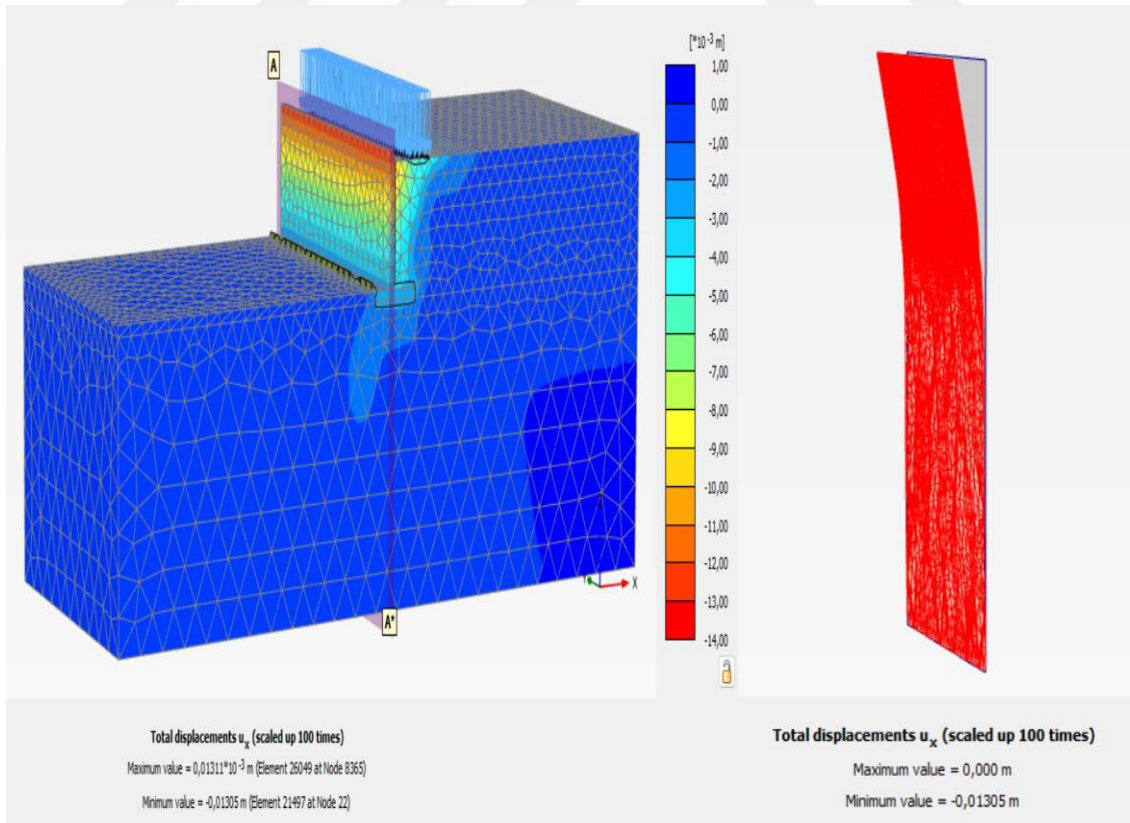
Şekil 4.69. Gerçek boyutlu istinat duvarı Plaxis 3D genel görünümü



Şekil 4.70. Gerçek boyutlu istinat duvarı Plaxis 3D genel görünümü



Şekil 4.71. %20 GDBA + %80 DA için gerçek boyutlu istinat duvarında düşey deformasyon



Şekil 4.72. %20 GDBA + %80 DA için gerçek boyutlu istinat duvarında yatay deformasyon

Gerçek boyutlardaki istinat duvarı için Plaxis 3D programında yapılan yükleme analizi deneyleri sonucunda yatayda 1.305 cm düşeyde ise 2.6 cm deplasman değeri ölçülmüştür.

