



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞERİT DONATILI TOPRAKARME DUVAR SİSTEMİNİN UYGULANMASI

HAZIRLAYAN
FAHRETTİN YILMAZ

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ERMEDİN TOTİÇ

BARTIN-2018



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞERİT DONATILI TOPRAKARME DUVAR SİSTEMİNİN UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
Fahrettin YILMAZ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ermedin TOTİÇ - Bartın Üniversitesi
Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih GÖKTEPE - Bartın Üniversitesi
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ - Düzce Üniversitesi

BARTIN-2018

KABUL VE ONAY

Fahrettin YILMAZ tarafından hazırlanan “ŞERİT DONATILI TOPRAKARME DUVAR SİSTEMİNİN UYGULANMASI” başlıklı bu çalışma, 01.02.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ermedin TOTİÇ (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih GÖKTEPE

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Yrd. Doç. Dr. Ermedin TOTİÇ danışmanlığında hazırlamış olduğum “ŞERİT DONATILI TOPRAKARME DUVAR SİSTEMİNİN UYGULANMASI” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

01.02.2018

Fahrettin YILMAZ

ÖNSÖZ

“Şerit Donatılı Toprakarme Duvar Sisteminin Uygulanması” isimli bu araştırmada bana yardımcı olan Alagözler Şirketler Grubu Proje Müdürü Şivan AKGÜL’e, tezimin hazırlanmasında bana yardımcı olan ve çalışma süresince beni yönlendiren tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ermedin TOTİÇ’e ve eğitim hayatım boyunca bana destek olan aileme teşekkür ederim.

Fahrettin YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞERİT DONATILI TOPRAKARME DUVAR SİSTEMİNİN UYGULANMASI

Fahrettin YILMAZ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ermedin TOTİÇ

Bartın-2018, sayfa: XVII + 85

Toprakarme sistemin esası, sıkıştırılmış dolgu malzemesi ile donatının birlikte kullanımına dayanmaktadır. Dolgu ile özel aderanslı çelik donatının birlikte yerleştirilmesi, bu malzeme arasında temas yüzeyinde bir sürtünme meydana getirmektedir. Dolgu kütlelerinin içinde oluşan gerilmeler özel galvanizli çelik şerit donatılar tarafından karşılanır. Bu gerilmeler şeritlere sürtünme vasıtasıyla transfer edilir. Böylece bu iki malzeme, tek ve kompozit bir inşaat malzemesi oluşturmaktadır.

Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü girişinin Bartın-Ankara karayolu bağlantısında köprülü kavşak yapılmıştır. Bu proje kapsamında köprü yaklaşım rampası olarak 3.7 m dolgu yüksekliğinde ve 12 m genişliğinde şerit donatılı toprakarme duvarı yapılması öngörülmüştür. Bu çalışmada, yapılması düşünülen bu yapının iCad Toprakarme yazılımıyla iç ve dış stabilite analizlerini yapılarak donatı şerit boylarının ve döşeme aralıklarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca şerit donatılı toprakarme yapı sistemi, yapısal elemanları ve yapı sisteminin uygulama aşamaları genel hatlarıyla açıklanmıştır. Tez kapsamında şerit donatılı toprakarme duvarda kullanılacak malzemelerin şartnamelerce belirtilen kriterlere uygunluğu da yapılan deneylerle incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler

İcad; istinat duvarı; şerit donatı; toprakarme.

Bilim Kodu

624.01.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

IMPLEMENTATION OF STRIP-REINFORCED REINFORCED EARTH WALL SYSTEMS

Fahrettin YILMAZ

**Bartın University
Graduate School of Naturaland Applied Sciences
Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Ermedin TOTİÇ

Bartın-2018, pp: XVII + 85

The basis of reinforced earth system is using the compacted backfill and reinforcement together. The placement of the backfill and special adherent steel reinforcements creates a friction between the backfill and contact surface. The stresses developing in the backfill mass are encountered by special galvanized steel strip reinforcements. These stresses are transferred to the strips by friction. Thus, these two materials form a single and composite construction material.

Bartın University The entrance of Kutlubey Yazıcılar Campus is a bridge junction at Bartın-Ankara highway connection. In this project, as a bridge approach ramp, it is envisaged to construct a tile-reinforced earthen wall with a fill height of 3.7 m and a width of 12 m. In this study, it is aimed to determine the strip lengths and intervals by analyzing internal and external stability with iCad Toprakarme software. In addition, the strip-reinforced earthed structural system, structural elements, and application steps of the structural system are roughly explained. In the study, the sufficiency of the materials to be used in the reinforced earth wall was investigated with the experiments made.

Key Words

Retaining wall, reinforced earth, reinforcing strip, icad toprakarme

ScienceCode

624.01.01

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| KABUL VE ONAY | ii |
| BEYANNAME..... | iii |
| ÖNSÖZ..... | iv |
| ÖZET | v |
| ABSTRACT | vii |
| İÇİNDEKİLER..... | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xi |
| TABLolar DİZİNİ..... | xiv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xv |
| | |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ | 1 |
| | |
| 1.1 Genel Bilgiler..... | 1 |
| 1.2 Literatür Özeti..... | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 MATERYAL VE YÖNTEM | 4 |
| | |
| 2.1 Materyal | 4 |
| 2.1.1 Toprakarme İstinat Yapı Sistemi | 7 |
| 2.1.1.1 Toprakarme Sisteminin Uygulama Alanları | 7 |
| 2.1.1.2 Toprakarme Sisteminin Avantajları..... | 9 |
| 2.1.1.3 Toprakarme Sisteminin Dezavantajları..... | 10 |
| 2.1.2 Şerit Donatılı Toprakarme Yapılar | 10 |
| 2.1.2.1 Şerit Donatılı Toprakarme Sisteminin Yapısal Elemanları | 12 |
| 2.1.2.2 Şerit Donatılı Toprakarme İmalat Aşamaları..... | 18 |
| 2.2 Yöntem..... | 24 |
| 2.2.1 Şerit Donatılı Toprakarme İstinat Duvarının Projelendirilmesi | 24 |
| 2.2.1.1 Dış Stabilite..... | 24 |
| 2.2.1.2 İç Stabilite | 32 |
| 2.2.2 Toprakarme İstinat Duvar Yazılımı (iCad Toprakarme) | 35 |
| 2.2.3 Vaka Analizi | 37 |

| | |
|--|----|
| 2.2.3.1 Temel Zemin Üzerine Yapılan Deneyler..... | 41 |
| 2.2.3.2 Dolgu Malzemesi Üzerinde Yapılan Deneyler | 42 |
| 2.2.3.3 Beton Deneyleri | 43 |
| 2.2.3.4 Şerit Donatı Çekme Deneyleri | 43 |
| | |
| BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA | 44 |
| | |
| 3.1 Temel Zemin Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları..... | 44 |
| 3.2 Dolgu Malzemesi Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları | 45 |
| 3.3 Beton Deney Sonuçları | 48 |
| 3.4 Şerit Donatı Çekme Deney Sonuçları | 53 |
| 3.5 Vaka analizi deney sonuçlarının, KTŞ tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılması | 53 |
| 3.6 Vaka Analizinin iCad Toprakarme Yazılımıyla Çözümü..... | 55 |
| | |
| BÖLÜM 4 SONUÇ VE ÖNERİLER | 58 |
| | |
| KAYNAKLAR..... | 60 |
| EKLER | 63 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 85 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil No | Sayfa No |
|---|-------------|
| 1. Toprakarme ana bileşenleri | 5 |
| 2. Toprakarme uygulamalarının geleneksel sistem ile karşılaştırılması..... | 5 |
| 3. Kafes donatılı toprakarme yapısı..... | 6 |
| 4. Çubuk tipi donatılı toprakarme sistemi kesiti..... | 7 |
| 5. İstinat duvarı görevinde yapılan toprakarme | 8 |
| 6. Su etkisi olan yerlerde yapılan toprakarme | 8 |
| 7. Köprü kirişlerinin oturacağı mesnet bankı stabilizasyonunda yapılan toprakarme..... | 8 |
| 8. Köprü ve kavşak yaklaşım rampalarında yapılan toprakarme..... | 9 |
| 9. Eğimli yamaçlarda şevlerin durabilitesini sağlamak için yapılan toprakarme | 9 |
| 10. Şerit donatılı toprakarme duvar yapımı (Kutlubeyyazıcılar – Bartın)..... | 11 |
| 11. Şerit donatılı toprakarme duvar yapımında kullanılan dolgu malzemesi örneği..... | 13 |
| 12. Prekast panel imalatı..... | 14 |
| 13. Prekast panellerin taşınması ve depolanması | 15 |
| 14. Donatı şeritleri | 15 |
| 15. Ankraj halkaları | 16 |
| 16. Pim, cıvata ve somunun uygulanması | 16 |
| 17. Polietilen köpük uygulaması | 17 |
| 18. Kauçuk EPDM takozlar..... | 17 |
| 19. Tesviye betonunun dökümü | 18 |
| 20. İlk sıra panellerinin montajı..... | 19 |
| 21. İlk sıra panellerde payanda kullanılması | 19 |
| 22. Şeritlerin serilmesi..... | 20 |
| 23. Şerit montajı | 20 |
| 24. Drenaj borusu montajı | 21 |
| 25. Dolgu sıkıştırma işlemi..... | 22 |
| 26. Harpuşa montajı | 23 |
| 27. Dış stabilite tahkikleri..... | 24 |
| 28. Şerit donatılı duvarı üzerine etki eden dış kuvvetler | 25 |
| 29. Zeminden, sudan ve yüzey yüklerde kaynaklanan yanal basıncın duvara etkisi..... | 27 |
| 30. Duvar yüzeyi eğimli olması halinde oluşan ve duvara etki eden kuvvetler | 28 |
| 31. Eksantrik yüklü şerit donatılı toprakarme istinat duvarı altında taban basıncı dağılımı | 30 |

| | |
|---|----|
| 32. İsveç Dilim Yöntemi | 31 |
| 33. Çekmeye etki eden kuvvetler | 33 |
| 34. Dış yüklerin donatıda oluşturduğu etki | 33 |
| 35. Yatay yükün donatılara etkisi | 34 |
| 36. Yer bulduru haritası | 38 |
| 37. 1 Nolu sondaj logu..... | 39 |
| 38. 2 Nolu sondaj logu..... | 40 |
| 39. Bartın ili deprem haritası | 41 |
| 40. Temel zemin granülometri eğrisi..... | 44 |
| 41. Üç eksenli basınç deneyi sonuçları..... | 45 |
| 42. Dolgu malzemesine ait tane boyu dağılım eğrisi..... | 46 |
| 43. Dolgu direkt kesme deneyi sonucu..... | 46 |
| 44. Kuru Birim Ağırlık – su muhtevası grafiği | 47 |
| 45. Prekast panellerin 7 günlük beton basınç dayanımı sonuçları..... | 49 |
| 46. Prekast panellerin 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları..... | 49 |
| 47. Tesviye betonunun 7 günlük beton basınç dayanımı sonuçları..... | 50 |
| 48. Tesviye betonunun 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları..... | 50 |
| 49. Harpušta betonunun 7 günlük beton basınç dayanımı sonuçları | 51 |
| 50. Harpušta betonunun 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları | 51 |
| 51. Harpušta kirişi betonunun 7 günlük beton basınç dayanımı sonuçları | 52 |
| 52. Harpušta kirişi betonunun 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları | 52 |
| 53. iCad Toprakarme programıyla modellenen toprakarme duvar parametreleri | 57 |

TABLÖLAR DİZİNİ

| Tablo | Sayfa |
|--|--------------|
| No | No |
| 1. AASHTO'ya göre dolgu malzemesinin gradasyonunun | 12 |
| 2. Dolgu malzemesinin gradasyonu | 12 |
| 3. Karayolları Teknik Şartnamesi 2013'e göre dolgu malzemesinin elektrokimyasal özellikleri..... | 13 |
| 4. AASHTO' ya göre dolgu malzemesinin elektrokimyasal özellikleri..... | 13 |
| 5. Temel zemin özellikleri..... | 45 |
| 6. Kum konisi arazi sıkışma deney sonuçları | 48 |
| 7. Şerit donatıların çekme deneyi sonuçları..... | 53 |
| 8. KTŞ değerleri ile vaka analizi sonucunda bulunan değerlerin karşılaştırılması. | 54 |
| 9. Dış stabilite analizi sonuçları..... | 56 |
| 10. İç stabilite analizi sonuçları | 57 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | | |
|------------|---|---|
| b | : | Yayılı Yük Genişliği |
| B | : | Donatı Şerit Boyu (Duvar Taban Genişliği) |
| b_s | : | Donatı Genişliği |
| c | : | Kohezyon Katsayısı |
| C_u | : | Üniformluk Katsayısı |
| D_f | : | Topuk Dolgu Yüksekliği |
| e | : | Eksantiriklik |
| F_i | : | Yatay Yük |
| K_a | : | Aktif Yanal Toprak Basınç Katsayısı |
| K_{aR} | : | Aktif Rankine Basınç Katsayıları |
| K_p | : | Pasif Yanal Toprak Basınç Katsayısı |
| K_{pR} | : | Pasif Rankine Basınç Katsayıları |
| L_i | : | Donatılan Bölgenin Efektif Uzunluğu |
| LL | : | Likit Limit |
| M_W | : | Deprem Moment Büyüklüğü |
| N_c | : | Taşıma Gücü Faktörleri |
| N_i | : | Dilim Tabanında Normal Kuvvet |
| N_q | : | Taşıma Gücü Faktörleri |
| N_γ | : | Taşıma Gücü Faktörleri |
| P_a | : | Aktif Toprak Basınç |
| P_{at} | : | İzin Verilebilir Çekme Gerilmesi |
| PI | : | Plastisite İndeksi |
| P_i | : | Sürtünme Katsayısı |
| PL | : | Plastik Limit |
| P_p | : | Pasif Toprak Direnci |

| | | |
|--------------|---|---|
| P_w | : | Uniform Yanal Gerilme |
| q | : | Yayılı Yük |
| q_s | : | Üniform Gerilme |
| Q_{s-a} | : | Toplam Aktif Kuvvet |
| q_{s-a} | : | Üniform Aktif Yanal Gerilme |
| Q_{s-p} | : | Toplam Pasif Kuvvet |
| q_{s-p} | : | Üniform Pasif Yanal Gerilme |
| q_u | : | Nihai Taşıma Gücü |
| ΣF_d | : | Kaydırıcı Kuvvetler Toplamı |
| ΣF_R | : | Kaymayı Önleyen Kuvvetler Toplamı |
| S_i | : | Düşey Yük |
| ΣV | : | Duvar Tabanına Etki Eden Düşey Kuvvet |
| s_y | : | Donatılar Arası Düşey Aralık |
| t | : | Donatı Kalınlığı |
| T_{fi} | : | Yatay yük |
| T_{hi} | : | Toprak Yükünden Oluşan Çekme Kuvveti |
| T_i | : | Dilim Tabanında Teğetsel Kuvvet |
| T_i | : | Donatının Taşıyabileceği Maksimum Çekme Kuvveti |
| T_{mi} | : | Düşey Yükünden Oluşan Moment Etkisi |
| T_{qi} | : | Yayılı Yükünden Oluşan Çekme Kuvveti |
| T_{si} | : | Düşey Yükünden Oluşan Çekme Kuvveti |
| u | : | Boşluk Suyu Basıncı |
| W | : | Duvar Ağırlığı |
| w | : | Su Muhtevası |
| W_i | : | Dilim Ağırlığı |
| γ_n | : | Doğal Birim Hacim Ağırlık |
| ΔL | : | Dilimin Yay Uzunluğu |

ϕ : İçsel Sürtünme Açısı

KISALTMALAR

| | | |
|--------|---|--|
| AASHTO | : | American Association of State Highway and Transportation Officials |
| ASTM | : | American society for testing and materials |
| EPDM | : | Etilen Propilen Dien Monomer |
| FHWA | : | Federal Highway Administration |
| KTŞ | : | Karayolları Teknik Şartnamesi |
| TS EN | : | Türk Standartları Enstitüsü |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

İstinat yapıları; geoteknik mühendisliğinin yol, yapı ve altyapı gibi farklı mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Betonarme istinat yapılarının rijit özellikte olması ve temel zemininde büyük gerilmeler oluşturmasından dolayı eğer derin temel sistemleri kullanılmazsa zemin ortamında oturma ve taşıma gücü gibi sorunlar oluşturduğundan betonarme istinat yapılarına alternatif olarak toprakarme yapıları ortaya çıkmıştır (Yıldız, 2014).

Şerit donatılı toprakarme sisteminin esası, sıkıştırılmış geri dolgu malzemesi ile çelik şeritlerin arasında meydana gelen sürtünme kuvveti sayesinde taşıyıcı özelliği olan kompozit bir yapı oluşturulmasıdır. Toprakarme yapılarının imalatlarının hızlı yapılması, deprem yükleri altında oluşabilecek büyük deplasmanları ve yükleri tolere edebilmesi ile esnek davranabilme özellikleri, estetik görünüşleri ve ekonomik oluşları sayesinde klasik betonarme istinat yapıları yerine, özellikle sismik aktivitelerin yüksek olduğu yerlerde tercih edilmektedir. Bu dayanma yapıları karayolları, demir yolları, köprüler, sanayi yapıları, su yapıları ve askeri yapılar gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmada, Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü Köprülü Kavşağı üzerindeki şerit donatılı toprakarme yapı sisteminin uygulanması ve yapısal elemanları genel hatlarıyla açıklanmıştır. Daha sonra iCad Toprakarme paket programı kullanılarak sistemin iç, dış ve genel stabilite analizleri yapılmış, bu stabiliteyi sağlayan çelik şeritlerin boyu ve döşeme aralıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte toprakarme sisteminde kullanılan malzemelerin Karayolları Teknik Şartnamesi kriterlerine uygunluğu da incelenmiştir.

1.2 Literatür Özeti

Toprakarme duvar hakkında birçok araştırmacı ilgilenmiştir. Çakır (2005) tarafından yapılan araştırmada, donatılı zeminin gelişimi, değişik mühendislik alanlarındaki

uygulamaları, donatılı zemini oluşturan ana malzeme çeşitleri, donatılı zeminin üstünlükleri ve sakıncaları, Türkiye'deki önemli donatılı zemin uygulamaları incelenmiştir.

Toprakarme yapılarının ilk proje uygulamalarını 1967 senesinde A.B.D., Fransa, Kanada ve Japonya gibi ülkelerde uygulanmıştır. Kesim (1996) tarafından yapılan araştırmada toprakarme yapısının irdelenmesi, zemin ve donatı elemanlarının oluşturduğu kompozit yapının davranış mekanizması incelenmiştir. Bu incelemede yüzeysel temellerin taşıma güçlerinin donatı elemanları kullanılarak arttırılması gerektiği görülmüştür.

Güneri (1997) tarafından yapılan araştırmaya göre; köprü ayakları ve gezer vinçler altındaki yüksek konsantre yüklere mesnet olan dolguların ıslahında en ekonomik çözüm donatılı zemindir. Donatılı zemin ile yapılan istinat duvarları betonarme istinat yapılarına kıyasla beton miktarında %90, demir miktarında %79 oranlarında azalma gösterdiği araştırmacı tarafından tespit edilmiştir.

Alkaya ve Yeşil (2012) tarafından yapılan araştırmada çalışmada kullanılan donatıya bağlı olarak tablolama programı yardımıyla projelendirmeyi kolaylaştıracak bilgisayar programları hazırlanmıştır. Program ile duvarda kullanılacak donatı miktarı ve en güvenilir duvar tipi belirleyerek uygulama öncesi maliyet analizlerinin yapılması kolaylaştırılmıştır.

Ismeik (1996) tarafından yapılan çalışmada 6 m yüksekliğinde donatılı zemin istinat duvarı inşa etmiştir. Bu yapıda geri dolgu malzemesi olarak kireçle stabilize edilmiş kil kullanılmıştır. Dolgunun çeşitli yerlerine yatay ve düşey deformasyonları ölçen elektrik bobinleri, yatay ve düşey gerilmeleri ölçen glözl hücreleri ve donatı üzerindeki deformasyonları ölçen inver kablolarını yerleştirmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda geosentetik donatılı istinat duvarlarında kireçle stabilize edilmiş kilin kullanılabileceğini göstermiştir.

Demirkan (2002) tarafından yapılan çalışmada toprakarme duvarının bileşenleri olan yüzey kaplama elemanlarının, donatı düşey yerleştirme mesafesinin, donatı dayanımının ve donatılı bölge dolgu zemin çeşidinin yapının sismik tepki analizlerindeki etkinliği incelenmiştir. İncelemeler ışığında donatılardaki çekme kuvvetlerinin ve duvar yatay yer değiştirmelerinin sismik yükleme sonucunda imalat sonrası durumlarına göre arttığı

gözlemlenmiştir. Şekil değiştirmeler açısından en kritik yerin duvarın topuk bölgesi olduğu anlaşılmıştır.