Çizelge 4.21. Laboratuvar ölçekli deneylerde elde edilen sonuçların ve gerçek boyutlu istinat duvarı (Plaxis 3D) analizleri sonuçlarının kıyaslanması

Geri dolgu malzemesi	Max Gerilme (kPa)	Yatay deplasman (Plaxis 3D, mm)	Düşey deformasyon (Plaxis 3D, mm)	(İzin verilen yanal deplasman-ÇŞİB Yönetmelik) Kazı derinliği/100 (mm)
Lab. Ölçekli Duvar %20 GDBA + %80 DA	80	2,928	6,03	6
Gerçek Boyutlu Duvar . %20 GDBA + %80 DA	80	13.05	26	60

Geri dolgu malzemesi %20 GDBA + %80 DA karışımı için gerçek boyutlu ve laboratuvar boyutlu istinat duvarında yapılan yükleme deneyi sonuçları Çizelge 4.21. de verilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde sonuçların birbirlerine benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yayımladığı Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Yönetmeliği Madde 2.12.9. a göre: : Konsol destek sistemlerinde meydana gelecek yanal deplasmanlar için $\delta_h = 0.010H$ (kazı derinliğinin yüzde biri) değeri bir üst limit olarak kabul edilmektedir. Yanal deplasmanlar bu değeri aşmayacak şekilde projelendirme yapılmalıdır. Bu maddeye göre ölçeklendirilmiş istinat duvarı için kazı derinliği/100 değeri 6 mm'den düşük: gerçek istinat duvarı boyutunda ise kazı derinliği/100 değeri 60 mm'den düşük olmalıdır. İstenilen bu sınır yanal deplasman şartları hem laboratuvar hem de gerçek boyutlu istinat duvarı için sağlanmaktadır (Çizelge 4.21).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında; model deneylerle araştırılması amacıyla geri dolgusunda geri dönüştürülmüş beton agregası (GDBA) kullanılan ve geotekstil ile güçlendirilerek laboratuvar boyutlarında ölçeklendirilmiş şekilde imal edilen istinat duvarı kullanılarak bir deneysel çalışma yürütülmüştür.

Laboratuvar deneyleri kapsamında Konya ili Selçuklu İlçesi Eğribayat kum ocağından temin edilen, USCS zemin sınıflandırma sistemine göre kötü derecelenmiş kum zemin (SP) olarak isimlendirilen zemin kullanılmıştır. İstinat duvarı arkası geri dolgu malzemesi olarak kum zemin ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılacak olan geri dönüşüm beton agregası (GDBA) parke taşlarından çeneli kırıcı yardımıyla kırılarak elde edilmiştir. Geri dolgu malzemesi olarak kullanılacak olan GDBA, kum zemin içerisine %20, 40, 60 miktarında ikame yöntemi uygulanarak ilave edilmiştir.

Geri dolgu malzemesi içerisinde GDBA miktarındaki artış, ince malzeme oranını artırdığından dolayı su emme kapasitesindeki artış ile optimum su içeriği artarken ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri azalmıştır. GDBA miktarındaki artışla ince malzeme miktarının artışına bağlı olarak optimum su muhtevasında hazırlanan karışımların içsel sürtünme açısı değerleri azalmıştır. GDBA oranı arttıkça birim hacim ağırlık değerindeki azalmanın, GDBA'nın doğal agregaya oranla daha hafif olması ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Laboratuvar ölçekli model deneylerinin yapılmasında kullanılan model istinat duvarının oluşturulmasında Konya ili Karapınar ilçesinde daha öncesinde projelendirilmiş olan bir istinat duvarının ölçütleri dikkate alınmıştır. Gerçek ölçekli betonarme istinat duvarının yüksekliği 1/10 sabit ölçek kabul edilerek ölçeklendirme yapılmış, böylelikle model istinat duvarının yüksekliği laboratuvar da bulunan tank boyutlarına uygun hale getirilmiştir. Ölçeklendirilmiş istinat duvarı betonarme olarak imal edilmiştir. Beton özelliklerini belirleyebilmek amacıyla 5x5x5 boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılan Serbest basınç deneylerinden; elastisite modülü 27000 MPa olarak bulunmuştur.

Laboratuvar da yapılacak deneyler için istinat duvarı geri dolgu malzemesi üzerine düşey yüklerin uygulanmasında 29x10 cm boyutlarında şerit temel kullanılmıştır. Yükleme işlemlerinde, 4 farklı orandaki karışım malzemesi içinde yük maksimum 80 kPa

olana kadar devam ettirilmiş, duvar arkasında oluşan max. yatay ve düşey deformasyonlar ölçülmüştür.