Durgunoğlu vd. (2003) tarafından yapılan incelemede, sismik aktivitelerin yoğun olduğu bölgelerde toprakarme sisteminin uygulanabileceği gösterilmiştir.

Ekli (2006) tarafından yapılan araştırmada donatılı zemin kenarayak yapılarının numerik analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda, elik şeritler kullanılarak imal edilen donatılı zemin istinat yapılarının deplasmanlarının uygulanabilir limitler içerisinde kaldığı görölmüş ve dolayısıyla nehir kenarındaki istinat yapılarında, köprü kenarayak ve istinat duvarlarında özellikle yumuşak zeminlerde ve sismik aktivitenin yüksek olduğu yerlerde kullanımlarının önemli bir avantaj getirdiği gösterilmiştir.

1995 yılı Kobe depreminden sonra 120 adet toprakarme yapısı incelenmiştir. Bu yapıların %70'ini 5'm'den yüksek, %15'ini ise 10 m'den yüksek duvarlar oluşur. Bu yapılar, 0.15g ile 0.2g arasında değişen yer ivmesi değerlerine göre dizayn edilmiştir. Deprem anında ölçölen yer ivmesi değeri 0.27g civarındadır. 22 tane yapının üstünde veya yakınında yer hareketi tespit edilmiş, tespit edilen yapıların 10'unda panellerde küçük çatlaklar belirlenirken, 3'ünde önemli ölçüde yatay deplasman oluşmuştur (Anon., 1995).

BÖLÜM 2

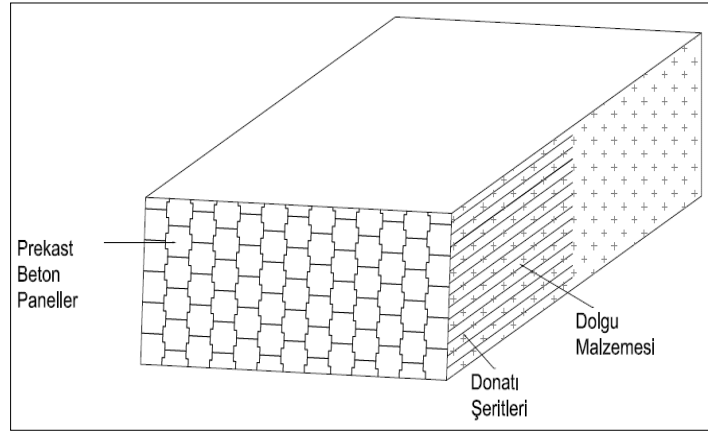
MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Toprakarme İstinat Yapı Sistemi

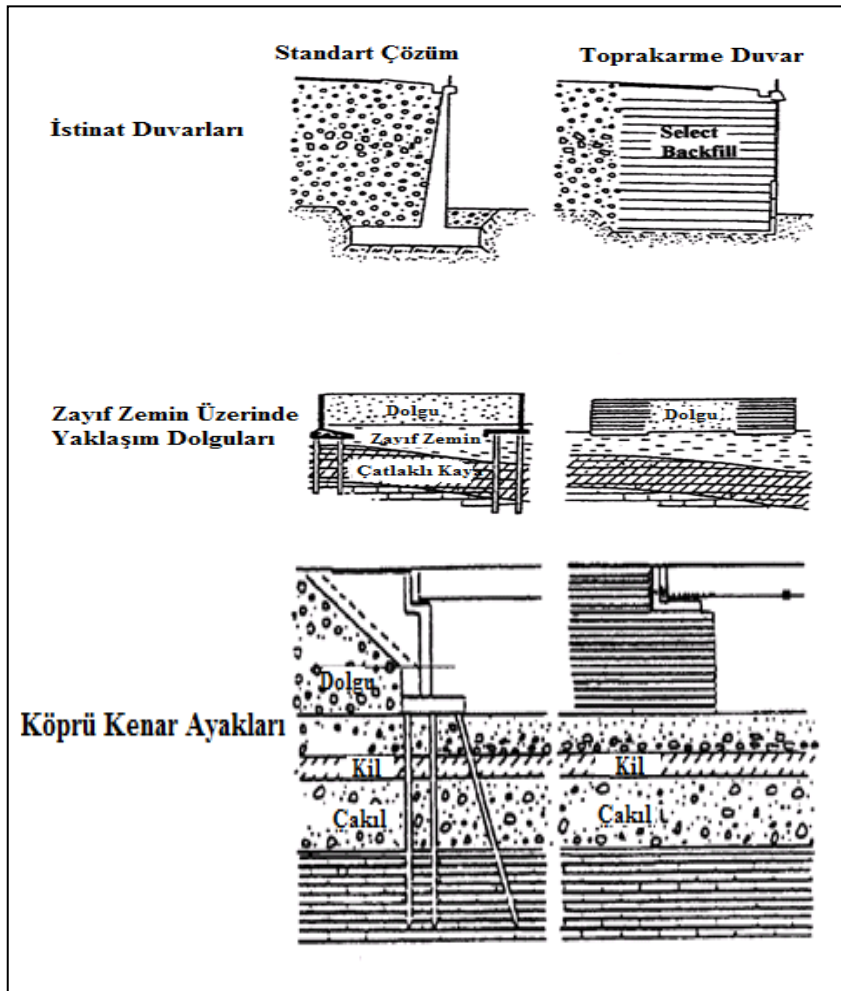
İstinat yapıları özellikle eğimli arazilerde zemini tabi şev açısından daha dik açılarda tutmak ve toprak kaymasını engellemek amacıyla imal edilen mühendislik yapılarıdır. İstinat yapıları yanal zemin itkileri altındaki yapısal davranışları bakımından uygulamada rijit ve esnek istinat yapılar olmak üzere iki grupta incelemiş olabilir. Rijit istinat yapılarına örnek olarak taş kargir, donatısız veya kısmen donatılı masif beton, betonarme konsol, betonarme nervürlü, prefabrike elemanlı ve mekanik stabilize toprakarme istinat duvarları gösterilebilir. Esnek istinat yapılarına örnek olarak ise bodrum duvarları, iksalar, köprülerin kenar ayakları, ankrajlı ve ankrajsız kazık perde duvarlar gibi yapılar gösterilebilir.

Toprakarme duvar imalatında, katmanlar halinde yerleştirilen ve sıkıştırılan dolgu malzemesi ile bütünleşen donatılı metal şeritler veya geotekstiller kullanılır. Donatılı toprak yapının açık sınırını veya yüzünü oluşturmak ve dolgu malzemesinin kaybolmasını önlemek için prekast paneller kullanılır. Prekast paneller donatı şeritlerine mekanik olarak tutturulur. Donatılı zemin yapısı sistemli bir şekilde katman katman oluşturulur. Her dolgu katmanının yüzeyine donatı şeritleri yüz paneline bağlanır ve üzeri bir sonraki katmanla kaplanır. Bu işlemde donatı şeritlerinin sayısına ve yerine tasarım özelliklerine göre karar verilir. Dolgunun yüksekliği arttıkça yüz panelleri yerleştirilir. Sistem genellikle üç ana bileşenden oluşur. Bunlar; dolgu malzemesi, donatı şeritleri ve prekast beton panellerdir (Şekil 1).



Şekil 1: Toprakarme ana bileşenleri.

Geleneksel sistem ile toprakarme uygulamalarının farkı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: Toprakarme uygulamalarının geleneksel sistem ile karşılaştırılması (Elias vd., 2001).

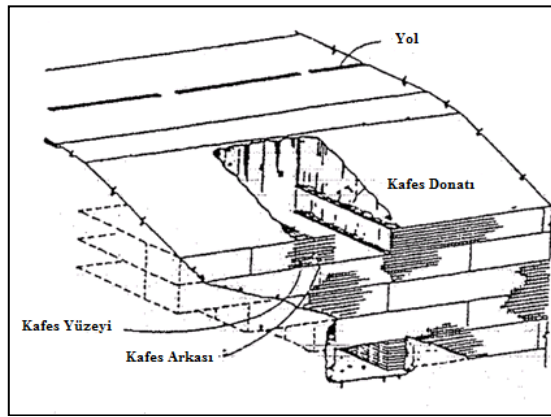
Toprakarme yapı tipleri kullanım alanına göre altıya ayrılır:

a) Şerit Tipi Donatılı Toprakarme Yapıları

Doğrusal şerit tipi donatılarla, seçilmiş dolgu malzemesi arasındaki meydana gelen sürtünme kuvveti esasına dayanır. Şeritler tabakalar halinde serilerek sıkıştırılan dolgu ile birlikte taşıyıcı özellik kazanır. Prekast panellere şeritler bağlanarak, geri dolgu malzemesi sıkıştırılır.

b) Kafes Tipi Donatılı Toprakarme Yapıları

Dikdörtgen ızgaralar halinde kafes tipi donatılar yatay olarak dolgu içerisine yerleştirilir. Her tabakadaki donatı elemanı bükülerek bir üstteki donatı tabakasına bağlanır. Su etkisinde kalması düşünülen istinat yapılarında uygulanır (Yıldız, 2014). Kafes donatılı toprakarme yapısı tipik kesiti Şekil 3'te gösterilmiştir.



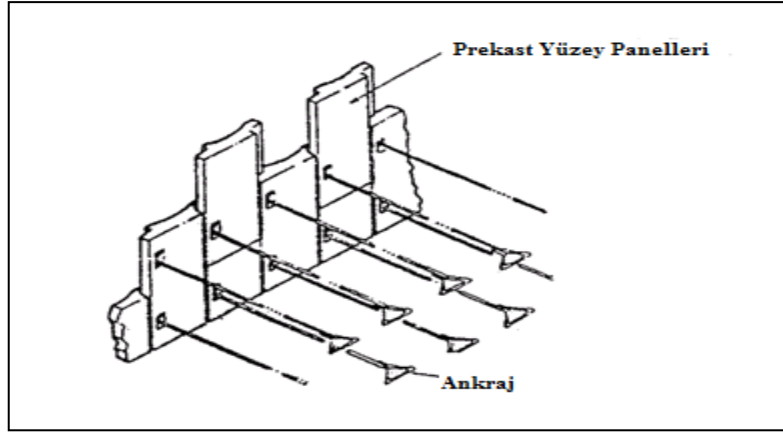
Şekil 3: Kafes donatılı toprakarme yapısı (Mitchell ve Villet, 1987).

c) Tabaka Tipi Donatılı Toprakarme Yapıları

Tabakalar halinde zemine serilen polyester veya polipropilen özelliğe sahip geotekstiller ile dolgunun sıkıştırılmasıyla yapılır. Bindirme ve çivileme gibi bağlama yöntemleriyle geotekstil ile toprakarme duvarın yapısal elemanları sabitlenir (Yıldız, 2014).

d) Çubuk Tipi Donatılı Toprakarme Yapıları

Bu sistem geleneksel ankrajlı iksa sistemi gibidir. Prekast panellere zemin içindeki ankrajlar monte edilir. Çubuk tipi donatılı toprakarme sistemi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4: Çubuk tipi donatılı toprakarme sistemi kesiti (Mitchell ve Villet, 1987).

e) Lif Tipi Donatılı Toprakarme Yapıları

Lif tipi donatılı toprakarme yapılarında kullanılan liflerin çekme dayanımı yüksek olduğundan dolgu malzemesi ile beraber taşıyıcı özellik gösterir. Lif malzemesi olarak doğal lifler, sentetik lifler veya küçük boyutlu metal elemanlar kullanılabilir (Yıldız, 2014).

f) Gözenekli Donatılı Toprakarme Yapıları

Şevli dolguların stabilizasyonunda ve zayıf zemin üzerine inşa edilecek yapı temellerinde kullanılır (Yıldız, 2014).

2.1.1.1 Toprakarme Sisteminin Uygulama Alanları

Toprakarme sisteminin uygulama alanları;

- İstinat duvarları: Yol dolgusu destekleme (Şekil 5).
- Su yapıları: Su etkisi olan yerlerde (Şekil 6).
- Köprü kenar ayakları: Köprü kirişlerinin oturacağı mesnet bankı stabilizasyonunda (Şekil 7).
- Yaklaşım rampaları: Köprü ve kavşak yaklaşım rampalarında (Şekil 8).
- Şev stabilizasyonu: Eğimli yamaçlarda şevlerin durabilitesini sağlamak amacıyla (Şekil 9).



Şekil 5: İstinat duvarı görevinde yapılan toprakarme (URL-1, 2016).



Şekil 6: Su etkisi olan yerlerde yapılan toprakarme (URL-1, 2016).



Şekil 7: Köprü kirişlerinin oturacağı mesnet bankı stabilizasyonunda yapılan toprakarme (URL-1, 2016).



Şekil 8: Köprü ve kavşak yaklaşım rampalarında yapılan toprakarme (URL-1, 2016).



Şekil 9: Eğimli yamaçlarda şevlerin durabilitesini sağlamak için yapılan toprakarme (URL-1, 2016).

2.1.1.2 Toprakarme Sisteminin Avantajları

Toprakarme sisteminin genel avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Betonarme istinat duvarı gibi sistemlere kıyasla yapım hızının yüksek olması
- Prekast cephe panellerin üretim kalitesinin kontrolünün kolaylığı
- Hızlı imalat süresine bağlı olarak, yerleşim alanlarında yaşayan halka ve yerel çevreye verilen zararın önemli ölçüde minimize edilmesi, çevresel gürültünün belirli oranda azaltılması.
- Toprakarme istinat duvarı teknolojisinin, esnek yapısı sayesinde yüksek duvarlarda emniyetli, ekonomik ve estetik çözümler sunabilmesi
- Betonarme istinat duvarlara kıyasla çok daha doğal ve güzel görünüm elde edilmesi, prekast yüzey panellerinin farklı desenlerde veya amblemli yapılabilmesi

- Donatılı zemin kütlesinin geniş bir alana yayılması nedeniyle zemin taban basıncının azaltılması ve dolayısıyla nispeten zayıf zeminlerin üzerine rahatlıkla inşa edilebilmesi
- Yerleşim alanları içerisinde, özellikle kamulaştırma sorunlarının yaşandığı bölgelerde karşılaşılan dar alanlarda çalışma gereksinimlerini yerine getirebilmesi
- Toprakarme istinat duvarları, yatay ve düşey yönde etkiyen yüksek zemin ivmeleri nedeniyle oluşan ilave gerilmeleri esnek yapıları sayesinde, betonarme veya daha rijit yapılara kıyasla çok daha iyi performans göstererek karşılayabildiklerinden depreme karşı çok daha dayanıklı yapılar olarak değerlendirilmektedir.

2.1.1.3 Toprakarme Sisteminin Dezavantajları

Toprakarme sisteminin bazı dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Şartnameye uygun dolgu malzemesi gereklidir
- Şeritlerin mekanik özelliklerinin şartnameye uygun olması gerekir
- Prekast panellerin stoklanması için geniş sahalara ihtiyaç duyulur

2.1.2 Şerit Donatılı Toprakarme Yapılar

Fransız mimar mühendis Henry Vidal 1966 yılında çekme dayanımlı donatılarla güçlendirilmiş zeminlerin kullanımı üzerine rasyonel dizayn prosedürleri geliştirmiştir (Durgunoğlu vd., 2007). Klasik sistemlere göre imalat, performans ve ekonomi yönünden avantaj sağlamıştır. 1970 yıllarında kullanılan prekast paneller ve tırnaklı donatılar, bu yapı sisteminin gelişmesinde önemli yer tutmaktadır (Elias vd., 2001). Bu sistem Türkiye’de ilk olarak, 1988 senesinde Adapazarı Arifiye’deki 69 Nolu otoyol üstgeçidinin çok yumuşak zeminler üstüne oturan yaklaşım dolgusunun iki yanında bulunan 12 m yüksekliğindeki duvarlar için kullanılmıştır (Alkaya, 2012).

Şerit donatılı toprakarme sistemi, duvar bloğunu oluşturan seçilmiş dolgu malzemesi ile donatı olarak kullanılan şeritlerin birlikte çalışmasına esasına dayanmaktadır. Dolgu kütlesi içinde oluşan gerilmeler sürtünme esasına göre şerit donatılar tarafından karşılanmaktadır. Böylece bu iki malzeme kompozit bir yapı olarak çalışır. Kompozit malzemenin içerisinde yer alan her donatı eş değer yatay zemin itkisi kadar yük alır. Bu sebeple düşey toprak

basıncı arttıkça şerit donatılar tarafından karşılanan çekme gerilmesi de artmaktadır (McKittrick, 1978).

Toprakarme duvarının açık sınırını veya yüzünü oluşturmak ve dolgu malzemesinin kaybolmasını önlemek için prekast paneller kullanılır (Şekil 10). Prekast paneller donatı şeritlerine mekanik olarak tutturulmaktadır.



Şekil 10: Şerit donatılı toprakarme duvar yapımı (Kutlubeyyazıcılar – Bartın).

Toprakarme sisteminin esnek yapısı, imalat sırasında veya sonrasında oluşabilecek yatay ve düşey oturmalara izin vermesi gibi özelliklerinden dolayı depreme karşı dayanıklı bir yapı oluşmasına olanak sağlar. Yapılan araştırmalarda, daha küçük ivmesel zorlanmalara göre tasarlanan bu dayanma yapılarının daha yüksek ivmesel hareketlere maruz kaldıklarında, deformasyon ve mukavemet bakımından üstün performans gösterdiği gözlemlenmiştir (Sankey, 2001). Bununla birlikte sürşarj yükleri arttığında dayanımı arttırabilmek için zemin içine yerleştirilecek donatı miktarlarının da arttırılması gerekmektedir (Ekli, 2006).

Toprakarme yapıları tasarımına ilişkin bazı şartnameler, Fransa, Amerika, Almanya gibi bazı farklı ülkelerde hazırlanmıştır. Türkiye'deki karayolları uygulamalarında ise, Karayolları Teknik Şartnamesine (KTSŞ, 2013) göre imalat gerçekleştirilmektedir.

2.1.2.1 Şerit Donatılı Toprakarme Sisteminin Yapısal Elemanları

Şerit donatılı toprakarme sisteminin yapısal elemanları dolgu malzemesi, prekast paneller, donatı şeritleri, bağlantı elemanları ve derz dolgu malzemesidir.

a) Dolgu Malzemesi

Donatılı zemin yapılarında dolgu malzemesi olarak iyi sıkışabilen özel seçilmiş kaba taneli malzeme tercih edilmektedir. Bu malzemelerin drenajlarının iyi olması halinde donatı şeridi ve dolgu malzemesi arasındaki etkili normal basınç yayılımı hemen gerçekleşmektedir. Dolgu malzemesinin üniformalık katsayısı $C_u > 5$, plastisite indisi $PI < 6$ olmalıdır (KTŞ, 2013).

Dolgu malzemesinin gradasyonunun AASHTO tarafından önerilen değerler Tablo 1’de, Karayolları Teknik Şartnamesi’nde önerilen değerler ise Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1: AASHTO'ya göre dolgu malzemesinin gradasyonunun (AASHTO T-27-11, 2012).

| Elek Boyutu (mm) | % Geçen |
|------------------|---------|
| 102 (4'') | 100 |
| 0.425 (No. 40) | 0-60 |
| 0.075 (No.200) | 0-15 |

Tablo 2: Dolgu malzemesinin gradasyonu (KTŞ, 2013).

| Elek Boyutu (mm) | % Geçen |
|------------------|---------|
| 125 (5'') | 100 |
| 75 (3'') | 85-100 |
| 12,5 (1/2'') | 25-100 |
| 2 (No.10) | 15-100 |
| 0,60 (No.30) | 10-65 |
| 0,075 (No.200) | < 15 |

Duvar yapımında; donatı elamanı olarak galveniz kaplı çelik şerit kullanılması durumunda, dolgu malzemesi bazı elektrokimyasal özelliklere sahip olmalıdır. Karayolları Teknik Şartnamesi (2013) ile AASHTO tarafından önerilen değerler Tablo 3 ve Tablo 4’ de gösterilmiştir.