Geri dolgusunda;

- %100 oranında kum malzeme bulunan duvar arkasında yatayda 2,205 mm, düşeyde 4,85 mm,
- %20 GDBA + %80 kum malzeme bulunan duvar arkasında yatayda maksimum 1,87 mm, düşeyde 6,6 mm,
- %40 GDBA + %60 kum malzeme bulunan duvar arkasında yatayda maksimum 2,265 mm, düşeyde 6,3 mm,
- %60 GDBA + %40 kum malzeme bulunan duvar arkasında yatayda maksimum 6,55 mm, düşeyde 12,1 mm deformasyonlar ölçülmüştür.

Laboratuvar deneyinde duvar arkası geri dolgusunda %60 GDBA + %40 kum malzeme için deformasyonların fazla olduğu belirlenmiş ve bu karışım için duvar arkası dolgu tabakalarında her 5cm yükseklikte bir sıra olmak üzere geotekstil donatı takviyesi yapılmıştır. Yükleme işleminde 80 kPa değerine kadar yükleme yapılmış ancak deformasyonların az olması sebebiyle %100 kum numunede elde edilen deformasyon değerlerine ulaşmaya kadar yüklemeye devam edilmiş ve aynı deformasyon değerlerine 135 kPa yükleme seviyesinde ulaşılmıştır.

%60 GDBA + %40 Kum + Geotekstil donatı takviyesi kullanılarak oluşturulan duvar arkası geri dolgusu için,

- 80 kPa yükleme sonucunda yatayda maksimum 0,75mm, düşeyde 2,9mm
- 135 kPa yükleme sonucunda ise yatayda maksimum 2,1mm düşeyde ise 5,75 mm deformasyonların olduğu görülmüştür.

Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda istinat duvarı geri dolgusunda kullanılmak üzere elde edilen farklı karışımlardan optimum GDBA oranının %20-40 arasında olduğu durumlarda yatay ve düşey deformasyonların %100 kum malzemeyle benzerlik gösterdiği ve deformasyonlarda önemli artışlar görülmediği gözlemlenmiştir. GDBA'nın %40 miktarından fazla kullanılmasıyla da deformasyonlarda önemli artışlar gözlemlenmiştir. %60 GDBA içeren geri dolgu malzemesi ile kullanılan Geotekstil donatının sistemdeki çekme gerilmelerini aldığı, sisteme kazandırdığı sürtünme direnci ile deformasyonlarda önemli derecede iyileştirmeler sağladığı belirlenmiştir. Sonuçta; geri dolgu malzemesi olarak zeminle birlikte GDBA kullanılması durumunda Geotekstil donatı takviyesi ile daha işlevsel bir dolgu elde edilebildiği görülmüştür.

Ölçeklendirilmiş istinat duvarı ve geri dolgusunda farklı karışımdaki zeminler kullanılarak oluşturulan laboratuvar ölçekli sistem, Plaxis 3D programı ile aynı yük etkileri altında analizlere tabi tutulmuştur. Analizler sonucunda geri dolgusunda;

- %100 oranında kum malzeme bulunan duvar arkasında yatayda maksimum 2,606 mm, düşeyde 4,667 mm,
- %20 GDBA + %80 kum malzeme bulunan duvar arkasında yatayda maksimum 2,928 mm, düşeyde 6,063 mm,
- %40 GDBA + %60 kum malzeme bulunan duvar arkasında yatayda maksimum 3,427 mm, düşeyde 6,382 mm
- %60 GDBA + %40 kum malzeme bulunan duvar arkasında yatayda maksimum 6,056 mm, düşeyde 10,22 mm deformasyonlar ölçülmüştür.

Geri dolgusunda %60 GDBA + %40 kum zemin bulunan istinat duvarı Plaxis 3D programında modellenip sisteme 80 kPa yük verildiğinde sistemin taşıma gücünün yetersiz olduğu ve çöktüğü gözlemlenmiştir. Aynı karışım oranlarında sisteme geotekstil donatı ilavesi yapıldığında ise deformasyonlarda önemli ölçüde azalmalar görülmüş ve %100 Kum dolgusundaki deformasyonlara yakın değerler elde edilmiştir. Bu durumda 135 kPa yükleme sonucunda yatayda maksimum 2,451 mm, düşeyde ise 6,404 mm deformasyon ölçülmüştür.

Plaxis 3D ile yapılan analizler sonucunda da laboratuvar deneylerinde olduğu gibi geri dolgusunda GDBA bulunan malzeme için optimum karışım oranının %20-40 arasında olduğu, eğer geotekstil donatı kullanılır ise bu oranın %60 GDBA+ %40 kum oranlarına kadar artırılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçların benzerlik göstermesinde ölçeklendirme kurallarının dikkate alınarak tasarım boyutlarının oluşturulmasının etkisi göz ardı edilmemelidir.

İstinat duvarı uygulamalarında özellikle geri dolgu malzemesi olarak atık malzemelerin kullanılması ihtiyacı doğduğunda %40 oranına kadar GDBA'nın kullanılabilirliğinin sistem taşıma gücünde ve deformasyonlarında %100 kum malzemeye göre önemli bir farklılık oluşturmadığı ve bu nedenle kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Sistemde geotekstil donatı kullanılmasının taşıma gücü artışı ve deformasyonların azaltılmasında önemli derece etkili olduğu gözlemlenmiş, istinat duvarı dolgusunda geotekstil donatının amacı doğrultusunda çekme gerilmelerini büyük oranda karşıladığı belirlenmiştir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yayımladığı Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Yönetmeliği Madde 2.12.9. a göre: Konsol destek sistemlerinde meydana gelecek yanal deplasmanlar için $\delta h = 0.010H$ (kazı derinliğinin yüzde biri) değeri bir sınır değer olarak kabul edilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ölçeklendirilmiş istinat duvarı için bu oran % 0,488 ve gerçek boyutlu istinat duvarında ise %0.218 olarak elde edilmiştir.



5.2. Öneriler

Literatür çalışmaları incelendiğinde istinat duvarı için yapılan çalışmalarda ölçeklendirme kurallarına uyularak yapılan çalışmalara rastlanmamıştır. Yapılan çalışmalar sistem hakkında doğru bilgiler vermemekte sadece bazı kıyaslamalar için yeterli olmaktadır. Ölçeklendirme kurallarına bağlı olarak çalışmalar yapılabilir ve sistemin gerçek uygulamadaki sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilebilir.

Bu tez çalışmasında betonarme konsol istinat duvarı üzerinde incelemeler yapılmıştır. Benzer bir çalışmada yine ölçeklendirme kurallarına uygun olacak şekilde farklı tip istinat duvarları kullanılabilir, hafifletme konsolu olan bir duvar kullanılarak moment diyagramındaki değişim ve duvarın çalışma prensipleri incelenebilir.

Bu çalışmada ölçeklendirme 1/10 oranında yapılmıştır. Daha büyük tank modeli kullanılarak, sistem de oluşan gerilme soğanları incelenebilir, zeminde oluşan kırılmalar gözlemlenebilir.

İstinat duvarıyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde genelde deprem etkisinin dikkate alınmadığı ve dinamik yük etkilerinin göz ardı edildiği gözlemlenmiştir. Aynı düzenek sarsma tablasına uygun hale getirilerek deprem esnasında sistemin çalışma prensipleri ve aynı sisteme geotekstil donatı ilavesi yapıldığında ne oranda iyileşme yaptığı gözlemlenebilir.