Tablo 3: Karayolları Teknik Şartnamesi 2013'e göre dolgu malzemesinin elektrokimyasal özellikleri.

| Özellikler | Şartname Limitleri |
|---|--------------------|
| Ph değeri | 5-10 |
| Suda çözünebilir klorür iyonu miktarı (mg/kg) | ≤ 100 |
| Toplam organik madde miktarı (%) | ≤ 0,2 |
| Suda çözünebilir sülfat iyonu miktarı (mg/kg) | ≤ 200 |
| Minimum resistivite (ohm.cm) | 3000 |

Tablo 4: AASHTO' ya göre dolgu malzemesinin elektrokimyasal özellikleri.

| Elektrokimyasal Özellik | AASHTO | Test Yöntemi |
|---------------------------------------|--------|--------------|
| Rezistivite (ohm-cm) | >3000 | ASTM G 57 |
| pH | 5-10 | ASTM G 51 |
| Suda Çözülebilir Klorit İyonu (mg/kg) | <100 | ASTM D 512 |
| Suda Çözülebilir Sülfat İyonu (mg/kg) | <200 | ASTM D 516 |
| Minimum Redoks Potansiyeli (volt) | 0.40 | ASTM D 1498 |
| Maksimum Organik Madde İçeriği (%) | 1 | ASTM D 2974 |

Şerit donatılı toprakarme duvar projesinde kullanılan örnek dolgu malzemesi Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11: Şerit donatılı toprakarme duvar yapımında kullanılan dolgu malzemesi örneği.

b) Prekast Paneller

Prekast panellerin üretimi için çelik kalıplar kullanılır. Kalıplar, panellerin boyutlarında ± 5 mm'den fazla sapma olmayacak şekilde hazırlanır. Kalıplar düz bir zemin üzerine yerleştirilir. Bağlantı elemanları, ankraj halkaları ve kaldırma kancaları kalıp içerisine projesine uygun olarak yerleştirilir ve beton dökümünde yerinden oynamayacak şekilde tespit edilir. Beton üretiminde karışım dizaynına uyulmalı ve TS EN 934-2 standardına uygun beton kimyasal katkıları kullanılır. Betonda kullanılacak çimento, TS EN 197-1 standardına uygun 42.5 MPa portland çimentosudur. Betonun 150 x 300 mm silindir numunesinde karakteristik dayanım sınıfı C30'dur. Beton üretimi sırasında kalite kontrol yönünden gerekli testler yapılarak uygunluk kontrol edilir. Hazırlanan panel kalıpları içerisine kalıbın ön yüzleri altta olacak şekilde bir tabaka halinde beton dökülür. Beton uygun vibratörle sıkıştırılarak, kalıbın bütün boşlukları tamamen doldurulur. Prekast paneller 7 gün süre ile kür edilir. Kalıplar, beton sertleştikten ve 12 MPa mukavemete ulaştıktan sonra panele zarar vermeyecek şekilde sökülür. Kalıplar her beton dökümünden önce temizlenir ve uygun görülen kalıp yağı ile yağlanır. Prekast panel imalatından görüntü Şekil 12'de gösterilmiştir. Panellerin çıkıntı yapan bağlantı noktalarına zarar vermemek için paneller ahşap takozlar üzerine en fazla 5 adet olacak şekilde istiflenmelidir (Şekil 13). Prekast paneller, projesinde belirtilen duvar geometrisini sağlayacak şekilde değişen ebatlarda ve desenli olarak imal edilebilir. Üretimi yapılan panellerin bütün boyutlarında tolerans ± 10 mm olmalıdır (KTŞ, 2013).



Şekil 12: Prekast panel imalatı.



Şekil 13: Prekast panellerin taşınması ve depolanması.

c) Donatı Şeritleri

Donatı şeritleri panellere bağlantılıdır ve yük aktarımını sağlayan yapısal elemandır. Panellerin arka yüzeyindeki bağlantı elemanları ile duvar geri dolgusu arasında, yüksek aderanslı sıcak-daldırma galvaniz kaplamalı çelik şeritler yerleştirilir (Şekil 14). Kullanılacak şeritlerin projesinde belirtilen teknik özellikleri, yapım aşamasında yapılacak testlerle kontrol edilir. Çelik şeritler; 530 g/m²'den az olmayacak şekilde sıcak-daldırma galvaniz ile kaplanır, çelik şerit orta veya yüksek karbon çeliği özelliğinde ve çekme mukavemeti minimum 510 MPa olmalıdır (KTSŞ, 2013).



Şekil 14: Donatı şeritleri.

d) Bağlantı Elemanları

Bağlantı elemanları, ankraj halkaları (Şekil 15), pim, cıvata ve somunlardır. Bu elemanlar kopmaması yüksek mukavemetli olmalıdır ve korozyona karşı koruyucu bir malzeme ile kaplanmalıdır (KTŞ, 2013). Pim, cıvata ve somunun uygulanması Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 15: Ankraj halkaları.



Şekil 16: Pim, cıvata ve somunun uygulanması.

e) Derz Dolgu Malzemesi

Panellerin yerleştirilmesi sırasında, boyuna ve düşey yöndeki derzlerde uygun derz dolgu malzemesi kullanılmalıdır. Düşey derzler, polietilen köpükle doldurulur (Şekil 17). Yatay derzler de 2 panelin temasının önlenmesi amacıyla kauçuk EPDM takozlar (Şekil 18) kullanılır (KTŞ, 2013).



Şekil 17: Polietilen köpük uygulaması.



Şekil 18: Kauçuk EPDM takozlar.

2.1.2.2 Şerit Donatılı Toprakarme İmalat Aşamaları

Toprakarme duvar imalatında tesviye betonu 15 cm yüksekliğinde 30 cm genişliğinde dikdörtgen kesitli olacak şekilde dökülür (Şekil 19). Tesviye beton sınıfı C20 olması istenir ve ± 5 mm toleransla düzgün bir imalat yapılması gerekmektedir. Tesviye betonu donatısızdır ve taşıyıcı özelliği yoktur. Tesviye betonu sayesinde düz bir çalışma alanı elde edilir. Bu sayede paneller istenilen kotta yerleştirilir (KTS, 2013).



Şekil 19: Tesviye betonunun dökümü.

Prekast paneller hazırlanan tesviye betonunun üzerine yerleştirilir. Yarım paneller beton temel üzerine yerleştirilirken bitişecek panellerin pim deliklerinin ölçüleri, panellerin üst kotları, yatay ve düşey hatları; ± 5 mm tolerans içerisinde olacak şekilde kontrol edildikten sonra panelin yerleşiminde kullanılan iş makinesi ile irtibatı kesilir. Üst kotlarda düşey doğrultuda hatanın büyümemesi için özellikle ilk prekast panellerin yerleştirilmesinde dikkat edilmelidir (Şekil 20). İlk sıra prekast panellerin dolgu sırasında aks kaçıklığını önlemek için payanda kullanılır (Şekil 21). Doğrultu ve kotu sağlamak için panel altında kuru dolgu harcı veya uygun yapıştırma harcı kullanılabilir. Paneller yerleştirilmeden önce panellerde, galvanizli veya epoksili bağlantılarda hasar olup olmadığı kontrol edilir. Panellerin yerleştirilmesi ve dolgu malzemesinin sıkıştırılması sırasında; panellere yük iletimini engellemek için geçici olarak ahşap kama, kalıcı olarak ise yüksek esnekliğe sahip kauçuk EPDM takozlar kullanılır. Ayar ve düzeltmeler lastik çekiç ve manivela ile

yapılır. Daha üstteki panellerin yerleştirilmesinden sonra takoz ve bloklar çıkarılır. Panellerin her biri düşey ve yatay geometrisinde yerleştirildiğinde, düşey derzler polietilen köpükle doldurulur. Donatılı toprak duvar yüksekliklerinin düşey ve yatay geometrilerinde her metre için ± 5 mm'den fazla sapma olmamalıdır. Duvar yüksekliğinin 10 m'yi geçmesi durumunda toplam sapma ± 50 mm'yi geçmemelidir (KTŞ, 2013).



Şekil 20: İlk sıra panellerinin montajı.



Şekil 21: İlk sıra panellerde payanda kullanılması.

Toprakarme şeritleri sıkışmış dolgu üzerine serilerek panel bağlantıları yapılır (Şekil 22, 23). Şerit donatılarının korozyona karşı korunma işlemlerinden geçmiş olmasına dikkat edilir.



Şekil 22: Şeritlerin serilmesi.



Şekil 23: Şerit montajı.

İlk sıra prekast panellerinin dibine drenaj borusu döşenir (Şekil 24). Drenaj borusunun üstüne 50 cm genişliğinde filtre malzemesi serilir. Filtre malzemesi her dolgu tabakasında kullanılır.



Şekil 24: Drenaj borusu montajı.

İlk sıra donatı şeritleri kotuna kadar doldurularak dolguya başlanılır. Dolgu malzemesi en fazla 20 cm kalınlığında tabakalar halinde serilir. Dolgu malzemesi, şartnameye uygun olmalı ve standart proktor deneyi ile bulunan maksimum kuru birim ağırlığının minimum % 95'i olacak şekilde sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırma işlemi sırasında panellerin doğrutusunun sapmaması için, kütlesi 1000 kg'dan fazla olan silindirler panellere 1.5 m'den fazla yanaşmamalıdır (Şekil 25). Panellere 1.5 m mesafe olan kısımda sıkıştırma, toplam kütlesi 1000 kg'dan az olan ve 1 m'lik genişlikte 1300 kg'dan ağır olmayan vibrasyonlu silindirle yapılır. Dolgu yapımı sırasında donatı şeritleri üzerine ekipman çıkartılmaz ve dolgu malzemesi panellere doğru itilmez. Şeritlere zarar vermemesi için dolgu malzemesi panellere paralel olarak serilmelidir. Donatı şeritleri bağlantı seviyesine gelinceye kadar dolguya devam edilir ve dolgu seviyesi belirtilen bağlantı seviyesinden daha düşük olması gerekmektedir.

Donatı şeritlerinin bağlantı seviyesinde düzgün olarak sıkışmış tabaka sathı oluşturulduğunda panellerin montajı, şeritlerin teşkili ve germe işleri tamamlanıp panel doğrultuları kontrol edildikten sonra yeni bir tabaka dolguya başlanılır. Dolgu yapımı sırasında hava etkilerinden, yağışlardan etkilenen tabakalar olursa, sıkışma şartlarını yeniden sağlayacak şekilde malzeme yerinde ripelenip havalandırılarak yeniden sıkıştırılır. Dolgu malzemesinin serimi ve sıkıştırılması sırasında panellerin oynamasına ve eğilmesine yol açmamak için gerekli önlemler alınmalıdır. Donatılı duvar yapımı sırasında günlük çalışmaların sonunda yapılan dolgunun son tabakası yağmur suyunun dolgu bünyesini ve panelleri etkilemeyecek şekilde düzenlenir (KTŞ, 2013).



Şekil 25: Dolgu sıkıştırma işlemi.

Prekast cephe panellerinin yerleştirilmesinden sonra estetikliği sağlamak amacıyla harpuşa montajı yapılır. Harpuşa montajında, harpuşanın kiriş donatıları yerleştirilir ve alt betonu dökülür. Harpuşa panelleri kirişe montaj edildikten sonra kiriş üst betonu dökülür ve toprakarme yapıların imalatı sonlandırılır (Şekil 26).



Şekil 26: Harpuşta montajı.

2.2 Yöntem

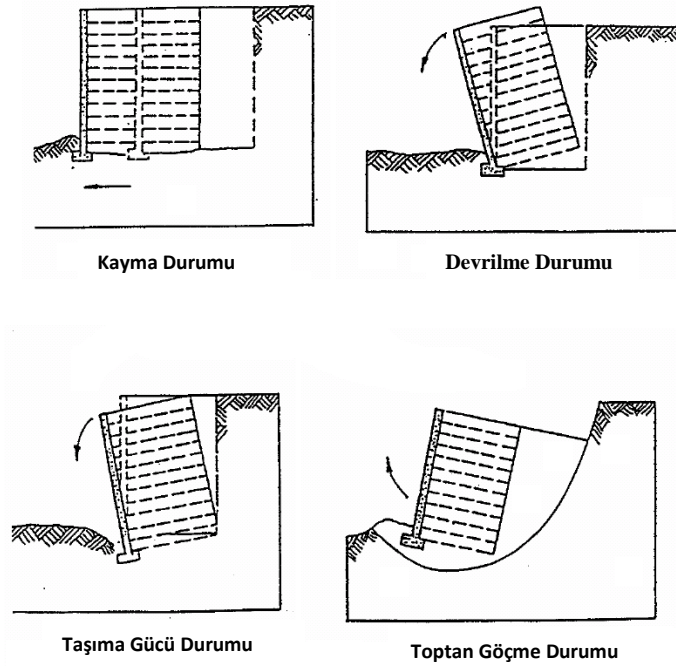
2.2.1 Şerit Donatılı Toprakarme İstinat Duvarının Projelendirilmesi

Şerit donatılı toprakarme istinat duvarının projelendirmesinde ilk olarak ön tasarım yapılır. Ön tasarımda donatı kesiti ve toplam donatı sayısı hesaplandıktan sonra yapının stabilitesi kontrol edilir. Şerit donatılı toprakarme istinat duvarının stabilitesi dış ve iç stabilite olarak iki aşamada hesaplanır.

2.2.1.1 Dış Stabilite

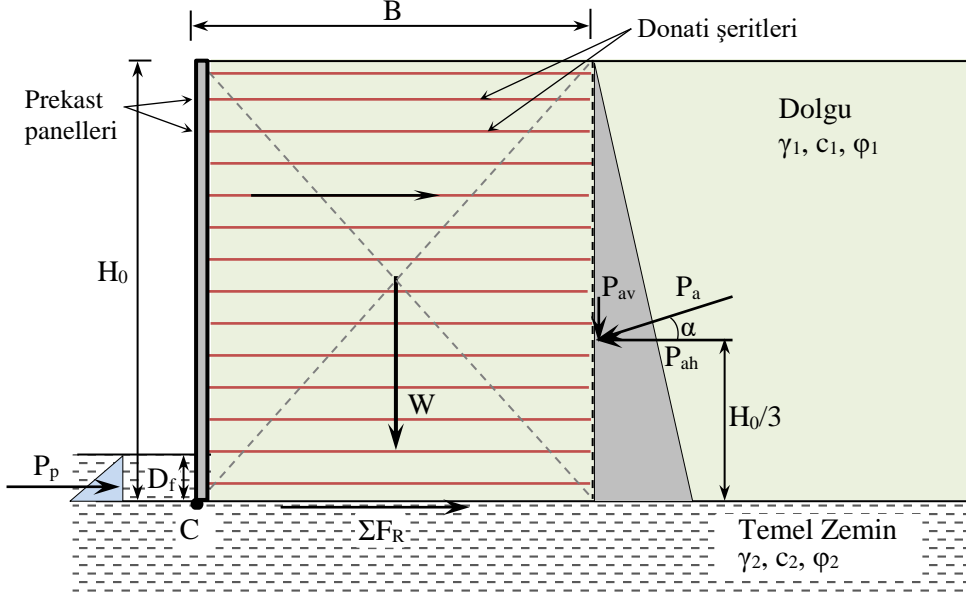
Şerit donatılı toprakarme istinat duvarının dış stabilite tahkiklerini değerlendirirken prekast panellerin ağırlığı ihmal edilerek sistemin bir ağırlık duvarı gibi çalışacağı kabul edilir. Bu kabule göre aşağıdaki tahkikler yapılır (Şekil 27).

- Taban kayma tahkiki
- Devrilme tahkiki
- Taşım gücü tahkiki
- Toptan göçme tahkiki



Şekil 27: Dış stabilite tahkikleri (TS 7994).

Toprakarme yapı bir ağırlık duvarı gibi düşünülürse bu yapıya etki edecek dış kuvvetler: aktif toprak basıncı (P_a), pasif toprak direnci (P_p) ve duvar ağırlığı (W) olmaktadır (Şekil 28).



Şekil 28: Şerit donatılı duvarı üzerine etki eden dış kuvvetler.

H_0 yüksekliğinde duvarı etkileyen toplam yanal kuvvet yanal basıncın yükseklik boyunca (H_0) entegrasyonla elde edilir. Dolayısıyla duvara gelen toplam aktif kuvvet (P_a) ve toplam pasif kuvvet (P_p) aşağıdaki eşitliklerle belirlenir (TS 7994).

$$P_a = \int_0^{H_0} K_a \gamma_1' z = \frac{1}{2} K_a \gamma_1' H_0^2 \quad (1)$$

$$P_p = \int_0^{H_0} K_p \gamma_1' z = \frac{1}{2} K_p \gamma_1' H_0^2 \quad (2)$$

Burada γ_1' dolgunun efektif birim hacim ağırlığı, K_a aktif yanal toprak basıncı katsayısı ve K_p : pasif yanal toprak basıncı katsayısıdır.

Bu yanal kuvvetler (P_a ve P_p) yanal toprak basıncı dağılım diyagramının merkezinde etkilidirler. Başka bir ifadeyle bu kuvvetlerin etkili olduğu seviye diyagram tabanından

itibaren $D_f/3$ 'tedir. Eğer yeraltı suyu varsa, yeraltı suyundan kaynaklanan su kuvvetinin de yanal zemin kuvvetlerine ilave edilmesi gerekir.

Bir noktadaki su basıncı (u):

$u = h_w z$ 'dir. Duvara etkiyen toplam su kuvveti de su basıncının suyun etkili olduğu derinlik boyunca entegrasyonu ile elde edilir (TS 7994).

$$P_w = \int_0^{h_w} \gamma_w z = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2 \quad (3)$$

Eğer yüzeye üniform q_s gerilmesi uygulanmışsa bu gerilmeden kaynaklanan üniform yanal gerilme, aktif veya pasif yanal toprak basıncı katsayısı ile çarpımı kadar olacaktır (TS 7994):

$$q_{s-a} = K_a q_s \quad (4)$$

$$q_{s-p} = K_p q_s \quad (5)$$

Yüzey yüklemesinden kaynaklanan duvara etkiyen toplam aktif ve pasif kuvvet ise aşağıda verilen denklemlerle belirlenmektedir (TS 7994):

$$Q_{s-a} = \int_0^{H_0} K_a q_s = K_a q_s H_0 \quad (6)$$

$$Q_{s-p} = \int_0^{H_0} K_p q_s = K_p q_s H_0 \quad (7)$$

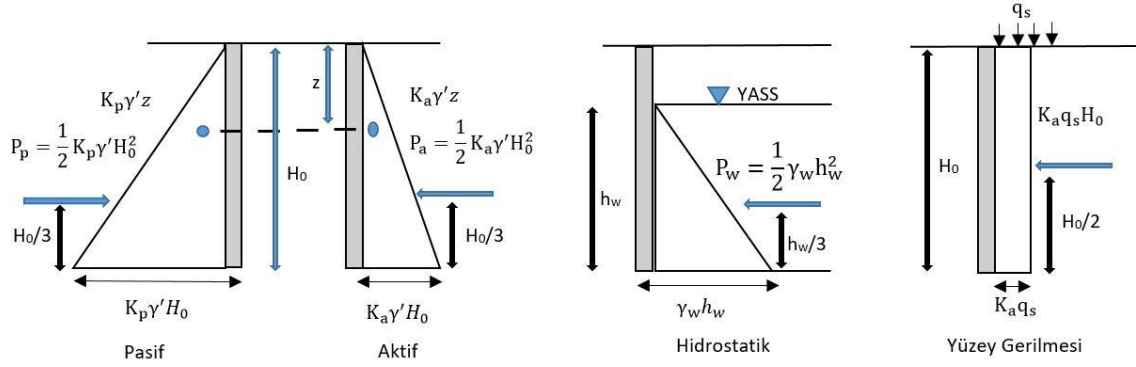
Bu kuvvetlerin uygulama merkezi duvar yüksekliğinin yarısı düzeyindedir.

Belirli bir derinlikte zemin, yeraltı suyu ve yüzey gerilmesinden kaynaklanan gerilmeler toplamı aşağıdaki eşitliklerden belirlenir (TS 7994):

$$\sigma'_{xa} = K_a \sigma'_z + K_a q_s + u \quad (8)$$

$$\sigma'_{xp} = K_p \sigma'_z + K_p q_s + u \quad (9)$$

Zeminden, sudan ve yüzey yüklemesinden kaynaklanan yanıl basıncın duvara etkisi Şekil 29'da gösterilmiştir.



Şekil 29: Zeminden, sudan ve yüzey yüklerde kaynaklanan yanıl basıncın duvara etkisi.

Eğimli yüzey ve sürtünmesiz duvar arkasında (Şekil 30) zeminden kaynaklanan duvara etki eden basınçların belirlenmesinde kullanılan K_{aR} aktif ve K_{pR} pasif Rankine basınç katsayıları aşağıdaki gibidir (TS 7994):

$$K_{aR} = \frac{\cos(\beta - n) \sqrt{1 + \sin^2 \varphi - 2 \sin \varphi \cos \theta_a}}{\cos^2 n (\cos \beta + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \beta})} \quad (10)$$

$$K_{pR} = \frac{\cos(\beta - n) \sqrt{1 + \sin^2 \varphi + 2 \sin \varphi \cos \theta_p}}{\cos^2 n (\cos \beta - \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \beta})} \quad (11)$$

$$\theta_a = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \frac{\beta}{2} - \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi} \right) \quad (12)$$

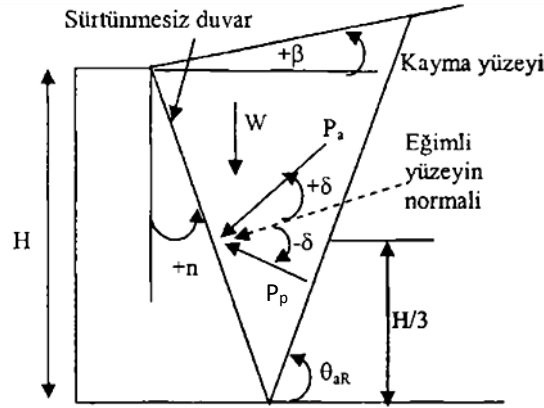
$$\theta_p = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} + \frac{\beta}{2} + \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi} \right) \quad (13)$$

Aktif ve pasif yanıl kuvvetler duvar normali ile aşağıda verilen δ açıları yaparlar (TS 7994):

$$\delta_a = \tan^{-1} \left(\frac{\sin\varphi \sin\theta_a}{1 - \sin\varphi \cos\theta_a} \right) \quad (14)$$

$$\delta_p = \tan^{-1} \left(\frac{\sin\varphi \sin\theta_p}{1 + \sin\varphi \cos\theta_p} \right) \quad (15)$$

Duvar-zemin ara yüzeyinin düşey olması durumunda ise aktif ve pasif yanal kuvvetler zemin yüzeyine paraleldirler.



Şekil 30: Duvar yüzeyi eğimli olması halinde oluşan ve duvara etki eden kuvvetler (Özdemir, 2008).

a) Taban Boyunca Kayma Tahkiki

Taban boyunca kaymaya karşı güvenlik katsayısı

$$G_{s-kayma} = \frac{\Sigma F_R}{\Sigma F_d} = \frac{T_f + P_p}{P_{ah}} = \frac{(\Sigma V)\tan\varphi_2 + Bc_2 + P_p}{P_a \cos\alpha} \quad (16)$$

Denklemler ile elde edilir. En düşük güvenlik sayısı 1.5 alınmalıdır (TS 7994).

Burada ΣF_R kaymayı önleyen kuvvetler toplamı, ΣF_d kaydırıcı kuvvetler toplamı, $\Sigma V = W + P_a \sin\alpha$ duvar tabanına etki eden düşey kuvvet, B donatı şerit boyu (duvar taban genişliği), c_2 ve φ_2 temel zeminin kohezyonu ve içsel sürtünme açısıdır. Yapının ekonomik ömrü içerisinde duvar önündeki zeminde kazı yapılmayacağına emin olunamıyorsa denklem (16)'daki pasif toprak direnci (P_p) ihmal edilir.

b) Devrilme Tahkiki

Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı aşağıdaki eşitlikten belirlenir.

$$G_{s-devrilme} = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_O} = \frac{W(B/2) + P_a \sin \alpha \cdot B}{P_a \sin \alpha \cdot (H/3)} \geq 1,3 \quad (17)$$

Burada:

ΣM_O : C noktası (Şekil 28) etrafında devirmeye çalışan kuvvetlerin momentlerinin toplamı

ΣM_R : C noktası etrafında devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin momentlerinin toplamıdır.

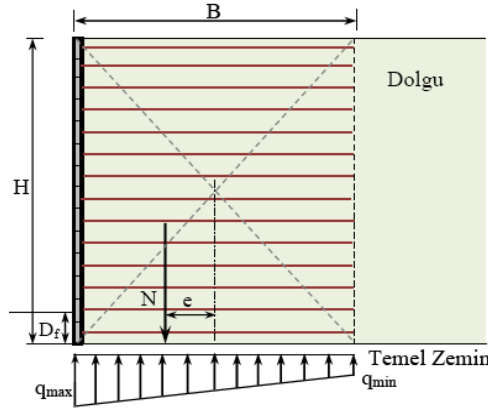
Yapıya etki eden kuvvetler ve eğilme momentleri tek bir normal kuvvete (N) dönüştürülürse (Şekil 31) bu kuvvet eksantriklik (e) kadar duvar ortasından uzaklaşacaktır. Eksantrikliğin $e < B/6$ 'dan küçük olması durumunda devrilme meydana gelmez ve devrilme tahkiki yapılmasına gerek yoktur (Maksimovic, 2008).

c) Taşıma Kapasitesi Kontrolü

Eksantriklik (e) artarak $B/6$ 'dan daha büyük olduğunda q_{min} negatif olur ve bu durumda tabanda çekme gerilmeleri oluşur. Zeminin çekme gerilmelerine karşı direnci çok az olduğundan bu istenmeyen bir durumdur. Bu durumda duvardaki oranlar yeniden belirlenerek çekme gerilmelerinin oluşmasının önüne geçilmelidir. $e \leq B/6$ (Şekil 31) durumunda taban basıncı (TS 7994);

$$q_{min}^{max} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad (18)$$

Taşıma gücü kontrolünde q_{max} inceleme yapılır, maksimum taban basıncının temelin taşıma gücünü aşmaması gerekir.



Şekil 31:Eksantrik yüklü şerit donatılı toprakarme istinat duvarı altında taban basıncı dağılımı.

Donatılı toprakarme istinat duvarı bir şerit temel olarak düşünülürse, nihai taşıma gücü Terzaghi taşıma gücü formülünden (19) belirlenebilir.

$$q_u = cN_c + D_f \gamma_1 N_q + 0,5B\gamma_2 N_\gamma \quad (19)$$

Burada: c duvar altındaki zeminin kohezyon katsayısı, B duvar taban genişliği (çelik donatı boyu), D_f temel derinliği, N_c , N_q ve N_γ temel zeminin içsel sürtünme açısına (φ) bağlı taşıma gücü faktörleridir.

Taşıma gücü güvenlik sayısı (TS 7994):

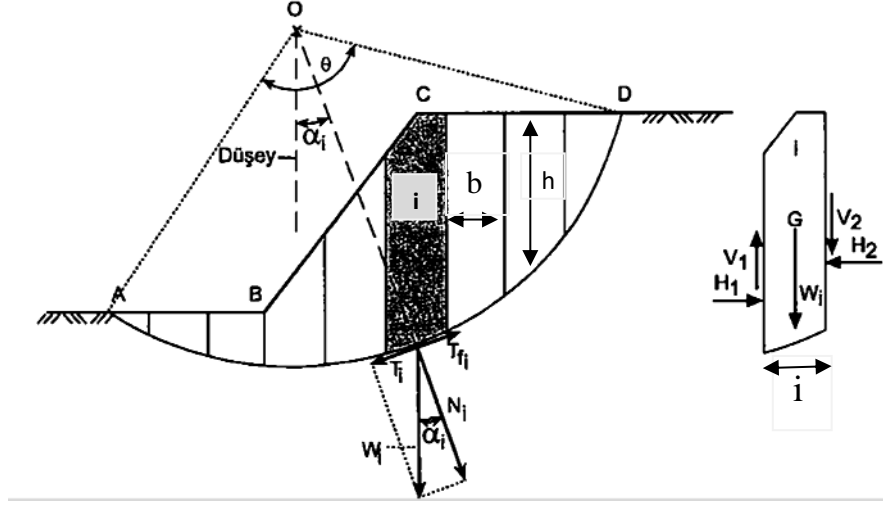
$$G_{S-\text{taşıma gücü}} = \frac{q_u}{q_{\max}} \geq 3 \quad (20)$$

olması gerekmektedir.

d) Toptan Göçme Tahkiki

Şerit donatılı toprakarme istinat duvarı için tüm tahkikler yapıldığında, güvenlik katsayıları istenen değerlerde sağlansa da birçok durumda kazı sonucu beliren değişiklikler duvarın yapıldığı bölgede zeminin dengesini kaybederek duvarla birlikte göçmesi ihtimalini artırmaktadır. Bu nedenle toptan göçme tahkikinin yapılması gerekmektedir. Duraylılık analizi İsveç Dilim Yöntemi ile yapılabilir.

İsveç Dilim Yönteminde, ABCDA alanı düşey dilimlere bölünür (Şekil 32). Dilim yan yüzlerine etkiyen kuvvetlerin birbirini dengelediği kabul edilir. Herhangi bir i diliminin ağırlığı W_i , dilim tabanında, normal (N_i) ve teğetsel (T_i) doğrultularda iki bileşene ayrılabilir.



Şekil 32: İsveç Dilim Yöntemi (TS 7994).

$$N_i = W_i \cos \alpha_i, \quad T_i = W_i \sin \alpha_i \quad (21)$$

Burada:

α_i ; dilim tabanı yay ortasını. O merkezine birleştiren doğrunun, O merkezinden geçen düşey doğrultu ile yaptığı açıdır. Dilimin kaymasına karşı koyan kuvvet zeminin kayma direncinden meydana gelip aşağıdaki gibidir (TS 7994).

$$T_{fi} = \Delta L \tau_f = \Delta L (c + \sigma_n \tan \varphi) = \Delta L \left(c + \frac{N}{\Delta L} \tan \varphi \right) = \Delta L c + N \tan \varphi \quad (22)$$

ΔL , dilimin yay uzunluğudur. Güvenlik sayısı kaymaya karşı koyan momentlerin toplamı, kaydıran kuvvetlerin momentlerinin toplamının oranına eşittir (TS 7994).

$$G_s = \frac{\Sigma(\Delta L c + N \tan \varphi) r}{\Sigma(W \sin \alpha) r} \quad (23)$$

Bu ifadede moment kolları reşit olduğundan aşağıdaki şekli alır.

$$G_s = \frac{Lc + \tan\varphi\Sigma N}{\Sigma T} \quad (24)$$

L, AD yay uzunluğudur ($2\pi r\theta/360$).

2.2.1.2 İç Stabilite

İç dengede, donatıların çekme gerilmeleri altında kopması ve yetersiz sürtünme sebebiyle dolgu zemininden sıyrılması incelenir (TS 7994). Bu inceleme sonucunda gerekiyorsa donatıların sayısı, boyutları ve dolgu içine yerleştirme aralıkları yeniden belirlenir.

a) Donatı Kopma Tahkiki

Donatının yapıldığı malzemenin çekme dayanımı, uygun bir güvenlik sayısına bölünerek bulunur. Bir donatının taşıyabileceği maksimum çekme kuvveti T_i (Şekil 33) aşağıdaki ifade ile hesaplanır (TS 7994).

$$T_i = T_{hi} + T_{qi} + T_{si} + T_{fi} + T_{mi} \quad (25)$$

Burada:

T_{hi} : Zemin yükünden oluşan çekme kuvveti

T_{qi} : Yayılı yükten oluşan çekme kuvveti

T_{si} : Düşey yükten oluşan çekme kuvveti

T_{fi} : Yatay yük

T_{mi} : Düşey yükten oluşan moment etkisidir.

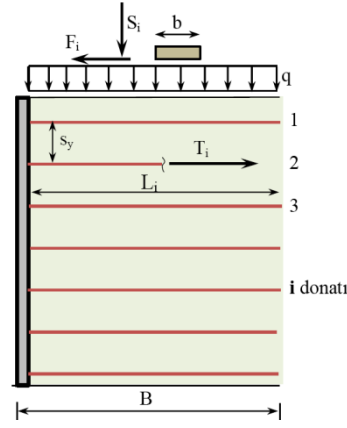
Zemin yükünden oluşan çekme kuvveti T_{hi}

$$T_{hi} = (K_a \gamma h_i - 2c\sqrt{K_a})s_y \quad (26)$$

Yayılı yükten oluşan çekme kuvveti T_{qi}

$$T_{qi} = K_a q s_y \quad (27)$$

şeklinde hesaplanır. s_y donatılar arası düşey aralık, q yayılı yük anlamına gelmektedir.



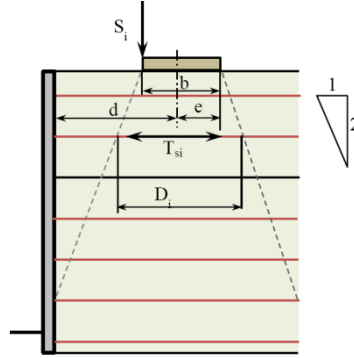
Şekil 33: Çekmeye etki eden kuvvetler (TS 7994).

Düsey yükten oluşan kuvvet T_{si} (Şekil 34);

$$T_{si} = K_a s_y \frac{S_i}{D_i} \left(1 + \frac{6e}{b}\right) \quad (28)$$

$$h_i < 2d - b \text{ ise } D_i = h_i + b \quad (29)$$

$$h_i > 2d - b \text{ ise } D_i = d + \frac{h_i + b}{2} \quad (30)$$



Şekil 34: Dış yüklerin donatıda oluşturduğu etki (TS 7994).

Yatay yük T_{fi} ise Şekil 33'ten

$$T_{fi} = 2s_y F_i Q (1 + h_i Q) \quad (31)$$

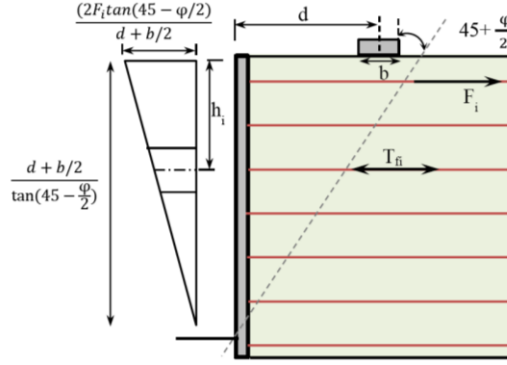
$$Q = \frac{\tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)}{d + \frac{b}{2}} \quad (32)$$

Düsey yükten oluşan moment etkisi;

$$T_{mi} = \frac{6K_a S_y M_i}{L_i^2} \quad (33)$$

$$M_i = F_i h_i \quad (34)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.



Şekil 35: Yatay yükün donatılara etkisi (TS 7994).

Burada L_i donatılan bölgenin efektif uzunluğu, S_y düşey yük F_i yatay yük, b yayılı yük genişliği, h_i şerit üzerindeki dolgu yüksekliği, d yayılı yük ortası ile duvar yüzeyi arasındaki mesafe anlamına gelmektedir (Şekil 35). Maksimum çekme kuvveti hesaplandıktan sonra, şeritlerin kopma dayanımının kontrolü aşağıdaki kriterle yapılır (TS 7994).

$$T_{imax} < P_{at} b_s t \quad (35)$$

Burada P_{at} izin verilebilir çekme gerilmesi, b_s donatı genişliği ve t donatı kalınlığı anlamına gelmektedir.

b) Donatı Sıyırılma Tahkiki

Donatı sıyırılma incelemesinde, dolgu üst yüzeyinden h_i derinliğinde ve L_i uzunluğunda bir donatının iki yüzünde meydana gelen sürtünme kuvveti (sıyırılma direnci), donatıların kalınlığı ihmal edilebileceğinden;

$$T_i = (P_i/2)(L_i(\gamma h_i + q) + cL_i) \quad (36)$$

ifadesi ile hesaplanır (TS 7994). Burada $P_i = \alpha \tan \phi$ sürtünme katsayısı olup ($0,5 < \alpha < 1$) α değerleri arasında olmalıdır.

2.2.2 Toprakarme İstinat Duvar Yazılımı (iCad Toprakarme)

Toprakarme istinat yapılarının tasarımının daha hızlı ve daha kolay yapılması amacıyla numerik analiz programları kullanılmaktadır. Kullanılan bu yazılımlarla sayesinde toprakarme sisteminin çözümlenmesinde yapılacak tahkikler doğrulanmaktadır. Toprakarme yapıların stabilite analizlerinde kullanılan numerik analiz programlarından biri de Analiz Yapı Şirketinin geliştirmiş olduğu iCad Toprakarme paket programıdır. Bu yazılım sayesinde donatı türü, zemin cinsi, tabakalı zemin profili, su etkisi, şerit yük, eksantrik yük, farklı yanal toprak basınç katsayıları ve deprem etkisi gibi faktörler dikkate alınarak toprakarme yapıların iç ve dış stabilite analizleri hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

iCad Toprakarme programı kullanılarak;

Tabakalı Zemin Analizi: İstenilen sayıda tabaka tanımlanabilir. Tabakalar efektif veya toplam gerilme yöntemi ile analiz edilebilir. Sükûnetteki durum dikkate alınabilir. Sükûnetteki durum için farklı yöntemlerle çözüm yapılabilir. Zeminin kohezyonu, adezyonu, duvar-zemin sürtünme açısı dikkate alınabilir.

Donatı türü seçimi: Duvar modellemesinde metal şerit yada geotekstil donatı kullanılabilir.

Stabilite analizleri: Statik ve dinamik durumlar için kayma, devrilme, zemin taşıma kapasitesi, toptan göçme analizi, oturma ve dönme açısı hesabı yapılabilir.

İç stabilite analizleri: Statik ve dinamik durum için kopma, sıyrılma ve bağlantı noktası dayanımı kontrolleri yaptırılabilir.

Farklı basınç katsayı yöntemleri ile analiz: Kullanıcı aktif durum için Coulomb, Rankine, Caquot-Kerisel ve MullerBreslau yöntemleri ile pasif durum için Coulomb, Rankine, Caquot-Kerisel, Sokolovski yöntemleri ile sükunetteki durum için Jacky, Danimarka, Aşırı Konsolidasyon ve Kohezif yöntemleri basınç katsayılarını hesaplayabilir.

Deprem: Deprem etkisi opsiyoneldir. Deprem etkime şekli parabol yada ters üçgen şeklinde seçilebilir. Sismik katsayılar, Deprem yönetmeliğimize ve Hindistan deprem yönetmeliğine göre hesaplanabilir yada manuel olarak girilebilir.

Su etkisi: Duvarın arkasında ve önünde su tanımlanabilir. Duvar önündeki su zeminin içerisinde veya üzerinde olabilir. Suyun kaldırma kuvveti ve gerilme çatlağı dikkate alınarak analiz yaptırılabilir. Yüzdürme kontrolü yaptırılabilir.

Sürsarj yükleri: İstenilen sayıda yayılı yük, şerit yük, trapez yük, çizgisel yük, yamuk yük, rampa yük, üçgen yük ve noktasal yük tanımlanabilir.

Farklı kayma yüzeyleri ile hesap: Uzayabilen (Üçgen kayma yüzeyi) yada uzayamayan (yamuk kayma yüzeyi) ile analiz yapılabilir.

Zemin sınıfları kütüphanesi: USCS ASTM D 2487 ye göre oluşturulan zemin sınıfları kütüphanesinden 24 farklı zeminin farklı zemine ait bilgilere görüntülenebilir. Geliştirilen Manuel Zemin Sınıfı Hesaplama modülü, girilen bilgilere göre zemin sınıfını bulabilir.

Zemin taşıma kapasitesi hesap yöntemi: Teorik dağılım yada Meyerhoff yöntemi ile hesap yapılabilir.

Zemin emniyet gerilmesi hesap yöntemi: Modellenen duvara ait zemin ve geometri bilgileri kullanılarak zeminin taşıma gücü ve zemin emniyet gerilmesinin hesabı yapılabilir.

Eksantriste kontrolü: Eksantriste kontrolü yaptırılabilir.

Kama ağırlığı: Kama ağırlığından doğan deprem etkisi dikkate alınabilir.

Sükûnetteki durum: Sükûnetteki durum dikkate alınabilir. Sükûnetteki durum için farklı yöntemlerle çözüm yapılabilir

Pasif itki: Duvar önündeki pasif itki dikkate alınabilir veya ihmal edilebilir. Pasif itki bir katsayı ile azaltılabilir.

Çizim: Duvar genel geometrisi otomatik çizimi

Raporlar: Tüm analizlerin sonuçlarını veren genel rapor yaptırılabilir.

Toprakarme yapıların stabilite analizlerinde etkin bir şekilde kullanılan nümerik yazılıma ilişkin ayrıntılı açıklamalar EK 1' de verilmiştir.