KAYNAKLAR

- Akentuma, M., 2013, Characterization of recycled concrete aggregates (RCA) from an old foundation structure for road pavement works, Southern Illinois Üniversitesi, Illinois, ABD, 104.
- Al Heib, M., Emeriault, F. ve Nghiem, H.-L., 2020, On the use of 1g physical models for ground movements and soil-structure interaction problems, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12 (1), 197-211.
- Arm, M. 2001. Self-cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: results from triaxial tests and field tests. *Waste Management*, 21(3), 235-239.
- Aydın U.(2019), Yüksek dolgularda geosentetik donatılı duvar ile hafifletme konsollu betonarme istinat duvarının kıyaslanması(Kastomunu-Karabük yolu örneği), Yüksel Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi
- Cabral, A. E. B., Schalch, V., & Ribeiro, J. L. D. (2008). Influence of the type of recycled aggregate from construction and demolition waste on the module of deformation of recycled aggregate concrete. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 1(2), 171-192.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yayımladığı Kazı Destek Yapıları Tasarım ve Uygulama Esasları Yönetmeliği
- Demirel, C., & Şimşek, O. (2015). Erken Yaşdaki Atık Betonların Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılabilirliği ve Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1).
- Demiröz, A. (2008), Geogrid Donatılı Kum Üzerine Oturan Sürekli Temellerde Taşıma Gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Deneysel Olarak Araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya
- Garnier, J., 2001, Modèles physiques en géotechnique-I-Évolution des techniques expérimentales et des domaines d'application, *Revue Française de géotechnique* (97), 3-29.
- Green, D. L., 2014, Modelling geomorphic systems: Scaled physical models, *British Society for Geomorphology*.
- Guido, V.A., Biesiadecki, G.L. ve Sullivan, M.J., Bearing Capacity of a Geotextile Reinforced Foundation, *Proceedings of 11th International Conference on Soil Mechanics And Foundation Engineering*, San Fransisco, 1777-1780, 1985
- Güler E., 2006 Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı bir şartname taslağı, *İkinci Uluslararası Geosentetikler Konferansı*, İstanbul.
- İbin ,M., (2024), Geri Dolgusu Atık Lastik ve Geotekstil Donatıdan Oluşan İstinat Duvarlarının Deneysel ve Nümerik Analizi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*

- iao, J., & Falkner, H. (2007). Bond behaviour between recycled aggregate concrete and steel rebars. *Construction and Building Materials*, 21(2), 395–401.
- Kahyaoğlu M.R., Şahin M., 2017, Geotekstik Donatılı İstinat Duvarı Deplasman Davranışının Arazi Model Çalışmaları ile Belirlenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Düzce.
- Gökçe İ., Kılıç İ., 2021, Silindirle Sıkıştırılmış Atık Beton Agregasının Silindirle Sıkıştırılmış Beton Üretiminde Yeniden Değerlendirilmesi, Araştırma Makalesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye
- Kılıç, İ., & Kadayıfçı, A. (2007). Geri Dönüştürülmüş Atık Betonlarda Silis Dumanının Etkileri. *Trakya Univ J Sci*, 8(2), 115-121.
- Köken, A., Köroğlu, M.A., & Yonar, F. (2008). Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 7(1), 86-97.
- Mohammed S I, Najim K B, 2020, Mechanical strength, flexural behavior and fracture energy of Recycled Concrete Aggregate self-compacting concrete, *Structures*, 23, 34–43.
- MOHUIDDIN,(2003) *Geo Jordan 2004: advances in geotechnical engineering with emphasis on dams*,2003
- ÖNALP, A., 1992. *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi*, K.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 2, Trabzon, 73
- Padmini, A. K., Ramamurthy, K., & Mathews, M. S. (2009). Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 829–836
- Poon, C. S., & Chan, D. 2006. Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base. *Construction and building materials*, 20(8), 578- 585.
- Sarıbaş İ., Ok B. (2019), Seismic performance of recycled aggregate–filled cantilever reinforced concrete retaining walls
- Toka, E.B., (2021), *Geoteknik Mühendisliğinde Fiziksel Modelleme Esasları*, Doktora, *Konya Teknik Üniversitesi*, Konya.
- Topçu, İ.B., (1993). Beton Kırıklarının Agregası Olarak Kullanıldığı Betonlar. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi*. Ankara.
- Uzuner, B.A., *Temel Zemin Mekaniği*, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Uzuner, B.A., 2007, *Temel Zemin Mekaniği*, Derya Kitabevi, Trabzon, 370-375.

- YOO, C., Laboratory Investigation of Bearing Capacity Behavior of Strip Footing on Geogrid-Reinforced Sand Slope, *Geotextiles and Geomembranes*, 19, 279-298, 2001.
- Wen, H., McLean, D. I., Boyle, S. R., Spry, T. C., & Mjelde, D. G. (2014). Laboratory Evaluation of Recycled Concrete As Aggregate in New Concrete Pavements. Pullman: Washington State University Department of Civil & Environmental Engineering