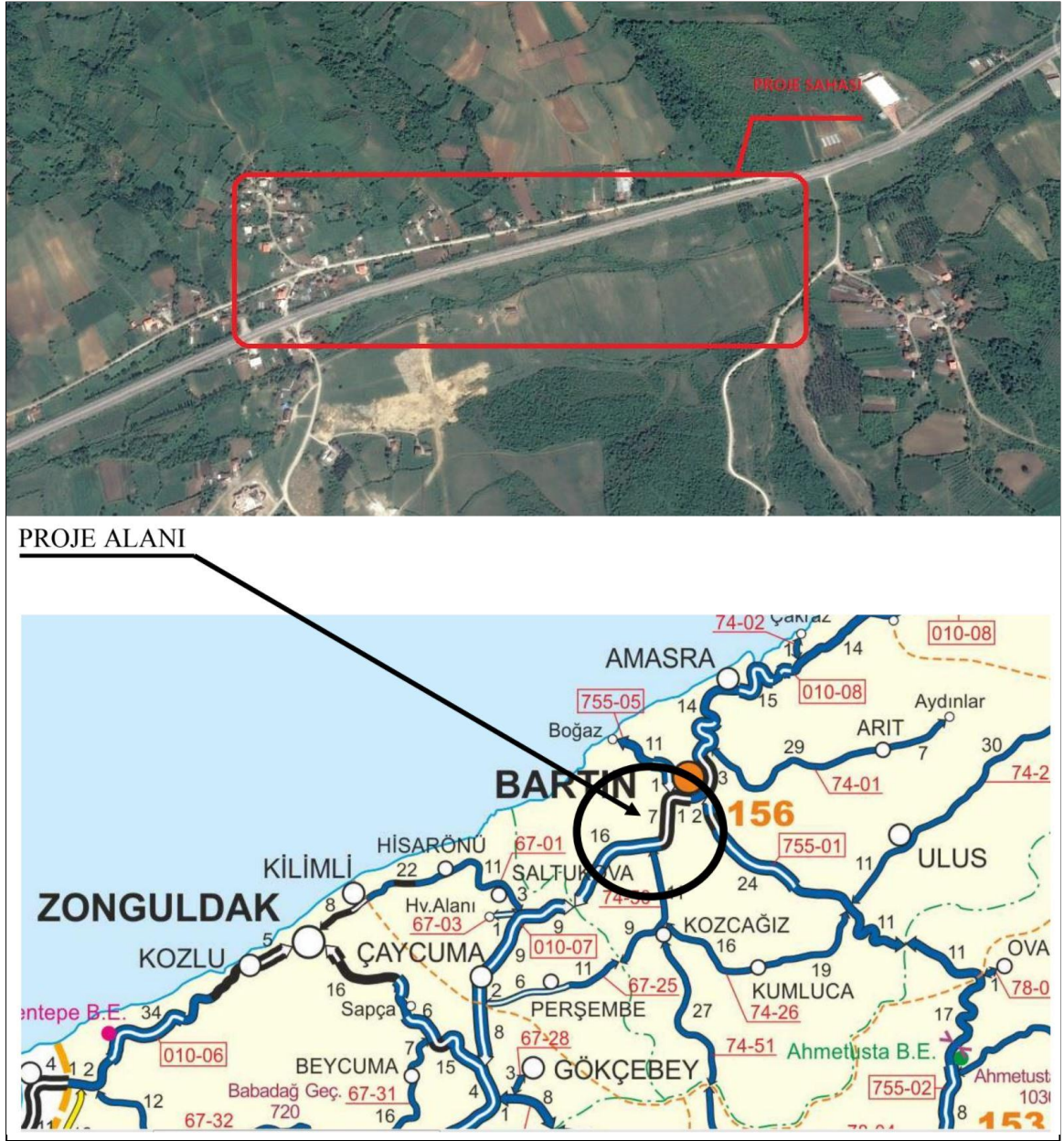
iCad Toprakarme programında analizi yapılacak toprakarme duvarın ilk aşamada geometrik bilgileri girilir, sonraki aşamada ise zemin bilgileri, şerit donatı bilgileri gibi diğer parametreler tanımlanır. Kullanılan yazılım ile tasarlanan toprakarme yapılar için belirlenen güvenlik katsayılarına bağlı olarak analiz gerçekleştirilir

2.2.3 Vaka Analizi

Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü girişi ile Bartın-Ankara karayolu bağlantısı köprülülük kavşak ile yapılması düşünülmektedir. Hızlı, estetik ve deprem dayanımı yüksek olması sebebiyle köprünün yaklaşım rampasının şerit donatılı toprakarme istinat duvar ile yapılması öngörülmüştür. Toprakarme duvarının yüksekliği 3.7 metre dolgu genişliği 12 metredir. Köprüye 1/100 eğimle yaklaşması planlanmıştır. Projenin yapıldığı alan Bartın ili Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü mevkiinde yer almaktadır. Proje sahasının yer bulduru haritası Şekil 36'da verilmiştir.

Toprakarme sistemin uygulanabilirliğinin araştırılması kapsamında iki adet temel sondajı yapılmış, örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Sondaj logları Şekil 37 ve 38'de verilmiştir. Alınan numuneler üzerinde zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyen deneyler yapılmıştır. Proje güzergahı boyunca geçilen birimler Çaycuma Formasyonu açık yeşil, gri renklerde ince-orta katmanlı kumtaşı, silttaşı, kiltası ve

kireçtaşının ar dalanmasının hakim olduğu volkanizmanın da eşlik ettiği bir birimdir. Donatılı yapı Çaycuma formasyonunun ayrışması sonucu oluşan kil üzerine oturmaktadır.



Şekil 36: Yer bulduru haritası.

| Derinlik (m) | Günlük Durum | | Kuyu çapı ve kesici uç cinsi | Muhafaza borusu ve çimentolama | Sondaj suyu (renk ve %) | Basınçlı Su Testi | | | | Pressüremeter Test | | SPT | | | KAYA ÖZELLİKLERİ | | | | JEOLOJİK KESİT | TANIMLAMA | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------------|--|---------------|---------------|------------------|-----------------------------------|-------------------|-----|----------------|-----------|----------------------|------------------|--------------|
| | İlerleme (m) | Su seviyesi (m) | | | | Basınç (kg/cm ²) | 5 dakika kayıp (I) | 5 dakika kayıp (II) | Toplam kayıp | Lugeon | Pres. Mod. (EM) (kg/cm ²) | Net Lim. Pres. (PL*) (kg/cm ²) | Darbe sayısı | | | Taşıma gücü (kg/cm ²) | Karot yüzdesi (%) | RQD | | | Çatlak sıklığı (#/m) | Ayrışma derecesi | |
| | | | | | | | | | | | | | 1. 15 cm için | 2. 15 cm için | 3. 15 cm için | | | | | | | | TOPLAM DARBE |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ | | PERMABİLİTE | | LUGEON | | KAYA NİTELİĞİ (RQD) | | AYRIŞMA DERESESİ (W) | | ÇATLAK SIKLIĞI | | | | | | | | | | | | | |
| Ince Tane | İri Taneli | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 - 2 Ç Yumuşak | 0 - 4 Ç Gevşek | <10 ⁻⁶ | Geçirimsiz | < 1 | Geçirimsiz | 0 - 25 | Çok Zayıf | W1 | Taze (Ayrışmamış) | < 1 | Masif | | | | | | | | | | | | |
| 3 - 4 Yumuşak | 5 - 10 Zayıf | 10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁵ | Az geçirimli | 1 - 5 | Az geçirimli | 25 - 50 | Zayıf | W2 | Az Ayrışmış | 1 - 3 | Az çatlaklı - kırıklı | | | | | | | | | | | | |
| 5 - 8 Orta katı | 11 - 30 Orta sıkı | 10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁴ | Yarı geçirimli | 5 - 25 | Geçirimli | 50 - 75 | Orta | W3 | Orta Ayrışmış | 3 - 10 | Kırıklı | | | | | | | | | | | | |
| 9 - 15 Katı | 31 - 50 Sıkı | 10 ⁻⁴ - 10 ⁻³ | Geçirimli | >25 | Çok geçirimli | 75 - 90 | İyi | W4 | Çok Ayrışmış | 10 - 50 | Çok çatlaklı-kırıklı | | | | | | | | | | | | |
| 16 - 30 Çok katı | >50 Çok sıkı | >10 ⁻³ | Çok geçirimli | | | 90 - 100 | Çok İyi | W5 | Tamamen Ayrışmış | > 50 | Parçalanmış | | | | | | | | | | | | |

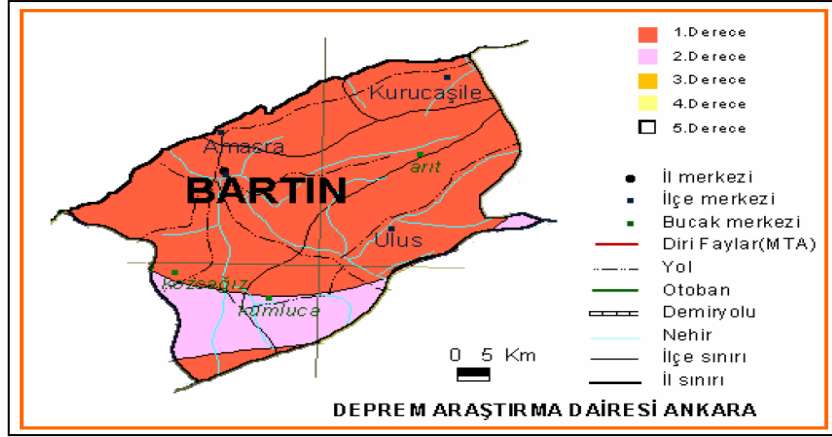
Şekil 37: 1 Nolu sondaj logu (Hendese, 2010).

| Derinlik (m) | Günlük Durum | | Sondaj suyu (renk ve %) | Basınçlı Su Testi | | | Pressürometer Test | | SPT | | | | KAYA ÖZELLİKLERİ | | | | JEOLOJİK KESİT | TANIMLAMA | | |
|------------------------------|--------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------|---------------------------------------|--|-------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------|-----------|----------------------|------------------|
| | İlerleme (m) | Su seviyesi (m) | | Basınç (kg/cm ²) | 5 dakika kayıp (I) | 5 dakika kayıp (II) | Toplam kayıp | Lugeon | Pres. Mod. (EM) (kg/cm ²) | Net Lim. Pres. (Pl.) (kg/cm ²) | Darbe sayısı | | | Teşirime gücü (kg/cm ²) | Karatil yüzdesi (%) | ROD | | | Çatlak sıklığı (#/m) | Ayrışma derecesi |
| | | | | | | | | | | | 1. 15 cm için | 2. 15 cm için | 3. 15 cm için | | | | | | | |
| 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ | | | | PERMİBİLİTE | | | | LUGEON | | | | KAYA NİTELİĞİ (ROD) | | AYRIŞMA DERECESİ (W) | | ÇATLAK SIKLIĞI | | | | |
| İnce Tane | | İr Taneli | | <10 ^µ | Geçirimsiz | < 1 | Geçirimsiz | 0 - 25 | Çok Zayıf | W1 | Taze (Ayrışmamış) | < 1 | Mesif | | | | | | | |
| 0 - 2 | Ç Yumuşak | 0 - 4 | Ç Gevşek | 10 ^µ - 10 ^µ | Az geçirimsiz | 1 - 5 | Az geçirimsiz | 25 - 50 | Zayıf | W2 | Az Ayrışmış | 1 - 3 | Az çatlaklı - kırıklı | | | | | | | |
| 3 - 4 | Yumuşak | 5 - 10 | Zayıf | 10 ^µ - 10 ^µ | Az geçirimsiz | 5 - 25 | Az geçirimsiz | 50 - 75 | Orta | W3 | Orta Ayrışmış | 3 - 10 | Kırıklı | | | | | | | |
| 5 - 8 | Orta kalı | 11 - 30 | Orta sıkı | 10 ^µ - 10 ^µ | Yarı geçirimsiz | >25 | Çok geçirimsiz | 75 - 90 | İyi | W4 | Çok Ayrışmış | 10 - 50 | Çok çatlaklı - kırıklı | | | | | | | |
| 9 - 15 | Katı | 31 - 50 | Sıkı | 10 ^µ - 10 ^µ | Geçirimsiz | | | 90 - 100 | Çok İyi | W5 | Tamamen Ayrışmış | > 50 | Parçalanmış | | | | | | | |
| 16 - 30 | Çok katı | >50 | Çok sıkı | >10 ^µ | Çok geçirimsiz | | | | | | | | | | | | | | | |
| >30 | Sert | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Şekil 38: 2 Nolu sondaj logu (Hendese, 2010).

Bartın ili, Türkiye Deprem Haritasına göre 1. Derecede deprem bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 39). Çalışma alanı içerisinde herhangi bir aktif fay bulunmamaktadır. Ancak çalışma alanının yaklaşık 100 km güneyinden Kuzey Anadolu Fay Sistemine ait Ladik-Tosya ve Gerede-Bolu fay segmentleri geçmektedir. Çalışma alanının Kuzey-Kuzey doğusunda, deniz tabanında 03.09.1968 tarihinde Ms=6.5 büyüklüğünde depreme neden

olmuş bir ters fay yer almaktadır (Hendese, 2010). Bu çalışmada toprakarme duvar tasarımında bu şartlar dikkate alınmıştır. Toprakarme proje paftaları Ek 2’de verilmiştir.



Şekil 39: Bartın ili deprem haritası (URL-2, 2016).

Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü girişi ile Bartın-Ankara karayolu bağlantısında yapılması düşünülen şerit donatılı toprakarme yapısında, imalatın karayolları teknik şartnamesine uygunluğunun kontrolü için temel zemin üzerinde arazi ve laboratuvar deneyleri, dolgu malzemesi üzerinde yapılan deneyler, beton deneyleri ve şerit donatı çekme deneyleri yapılmıştır.

2.2.3.1 Temel Zemin Üzerine Yapılan Deneyler

Temel zemin üzerinde elek analizi, kıvam limitleri ile üç eksenli basınç deneyi yapılarak temel zemin özellikleri belirlenmiştir.

Elek analizi zemin tane kısmının büyüklüklerinin dağılım şekli ve miktarını belirtmekte kullanılan bir deneydir. Bu amaçla araziden gelen numune kurutulur. Numune, killi bir malzeme ise havada lastik uçlu tokmakla taneleri kırmadan dövülerek birbirine yapışmış olan tanelerin ayrılmasını sağlar. Böylece hazırlanmış numunedan belli bir miktar 0.1 gr duyarlıkta tartılıp kare açıklıklı eleklerden elenir. Her elek üzerinde kalan malzeme miktarı tartılır ve yüzdeleri hesaplanır. Elek ile üstündeki diğer eleklerde yüzde kalan miktarların toplamı yazılır. Elde edilen bu sonuçlara göre tane boyu dağılım eğrisi çizilir (Totiç, 2009).

Zeminin kendi ağırlığı altında akmaya başladığı andaki su muhtevasına likit limit, zeminin kırılmadan, kopmadan 3 mm çapında silindir haline getirilebildiği andaki su muhtevasına

da plastik limit denir. Likit limiti ile plastiklik limiti arasındaki farka plastiklik indisi adı verilir. Bu sayı, zeminin plastik halde bulunduğu kıvam bölgesini tayin eder (Totiç, 2009).

Üç eksenli deneyi, sabit çevre basıncı altında artan eksenel yüke maruz kalan silindirik zemin örneklerinin kayma dayanımı parametrelerinin saptanması amacıyla yapılır. Deney farklı çevre basınçları altında en az üç numune üzerine yapılır. Deney sonuçları kullanılarak mohr daireleri çizilir. Mohr dairelerine çizilen ortak teğetin yatay eksenle yaptığı açı içsel sürtünme açısı (ϕ), düşey eksen kestiği nokta kohezyon katsayısını (c) vermektedir (Totiç, 2009).

2.2.3.2 Dolgu Malzemesi Üzerinde Yapılan Deneyler

Dolgu malzeme üzerine elek analizi, kıvam limitleri, Standart Proktor deneyi, direkt kesme deneyi ve malzemenin elektrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi deneyleri yapılmıştır.

Zeminlerin taşıma gücünü artırmak, sabit, hareketli ve dinamik yükler altında meydana gelecek oturmaları azaltmak, zeminin geçirimliliğini azaltarak zeminlerin daha fazla su alıp hacimsel değişikliklerin oluşmasını önlemek amacıyla zeminlerin tabakalar halinde serilerek mekanik araçlar vasıtasıyla su ve tane hacmi sabit iken havanın dışarı atılıp zemin tanelerinin sıkıştırılması olayına kompaksiyon denir. Sıkıştırılmış bir zeminde, kompaksiyon derecesi o zemine ait kuru birim hacim ağırlığıdır. Standart proktor deneyinden elde edilen kuru birim hacim ağırlıklar su içeriğine karşı grafiğe geçirilerek kompaksiyon eğrisi çizilir ve maksimum kuru birim hacim ağırlığa karşı gelen su içeriği optimum su içeriği olarak belirlenir. Maksimum kuru birim hacim ağırlık dolguda kullanılacak malzeme için %100 sıkışma olarak kabul edilir (Aytekin, 2004).

Sıkışma kontrolü kum konisi deneyi ile yapılır. Kum konisi deneyi ile arazide sıkıştırılmış malzemenin tabii kuru birim hacim ağırlığı tespit edilir. Kum konisi deneyi TS 1900-1 standartlarına göre yapılır. Bu deney ile elde edilen tabii birim hacim ağırlığının proktordan elde edilen tabii birim hacim ağırlığa yüzde olarak oranı sıkışmanın yüzdesini verir (Aytekin, 2004).

Direkt kesme kutusu deneyinin amacı sıklıkları farklı olan kohezyonlu veya kohezyonsuz zemin numunesine kesme kuvveti uygulayarak zemin numunesinin kayma parametrelerini

(kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısını (ϕ)) bulmaktır. Deney değişik düşey sabit yükler altında birkaç kez tekrarlanır. Deney sonuçları τ ve σ eksen takımında işaretlenerek bir doğru geçirilir. Bu doğrultunun yatayda yaptığı açı içsel sürtünme açısını (ϕ), τ eksenini kestiği noktası ise kohezyon (c) değerini verir (Totiç, 2009).

Dionex Ics-1100 iyon kromatografî cihazı ile dolgu malzemesinin elektrokimyasal özellikleri belirlenmiştir.

2.2.3.3 Beton Deneyleri

Beton taze halde iken standartlarda belirtildiği usullere göre (TS EN12350-1) küp şeklindeki kalıplara yerleştirilmekte ve bir gün sonra kalıplardan çıkarılmaktadır. Kalıplardan çıkarılan sertleşmiş beton numuneleri, deney tarihine kadar beton standartlarının belirttiği kür ortamında saklandıktan sonra, TS EN 12390-3'e uygun üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır. Beton döküm esnasında her bir yapı için 3 farklı numune alınmış ve standart basınç deneyine tabi tutulmuştur.

2.2.3.4 Şerit Donatı Çekme Deneyleri

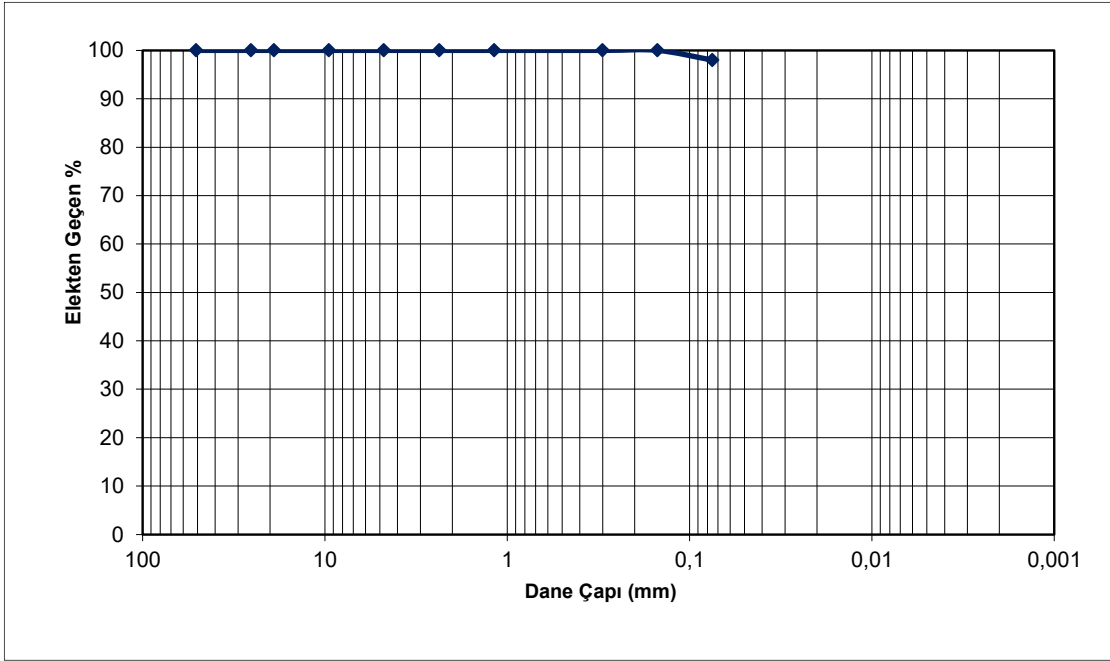
Kullanılan çelik donatı genişliği 80 mm ve kalınlığı 5 mm olan galvaniz çelik şeritlerdir. KTS' ye uygun olup olmadığının kontrolü amacıyla ASTM E8-E8M standardına göre şerit donatılar çekme deneyine tabi tutulmuştur. Çekme deneyi ile malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışları belirlenmektedir. Deney, boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney numunesinin çekme cihazına bağlanarak artan aksenal kuvvetin uygulanması ve uygulanan kuvvete karşılık gelen uzamanın ölçülmesi esasına dayanır.

BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

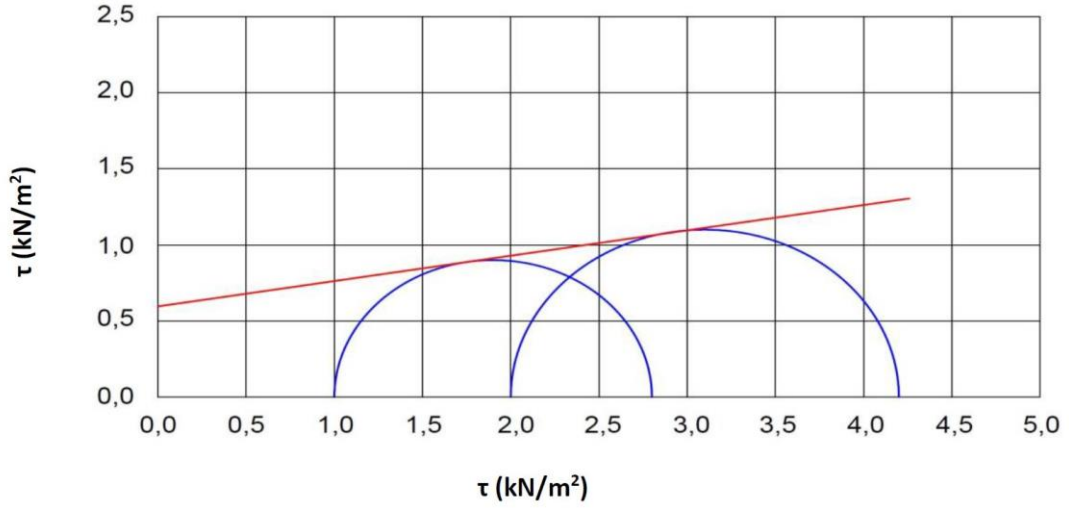
3.1 Temel Zemin Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları

Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü girişi ile Bartın-Ankara karayolu bağlantısı köprülülü kavşak projesi kapsamında, saha araştırmaları sonuçları değerlendirilerek, imalatı planlanan toprakarme duvara ait proje verileri elde edilmiştir. Temel zeminde alınan numunelerde elek analizi ve likit limit, plastik limit deneyleri yapılmıştır. Elek analizi sonucunda çizilen granülometri eğrisi Şekil 40'ta verilmiştir. Temel zeminin likit limiti 80, plastik limiti 28 olarak bulunmuştur. Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine göre zemin grup sembolü CH'dir.



Şekil 40: Temel zemin granülometri eğrisi.

Temel zemin araştırması kapsamında alınan örselenmiş-örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları Şekil 41'de verilmiştir. Temel zemin özellikleri ise Tablo 5'de gösterilmiştir.



Şekil 41: Üç eksenli basınç deneyi sonuçları.

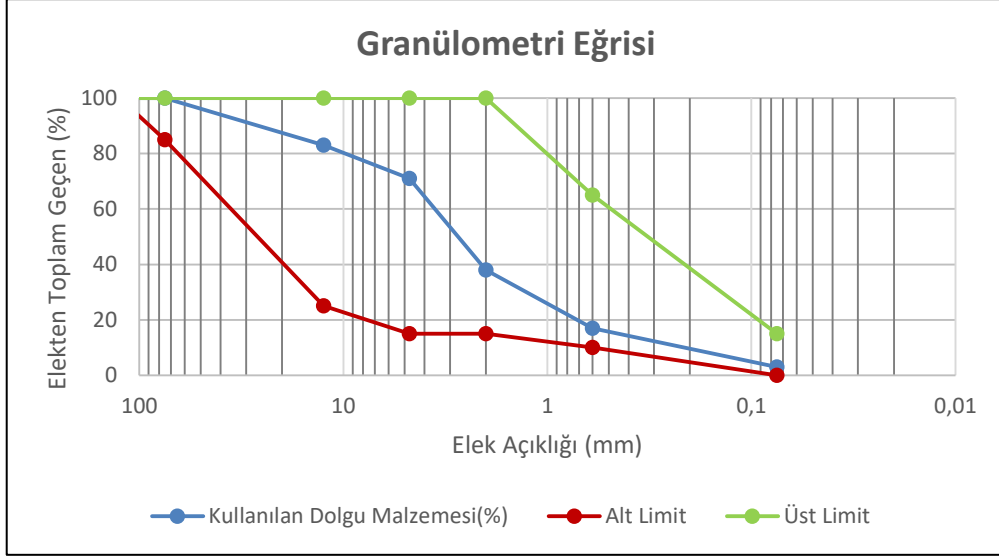
Tablo 5: Temel zemin özellikleri.

| Zemin Özelliği | Değer |
|---|-------|
| Doğal birim hacim ağırlık (γ_n) (kN/m ³) | 18.14 |
| Su muhtevası w (%) | 32 |
| Likit Limit LL | 80 |
| Plastik Limit PL | 28 |
| No 4'te kalan (%) | 0 |
| No 200'den geçen (%) | 98 |
| Zemin Sembolü | CH |
| İçsel sürtünme açısı ϕ (Derece) | 8 |
| Kohezyon katsayısı c (kN/m ²) | 65 |

3.2 Dolgu Malzemesi Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları

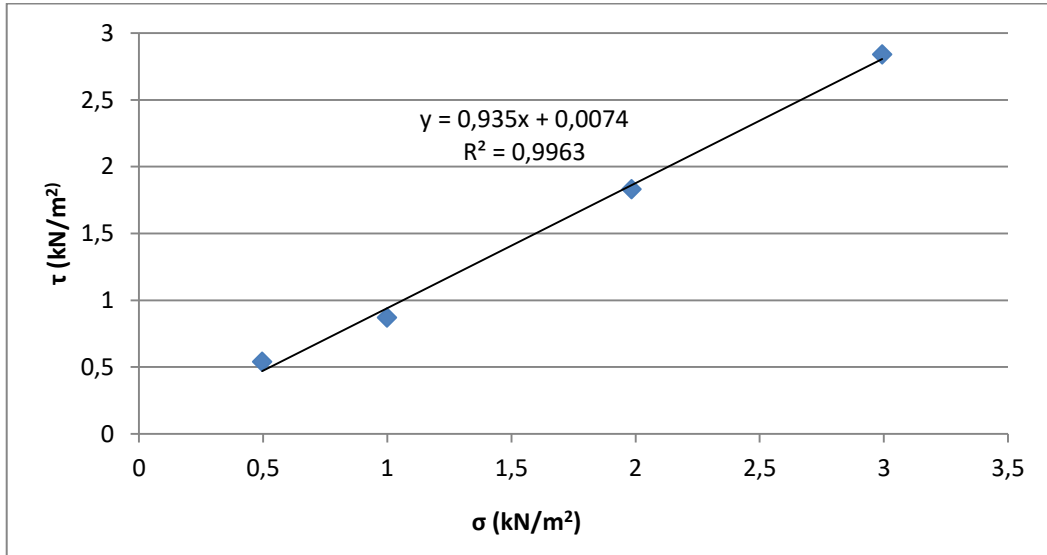
Dolgu malzemesi olarak Bartın Merkez Gürgenpınarı Köyü civarlarında yer alan kireçtaşı kırmataş kullanılmıştır. Malzeme ocağındaki kireçtaşı bol çatlaklı olup, çatlaklar kil dolgulu ve açıklıkları yer yer 20 cm'yi geçmektedir. Malzemenin kırılması esnasında teknik şartlar nedeniyle, ince malzemeyi eleyerek uzaklaştırmak mümkün olmadığından dolgu malzemesi %8 kadar ince tane içermektedir.

Şerit donatılı toprakarme duvar sisteminin dolgu malzemesi olarak kullanılan malzeme, KTŞ'de belirlenen granülometrik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Yapılan elek analizi sonucu seçilen dolgu malzemesinin tane boyu dağılımının şartnamede belirlenen sınırlar içerisinde kaldığını ve dolgu malzeme olarak kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir (Şekil 42).



Şekil 42: Dolgu malzemesine ait tane boyu dağılım eğrisi.

Direkt kesme deneyi 4 numaralı elekten geçen ve maksimum kuru birim hacim ağırlığında sıkıştırılmış malzeme üzerinde yapılmıştır. Deney sonucu içsel sürtünme açısı (ϕ) 43° olarak bulunmuştur (Şekil 43). 4 numaralı elek üzerinde kalan malzeme katıldığında bu değer daha da artacaktır. Ancak güvenli tarafta kalmak için bu çalışmada deney sonucu elde edilen değerler kullanılmıştır.

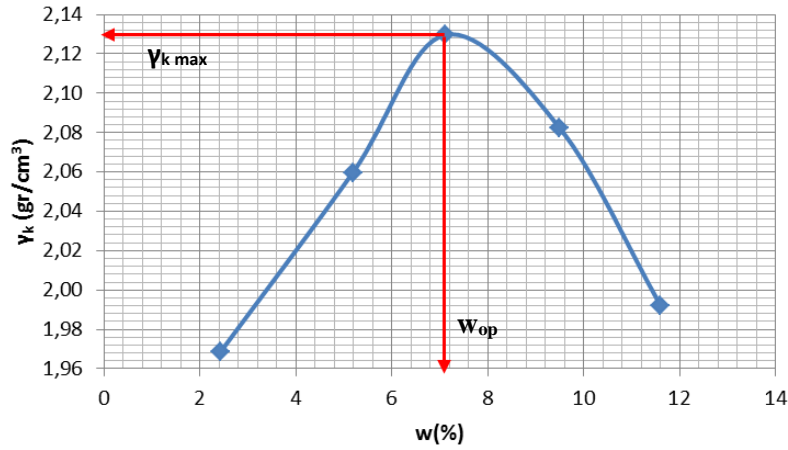


Şekil 43: Dolgu direkt kesme deneyi sonucu.

Dolgu malzemesinin elektrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Bülent Ecevit Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Dionex Ics-1100 iyon kromatografisi cihazı kullanılmıştır. Dolgu malzemesinin elektrokimyasal

özellikleri incelendiğinde; alınan numunenin ph değeri 9.23, minimum resistivite değeri 13876.2 ohm·cm, suda çözülebilir klorür iyonu miktarı 13.98 mg/kg, suda çözülebilir sülfat iyonu miktarı 4.24 mg/kg ve toplam organik madde miktarı %0.15 olarak ölçülmüştür.

Dolgu malzemesi üzerinde yapılan Standart proktor deneyi sonucu optimum su muhtevası % 7.11, maksimum kuru birim ağırlığı ise 2.13 g/cm³ olarak bulunmuştur (Şekil 44).



Şekil 44: Kuru Birim Ağırlık – su muhtevası grafiği.

Dolgu tabakasında sıkıştırma kontrolü amacıyla yapılan kum konisi deneyi sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Deney sonuçlarına göre sıkışma %95'ten fazladır.

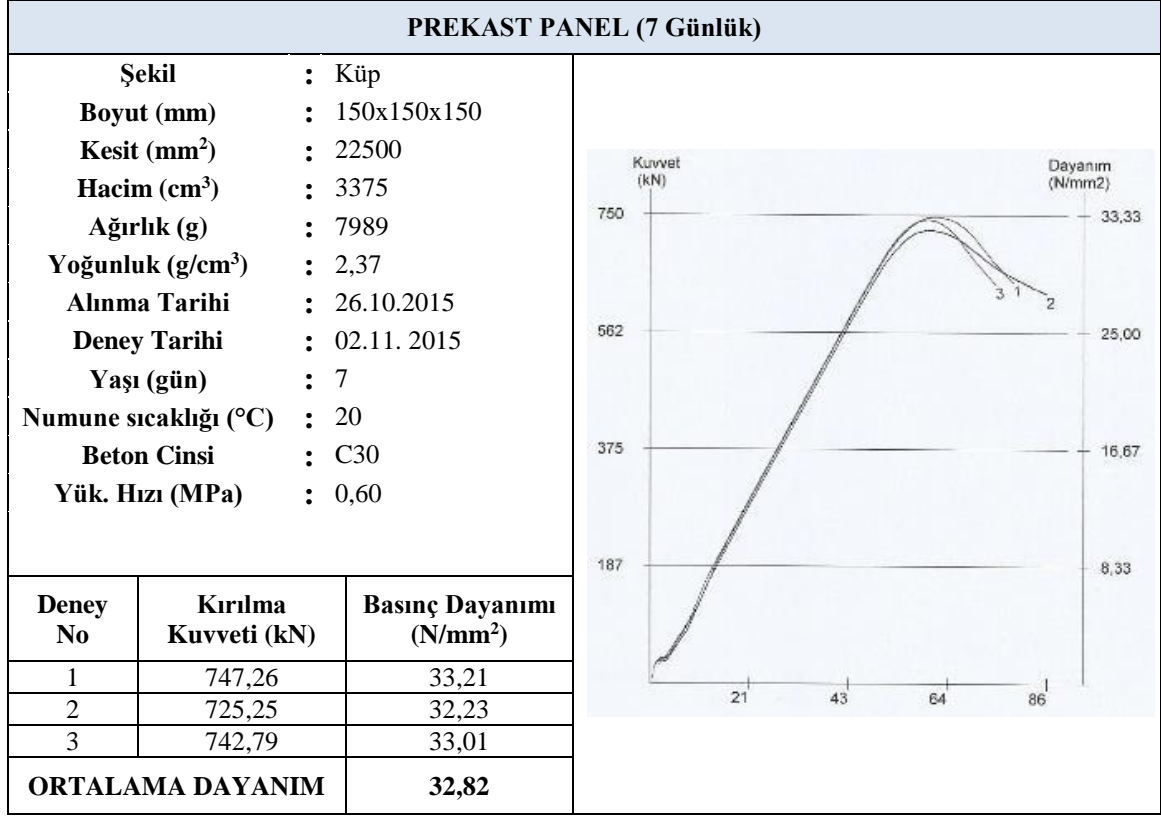
Sıkışma kontrolü için 8 farklı tabakada kum konisi deneyi yapılmıştır. Kum konisi deneyi ile arazide sıkıştırılmış malzemenin tabii kuru birim hacim ağırlığı tespit edilmiştir. Elde edilen tabii birim hacim ağırlığının proktordan elde edilen tabii birim hacim ağırlığa yüzde olarak oranlanarak sıkışmanın yüzdesi bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre sıkışma %95'ten fazladır. Dolgu tabakasında sıkıştırma kontrolü amacıyla yapılan kum konisi deneyi sonuçları Tablo 6'da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Tablo 6: Kum konisi arazi sıkışma deney sonuçları.

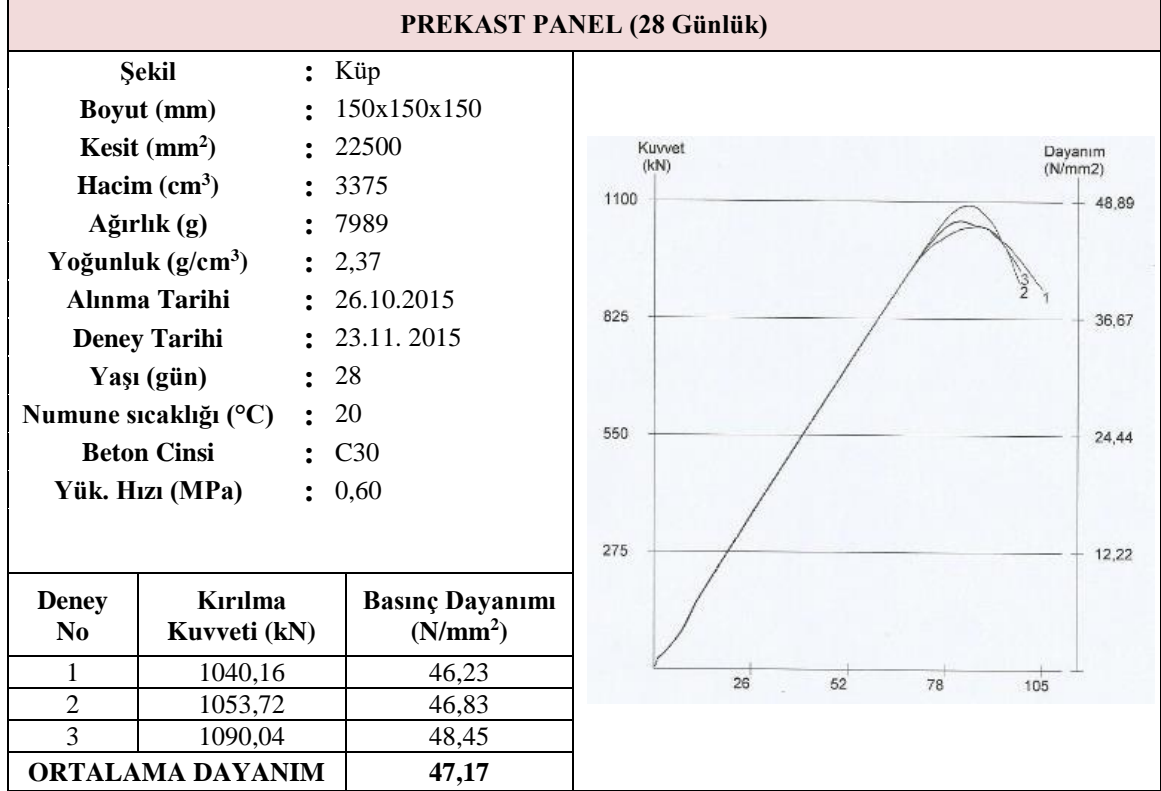
| KUM KONİSİ ARAZİ SIKIŞMA DENEY SONUÇLARI | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| DENEY NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ÇUKURA DÖKÜLEN KUMUN HACMİ (Vs) | | | | | | | | |
| a- ilk kum ağırlığı + kap (g) | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 |
| b- son kum ağırlığı + kap (g) | 3628 | 3754 | 3810 | 3698 | 3771 | 3689 | 3725 | 3689 |
| c- konideki kum ağırlığı (g) | 1520 | 1520 | 1520 | 1520 | 1520 | 1520 | 1520 | 1520 |
| d- çukura dökülen kum (a-b-c) (g) | 2852 | 2726 | 2670 | 2782 | 2709 | 2791 | 2755 | 2791 |
| e- kumun gevşek birim ağırlığı (g/cm ³) | 1.527 | 1.527 | 1.527 | 1.527 | 1.527 | 1.527 | 1.527 | 1.527 |
| VS= d/e (cm ³) | 1868 | 1785 | 1749 | 1822 | 1774 | 1828 | 1804 | 1828 |
| SU İÇERİĞİ TAYİNİ (w) | | | | | | | | |
| f- yaş toprak ağırlığı + kap (g) | 1421 | 1359 | 1368 | 1298 | 1404 | 1451 | 1324 | 1289 |
| g- kuru toprak ağırlığı + kap (g) | 1387 | 1324 | 1328 | 1268 | 1366 | 1421 | 1286 | 1255 |
| h- su ağırlığı (f-g) (g) | 34 | 35 | 40 | 30 | 38 | 30 | 38 | 34 |
| i- kap ağırlığı (g) | 730 | 705 | 710 | 712 | 620 | 682 | 710 | 622 |
| j kuru toprak ağırlığı (g-i) (g) | 657 | 619 | 618 | 556 | 746 | 739 | 576 | 633 |
| W- su içeriği (hX100)/j (%) | 5.2 | 5.7 | 6.5 | 5.4 | 5.1 | 4.1 | 6.6 | 5.4 |
| KURU NUMUNE AĞIRLIĞI TAYİNİ (m_d) | | | | | | | | |
| k- yaş toprak ağırlığı+ kap (g) | 4136 | 4008 | 3857 | 3997 | 3927 | 3989 | 4057 | 3998 |
| l kap ağırlığı (g) (Naylon.poşet) | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| m- yaş toprak ağırlığı (g) | 4129 | 4001 | 3850 | 3990 | 3920 | 3982 | 4050 | 3991 |
| kuru toprak ağırlığı m _d =(mX100)/(100+w) | 3926 | 3787 | 3616 | 3786 | 3730 | 3827 | 3799 | 3788 |
| Yerinde Kuru Birim Ağırlığı =m _d /V _s (g/cm ³) | 2102 | 2121 | 2068 | 2078 | 2103 | 2094 | 2106 | 2072 |
| Laboratuar Maksimum Kuru Birim Ağırlığı (kg/m ³) | 2098 | 2098 | 2098 | 2098 | 2098 | 2098 | 2098 | 2098 |
| Optimum Su içeriği (%) | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 |
| Sıkışma (%) | 100.2 | 101.1 | 98.6 | 99.0 | 100.2 | 99.8 | 100.4 | 98.8 |

3.3 Beton Deney Sonuçları

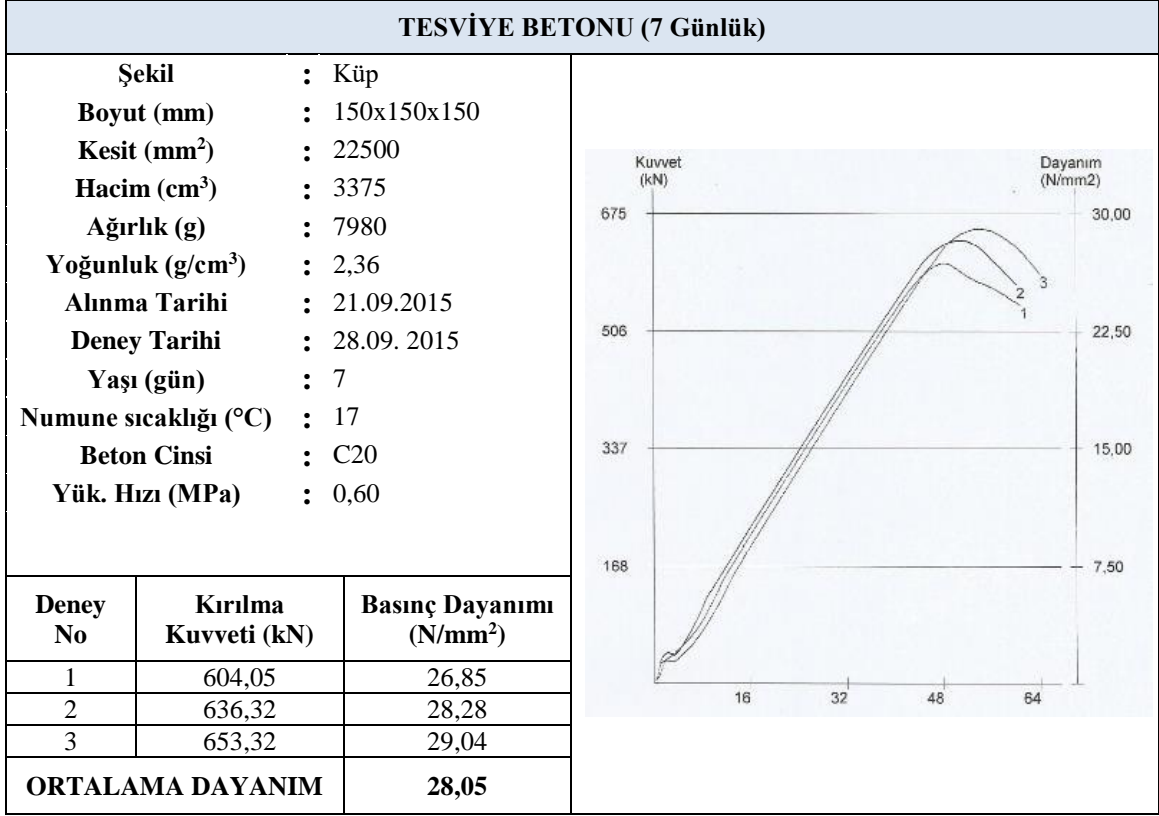
Toprakarme duvar projelerinde prekast panellerde, tesviye betonunda, harpušta ve harpušta kirişi betonlarından alınan 3 farklı numunenin 7 ve 28 gün kürde bekledikten sonra beton basınç dayanım deney sonuçları Şekil 45 - 52'de gösterilmiştir.



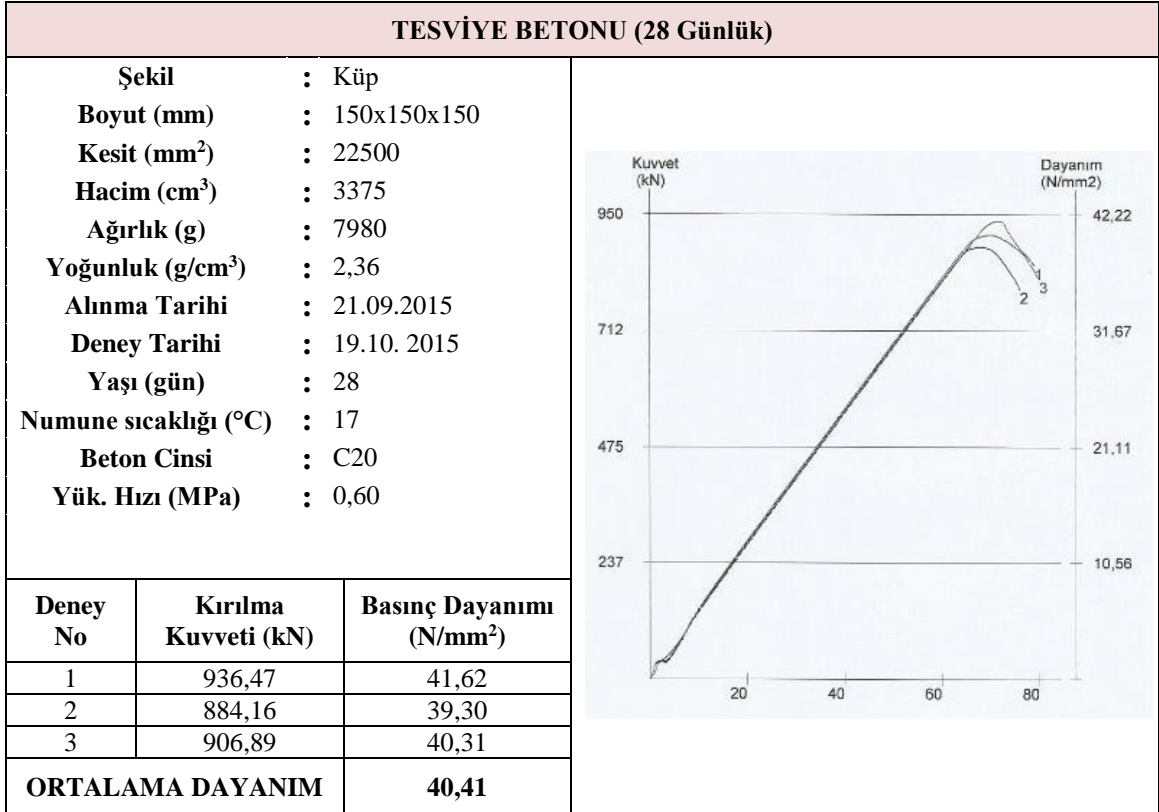
Şekil 45: Prekast panellerin 7 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.



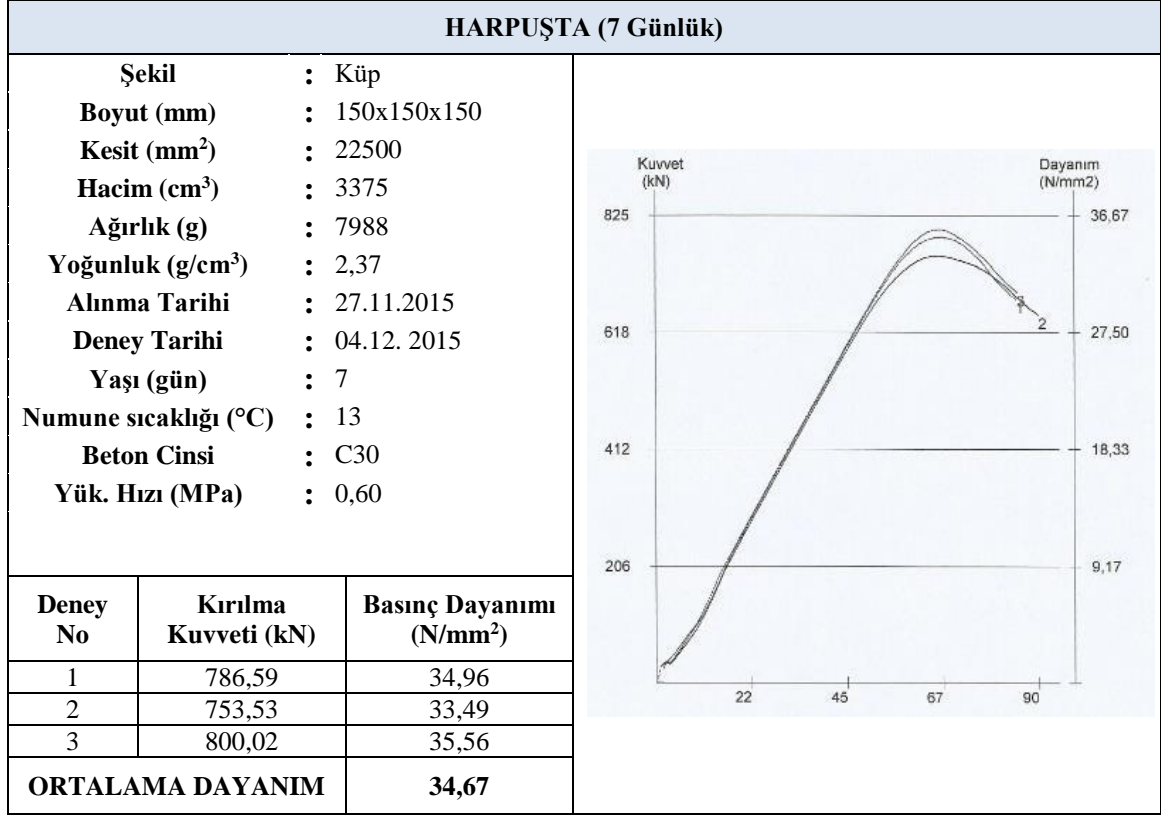
Şekil 46: Prekast panellerin 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.



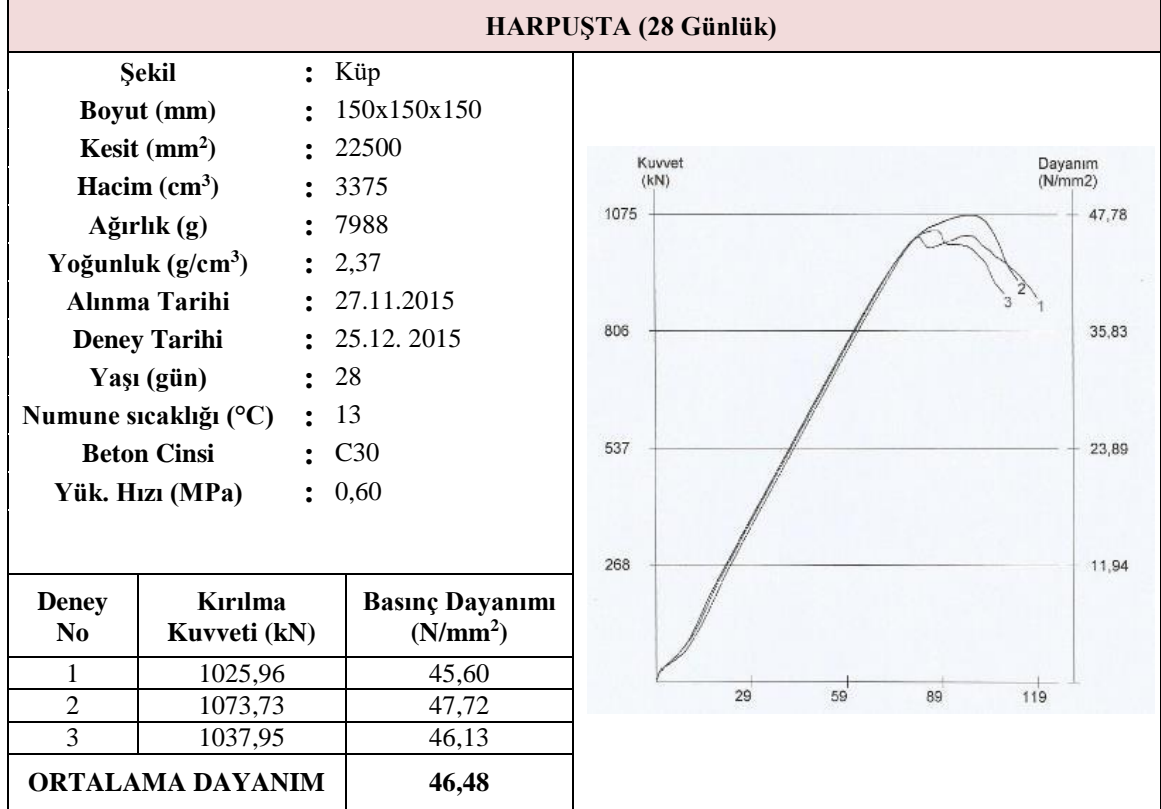
Şekil 47: Tesviye betonunun 7 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.



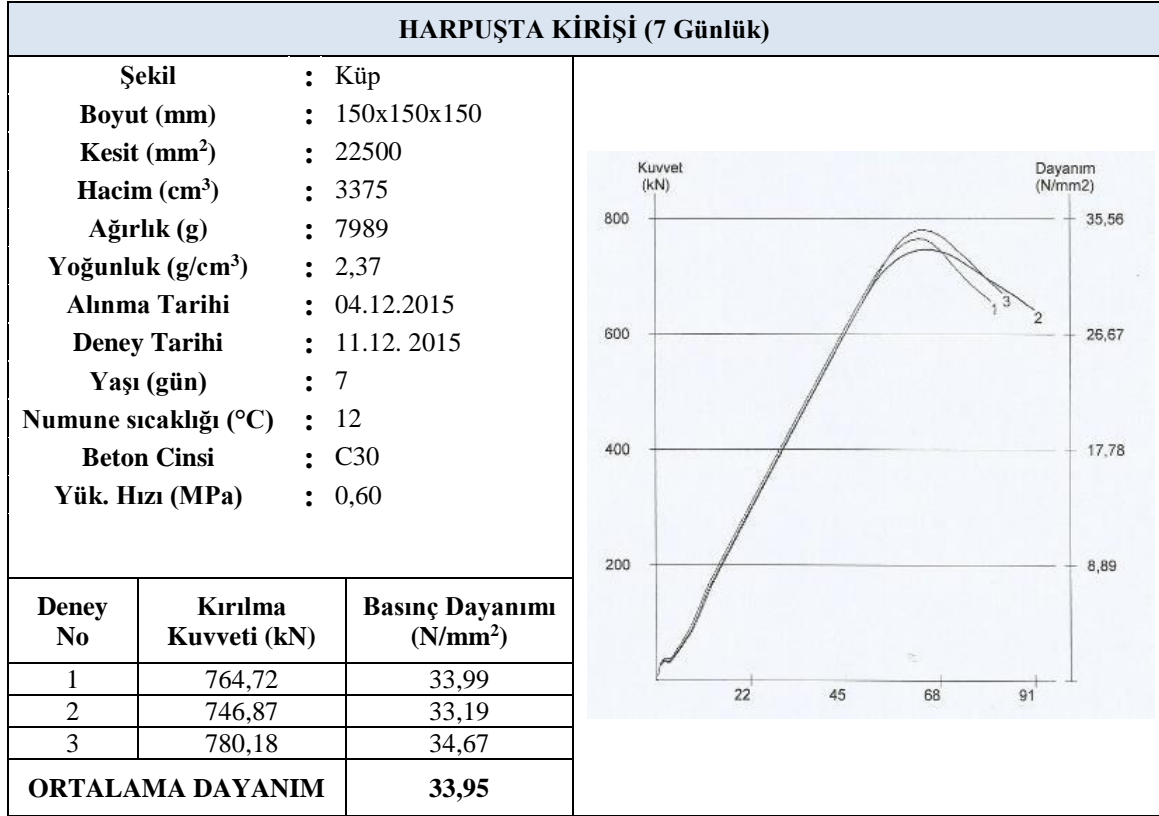
Şekil 48: Tesviye betonunun 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.



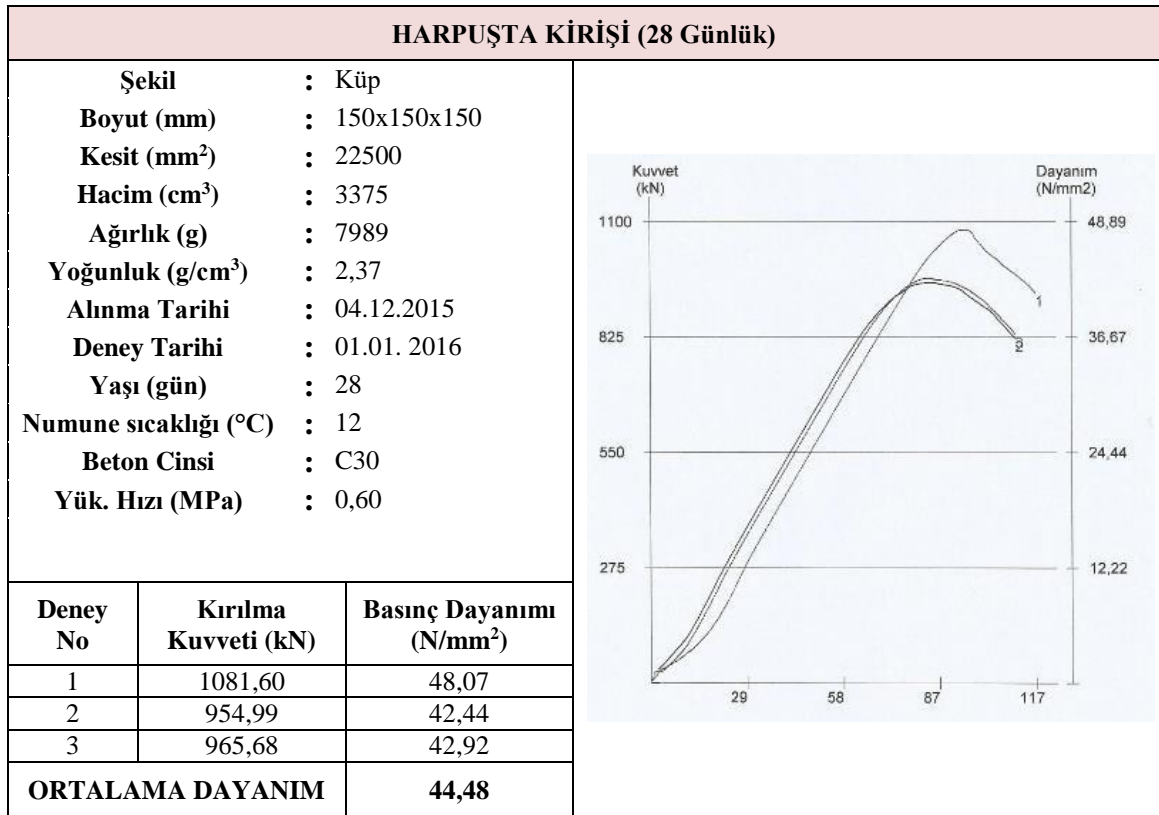
Şekil 49: Harpuşa betonunun 7 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.



Şekil 50: Harpuşa betonunun 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.



Şekil 51: Harpuşa kirişi betonunun 7 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.



Şekil 52: Harpuşa kirişi betonunun 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.

3.4 Şerit Donatı Çekme Deney Sonuçları

Bu çalışmada donatı genişliği 80 mm ve kalınlığı 5 mm olan şerit donatılar kullanılmıştır. KTŞ'ne uyum olup olmadığının kontrolü için çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deney numunelerinin çekme dayanımı 588 MPa olarak bulunmuştur (Tablo 7).

Tablo 7:Şerit donatıların çekme deneyi sonuçları.

| ŞERİT DONATILARIN ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI | | |
|--|--|--------------|
| Numunenin Adı ve Tarifi | Galvenizli Çelik Şerit / M / MEK /2015 / LN.026 (80X5)mm | |
| Deneyin Yapıldığı Tarih | 15.08.2015 | |
| Kullanılacağı Yer | “ Bartın Üniversitesi Köprülü Kavşak Yapım İşi Km: 9+680-10+410 Arası Toprakarme Duvar Projesi ” | |
| Deney standardı | ASTM E8 / E8M | |
| Numune No | Kopma Dayanımı (MPa) | AASHTO (MPa) |
| 1 | 569 | Min 510 |
| 2 | 678 | |
| 3 | 518 | |
| Ortalama | 588 | |

3.5 Vaka analizi deney sonuçlarının, KTŞ tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılması

Toprakarme duvar tasarımı kapsamında iç, dış stabilite analizleri ve genel stabilite analizleri yapılmıştır. Toprakarme duvar geri dolgusunda kullanılacak malzemenin şartnamelerce belirlenen kriterlere uygunluğu yapılan deneylerle araştırılmıştır. Karayolları teknik şartnamesine göre dolgu malzemesi, beton ve çelik şeritte yapılan deney sonuçları KTŞ tarafından önerilen değerler ile karşılaştırılmış ve Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8:KTŞ değerleri ile vaka analizi sonucunda bulunan değerlerin karşılaştırılması.

| TESTLER | | KTŞ | | VAKA ANALİZİ | | SONUÇ |
|---|---|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|---------|
| Dolgu malzemesi Testleri | Plastisite indeksi (PI) | < 6 | | 4,1 | | YETERLİ |
| | Tane çapı dağılımı | <u>Elek Boyutu (mm) % Geçen</u> | | <u>Elek Boyutu (mm) % Geçen</u> | | YETERLİ |
| | | 125 (5") | 100 | 125 (5") | 100 | |
| | | 75 (3") | 85-100 | 75 (3") | 100 | |
| | | 12.5 (1/2") | 25-100 | 12.5 (1/2") | 79.2 | |
| | | 2 (No.10) | 15-100 | 2 (No.10) | 32.8 | |
| | | 0.6 (No.30) | 10-65 | 0.6 (No.30) | 21.6 | |
| | | 0.075 (No.200) | < 15 | 0.075 (No.200) | 7.9 | |
| | Üniformluk katsayısı (C _w) | >5 | | 58 | | YETERLİ |
| | Ph değeri | 5-10 | | 9.23 | | YETERLİ |
| | Suda çözünebilir klorür iyonu miktarı (mg/kg) | ≤ 100 | | 13.98 | | YETERLİ |
| | Toplam organik madde miktarı (%) | ≤ 1 | | 0.15 | | YETERLİ |
| Suda çözünebilir sülfat iyonu miktarı (mg/kg) | ≤ 200 | | 4.24 | | YETERLİ | |
| Minimum resistivite (ohm.cm) | >3000 | | 13876.2 | | YETERLİ | |
| Maksimum Kuru birim hacim ağırlığı (kN/m ³) | | | 21.4 | | YETERLİ | |
| Sıkışma oranı (%) | >95 | | 99.8 | | YETERLİ | |
| İçsel sürtünme açısı (Derece) | ≥30 | | 43 | | YETERLİ | |
| Beton Basınç Testleri | Tesviye betonunun (N/mm ²) | >20 | | 40.41 | | YETERLİ |
| | Prekast panel betonu (N/mm ²) | >30 | | 47.17 | | YETERLİ |
| | Harpuşta betonu (N/mm ²) | >30 | | 46.48 | | YETERLİ |
| | Harpuşta kiriş betonu (N/mm ²) | >30 | | 44.48 | | YETERLİ |
| Çelik Şeritlerin Çekme Testi | Çelik Şeritlerin Çekme Mukavemeti (MPa) | >510 | | 588 | | YETERLİ |

Toprakarme duvar projelerinde KTŞ'ye göre tesviye betonunun 20 N/mm², harpuşta, harpuşta kirişi ve prekast panellerin beton basınç dayanımı minimum 30 N/mm² olması gerekir. Bu çalışmada alınan beton numuneler üzerinde yapılan beton basınç deney sonucuna göre, tesviye betonunun 40.41 N/mm², harpuştanın 46.48 N/mm², harpuşta kirişinin 44.48 N/mm² ve prekast panellerin ortalama beton basınç dayanımı 47.17 N/mm²'dir.

Şartnameye göre çelik şeridi, orta veya yüksek karbon çeliği özelliğinde ve çekme mukavemetinin minimum 510 MPa olması gerekir. Bu çalışmada yapılan deney

sonuçlarına göre seçilen çelik şeritlerin ortalama çekme mukavemeti 588 MPa olarak belirlenmiştir.

Toprakarme geri dolgu malzemesi üzerinde yapılan elek analizi ile kıvam limitleri deney sonuçlarına göre hem malzemenin gradasyonu hem de plastisite indisi şartnamelerde belirtilen değerlere uygun olduğu görülmektedir.

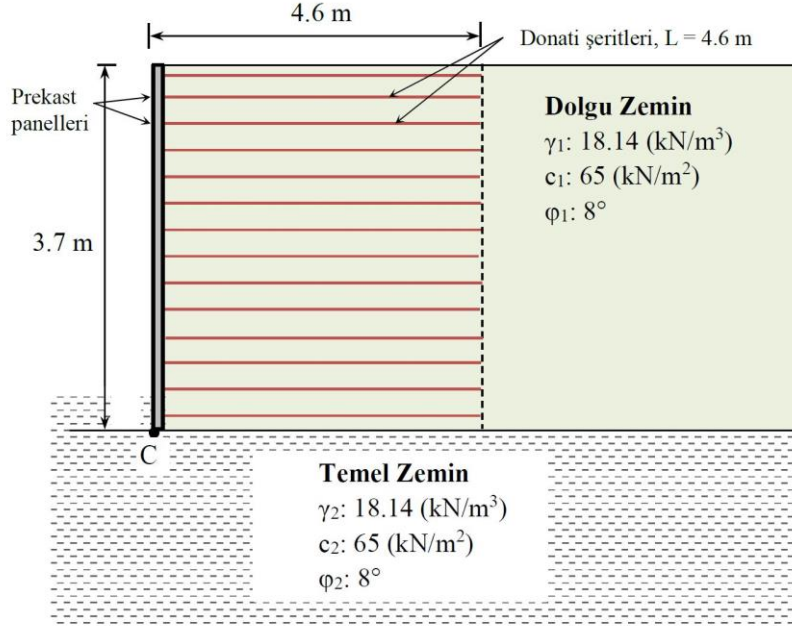
Dolgu malzemesinin elektrokimyasal özellikleri incelendiğinde; alınan numunenin ph değeri 9.23, minimum resistivite değeri 13876.2 ohm·cm, suda çözülebilir klorür iyonu miktarı 13.98 mg/kg, suda çözülebilir sülfat iyonu miktarı 4.24 mg/kg ve toplam organik madde miktarı %0.15 olarak ölçülmüştür. Numuneler üzerinde yapılan analizler sonucunda, toprakarme dolgu malzemesinin elektrokimyasal özelliklerinin şartnamelerde belirlenen koşullarda olduğu saptanmıştır (Tablo 8).

Yapıda kullanılan çelik şerit genişliği 80 mm ve kalınlığı 5 mm'dir. Dolgu zeminin ϕ , c ve γ değerleri sırasıyla 43°, 0 kN/m² ve 21.4 kN/m³'tür. Temel zemininin ise ϕ , c ve γ değerleri sırasıyla 8°, 65 kN/m² ve 18.14 kN/m³'tür. Yol üst yapısı kalınlığının 0.2 m olması ve birim hacim ağırlığının, dolgunun birim hacim ağırlığına yakın olması sebebiyle bu çalışmada dolgu ile kaplama bir bütün olarak düşünülmüş ve ilave yayılı yük hesaba katılmamıştır.

3.6 Vaka Analizinin iCad Toprakarme Yazılımıyla Çözümü

Bu tez çalışmasında elde edilen deney sonuçları ile yapılması planlanan 3.7 m yüksekliğinde, 12 m dolgu genişliğindeki toprakarme duvarın 50 m uzunluğundaki kısmının, iCad Toprakarme yazılım programı kullanılarak statik durum ve deprem durumu için iç ve dışstabilite analizleri yapılmıştır.

Bu analizler sonucunda sistemin statik ve sismik performans açısından güvenlik katsayılarının istenen minimum değerlerin üzerine çıkması için düşey ve yatay yönde 0.5 m aralıklarda döşenmiş 4.6 m uzunluğundaki çelik şeritlerin yerleştirilmesi gerekliliği anlaşılmıştır. Yapılan iç ve dış stabilite analiz sonuçları Tablo 9 ve 10'da verilmiştir.



Şekil 53: iCad Toprakarme programıyla modellenen toprakarme duvar parametreleri.

Tablo 9: Dış stabilite analizi sonuçları.

| Devrilme Güvenliği | | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------|----------|
| Durum | Önleyici moment | Devirmeye çalışan moment | Güvenlik Katsayısı | Sonuçlar |
| Statik | 1283.87 | 493.25 | 2,6 > 1,5 | Yeterli |
| Dinamik | 1530.44 | 811.16 | 1,9 > 1,3 | Yeterli |
| Kayma Güvenliği | | | | |
| Durum | Kaymayı önleyen kuvvet | Kaydıran kuvvet | Güvenlik Katsayısı | Sonuçlar |
| Statik | 318.69 | 172.94 | 1,8 > 1,5 | Yeterli |
| Dinamik | 349.78 | 252.52 | 1,4 > 1,0 | Yeterli |
| Zemin Taşıma Kapasitesi Kontrolleri | | | | |
| Durum | Maksimum zemin gerilmesi | Zemin emniyet gerilmesi | Sonuçlar | |
| Statik | 194.19 | 200 | Yeterli | |
| Dinamik | 261.03 | 300 | Yeterli | |
| Durum | Minimum zemin gerilmesi | Zemin emniyet gerilmesi | Sonuçlar | |
| Statik | 44.7 | 200 | Yeterli | |
| Dinamik | 1.17 | 300 | Yeterli | |

Tablo 10: İç stabilite analizi sonuçları.

| Sıyırılma Güvenliği (Statik Durum) | | | | | | | | |
|--|------|------|------|---------------------|--------------------|-----------------|--------------------|----------|
| No | Z(i) | Ti | Ta | Sıyırılma güvenliği | Güvenlik Katsayısı | Sonuçlar | | |
| 1 | 0.2 | 0.46 | 204 | 444.72 | 1,5 | Yeterli | | |
| 2 | 0.5 | 1.35 | 204 | 150.92 | 1,5 | Yeterli | | |
| 3 | 1 | 1.93 | 204 | 105.66 | 1,5 | Yeterli | | |
| 4 | 1.5 | 2.51 | 204 | 81.28 | 1,5 | Yeterli | | |
| 5 | 2 | 3.09 | 204 | 66.04 | 1,5 | Yeterli | | |
| 6 | 2.5 | 3.67 | 204 | 55.62 | 1,5 | Yeterli | | |
| 7 | 3 | 4.25 | 204 | 48.03 | 1,5 | Yeterli | | |
| 8 | 3.5 | 4.32 | 204 | 47.25 | 1,5 | Yeterli | | |
| Sıyırılma Güvenliği (Dinamik Durum) | | | | | | | | |
| No | Z(i) | Ti | Ta | Sıyırılma güvenliği | Güvenlik Katsayısı | Sonuçlar | | |
| 1 | 0,2 | 0.98 | 0 | 207.94 | 1 | Yeterli | | |
| 2 | 0.5 | 3 | 0 | 68.02 | 1 | Yeterli | | |
| 3 | 1 | 4.28 | 0 | 47.62 | 1 | Yeterli | | |
| 4 | 1.5 | 5.45 | 0 | 37.42 | 1 | Yeterli | | |
| 5 | 2 | 6.5 | 0 | 31.37 | 1 | Yeterli | | |
| 6 | 2.5 | 7.44 | 0 | 27.42 | 1 | Yeterli | | |
| 7 | 3 | 8.26 | 0 | 24.7 | 1 | Yeterli | | |
| 8 | 3.5 | 8.04 | 0 | 25.39 | 1 | Yeterli | | |
| Kopma Güvenliği (Statik Durum) | | | | | | | | |
| No | Z(i) | Lo | Le | Tf | Ti | Kopma güvenliği | Güvenlik Katsayısı | Sonuçlar |
| 1 | 0,2 | 4.6 | 2.95 | 1,08 | 0.48 | 2,25 | 1,5 | Yeterli |
| 2 | 0.5 | 4.6 | 3.18 | 3.08 | 1.35 | 2.28 | 1,5 | Yeterli |
| 3 | 1 | 4.6 | 3.4 | 6.59 | 1.93 | 3.41 | 1,5 | Yeterli |
| 4 | 1.5 | 4.6 | 3.62 | 10.54 | 2.51 | 4.2 | 1,5 | Yeterli |
| 5 | 2 | 4.6 | 3.84 | 14.91 | 3.09 | 4.83 | 1,5 | Yeterli |
| 6 | 2.5 | 4.6 | 4.07 | 19.72 | 3.67 | 5.38 | 1,5 | Yeterli |
| 7 | 3 | 4.6 | 4.29 | 24.96 | 4.25 | 5.88 | 1,5 | Yeterli |
| 8 | 3.5 | 4.6 | 4.51 | 30.63 | 4.32 | 7.09 | 1,5 | Yeterli |
| Kopma Güvenliği (Dinamik Durum) | | | | | | | | |
| No | Z(i) | Lo | Le | Tf | Ti | Kopma güvenliği | Güvenlik Katsayısı | Sonuçlar |
| 1 | 0,2 | 4.6 | 2.95 | 1,08 | 0.98 | 1,10 | 1 | Yeterli |
| 2 | 0.5 | 4.6 | 3.18 | 3.08 | 3 | 1.03 | 1 | Yeterli |
| 3 | 1 | 4.6 | 3.4 | 6.59 | 4.28 | 1.54 | 1 | Yeterli |
| 4 | 1.5 | 4.6 | 3.62 | 10.54 | 5.45 | 1.93 | 1 | Yeterli |
| 5 | 2 | 4.6 | 3.84 | 14.91 | 6.5 | 2.29 | 1 | Yeterli |
| 6 | 2.5 | 4.6 | 4.07 | 19.72 | 7.44 | 2.65 | 1 | Yeterli |
| 7 | 3 | 4.6 | 4.29 | 24.96 | 8.26 | 3.02 | 1 | Yeterli |
| 8 | 3.5 | 4.6 | 4.51 | 30.63 | 8.04 | 3.81 | 1 | Yeterli |

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

İstinat yapıları; yol, yapı veya altyapı tasarımları başta olmak üzere birçok uygulama alanlarında sıkça kullanılmaktadır. Doğru bir istinat yapısı tasarımının gerçek saha koşullarında uygulanabilir, güvenli ve ekonomik olması gerekir.

Araştırma kapsamında, şerit donatılı toprakarme yapı sistemi, yapı sisteminin uygulamaları ve yapısal elemanları ortaya konmuştur. Deprem etkisinde sistemin performansı açıklanmıştır. İmalat aşamaları incelenerek, sistemin avantaj ve dezavantajları bahsedilmiş ve sistemin uygulanması sırasında karşılaşılan problemlerin çözümleri ortaya konmuştur.

Bu çalışmada Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü girişini Bartın – Ankara karayolu ile bağlantısını sağlamak için yapılması düşünülen 3.7 m yüksekliğinde ve 12 m dolgu genişliğinde şerit donatılı toprakarme duvarının yapısal elemanları, stabilite analizleri ve dayanma duvarında kullanılacak malzemelerin özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışma kapsamında toprakarme duvara temel teşkil edecek zeminden örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınarak zemin özellikleri belirlenerek taşıma gücü açısından kontrolleri yapılmıştır.

Temel zeminin üzerinde yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarına göre toprakarme duvarının Çaycuma formasyonunun ayrışması sonucu oluşan kil üzerine oturacağı tespit edilmiştir.

Temel zeminin ϕ , c ve γ değerleri sırasıyla 8° , 65 kN/m^2 ve 18.14 kN/m^3 olarak bulunmuştur. Likit limit ve plastik limit değerleri sırasıyla 80 ve 28 olarak bulunmuş ve zemin sınıflama sistemlerine göre zemin sınıfı CH'dir.

Dolgu malzemesi olarak Bartın Merkez Gürgenpınarı Köyü civarlarında yer alan kireçtaşı kırmataş kullanılmıştır. Dolgu malzemesi üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre KTŞ kriterlerine göre uygun gronülometrik bileşimine sahip olduğu gösterilmiştir. ϕ , c ve γ değerleri sırasıyla 43° , 0 kN/m^2 ve 21.4 kN/m^3 olarak bulunmuştur. Dolgu malzemesinin

elektrokimyasal özellikleri incelendiğinde; alınan numunenin ph değeri 9.23, minimum resistivite değeri 13876.2 ohm·cm, suda çözülebilir klorür iyonu miktarı 13.98 mg/kg, suda çözülebilir sülfat iyonu miktarı 4.24 mg/kg ve toplam organik madde miktarı %0.15 olarak ölçülmüştür.

Beton deneyleri sonucuna göre ise tesviye betonunun 40.41 N/mm², harpuştanın 46.48 N/mm², harpuşta kirişinin 44.48 N/mm² ve prekast panellerin ortalama beton basınç dayanımı 47.17 N/mm² olarak bulunmuştur.

Donatı genişliği 80 mm ve kalınlığı 5 mm olan galveniz çelik şeritlerin çekme dayanımı 588 MPa olarak bulunmuştur.

Dış stabilite analizi sonucuna göre devrilme güvenliği katsayısı statik ve dinamik durum için sırasıyla 2.6 ve 1.9 olarak hesaplanmıştır. Kayma güvenliği katsayısı statik ve dinamik durum için sırasıyla 1.8 ve 1.4 olarak hesaplanmıştır. İç stabilite analizi sonucuna göre sıyrılma ve kopma güvenlik katsayısı statik ve dinamik durum için sırasıyla 1.5 ve 1,0 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalardan toprakarme duvarda kullanılacak malzemelerin tümünün Karayolları Teknik Şartnamesi kriterlerine uygun olduğu görülmektedir.

Toprakarme yapıdan kaynaklanan maksimum taban basıncı, zeminin izin verilebilir taşıma gücü değerinden düşük olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, sismik koşullar göz önüne alındığında zemindeki maksimum gerilmenin aynı şekilde zeminin izin verilebilir taşıma gücü değerinden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan taşıma gücü analizlerinden toprakarme duvarın emniyetli olduğu görülmüştür. Ayrıca, iCad Toprakarme yazılımıyla toprakarme duvarın 50 m. uzunluğundaki kısmı için yapılan stabilite analizlerinden yapının stabilitesinin düşey ve yatay yönde 0.5 m aralıklarda döşenmiş 4.6 m uzunluğunda çelik şeritlerle sağlanabileceği görülmektedir.

Bu tür geoteknik problemler üç boyutlu sonlu elemanlar yada bazı sayısal çözüm metodlarına dayalı nümerik yazılımlarla araştırılmalıdır. Bundan sonraki ilgili disiplinde yapılacak araştırmalarda Toprakarme yapılarının konumlandığı zemin ortamındaki YASS incelenerek hidrostatik basıncın etkileri ve farklı ivmelere sahip deprem durumları araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- AASHTO T-27-11 (2012). *Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate*. American Association of State Highway and Transportation Officials, USA.
- Alkaya, D. ve Yeşil, B. (2012). *Metal Şerit ve Geosentetik Donatı Kullanılarak Oluşturulan Donatılı Zemin (Toprakarme) Yapıların Spreadsheet Kullanarak Analizi*. Bilimsel Makale.
- Anon. (1995). Performance of Geogrid-Reinforced Soil Retaining Walls During the Great Hanshin-Awaji Earthquake, *January 17. Proceedings, 1st International Symposium on Earthquake Geotechnical Engineering*. 55 – 62.
- ASTM D1498-93 (1999). *Standard Practice for Oxidation-Reduction Potential of Water*, American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D2974-13 (1999). *Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils*, American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D512-89 (1999). *Standard Test Methods for Chloride Ion in Water*, American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D516-02 (1999). *Standard Test Method for Sulfate Ion in Water*, American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM E8-E8M (1999). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, USA.
- ASTM G51-95 (2012). *Standard Test Method for Measuring pH of Soil for Use in Corrosion Testing*, American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM G57-06 (2012). *Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method*, American Society for Testing and Materials, USA.
- Aytekin, M. (2004). *Deneysel Zemin Mekaniği*. Teknik Yayınevi, Ankara, 624 s.
- Çakır, T. (2005). Donatılı Zemin Dayanma Duvarlarının Projelendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 112 s.
- Demirkan, M. M. (2002). Donatılı Zemin İstinad Yapılarının Sismik Yükler Etkisindeki Davranışının İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 87 s.
- Durgunoğlu H. T., Kaya T. ve Özbatır M. (2007). Donatılı Zemin Duvar Yapılarının Depremde Davranışı. *TMMOB Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 1. Özel Konulu Sempozyum*, İstanbul.

- Durgunoğlu, H.T., Tarı, T. ve atana M.C. (2003). Esnek İstinat Duvarlarının Depremde Davranışı. Bildiri, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- Ekli, O. (2006). Donatı Zemin Kenarayak Yapılarının Numerik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 181 s.
- Elias,V., Christopher, B. R. ve Berg, R. R. (2001). *FHWA-NHI-00-043: Mechanically Stabilized Earth Wall sand Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines*. Woodbury, USA.
- Güneri, U. (1997). Teorik Ve Pratik Donatılı Zemin Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 75 s.
- Hendese (2010). Bartın Üniversitesi Kampüs Alanı (Kutlubey yazıcılar) İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Jeoteknik Müh. İmar İnş. San. ve Tic. Ltd.şti, Ankara.
- Ismeik, M. H. (1996). Full Scale Modeling of Geotextile Reinforced Lime Stabilized Cohesive Soil Retaining Wall. Doktora tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 140 s.
- Kesim, R. S. (1996). Donatılı Zemin Yapılarının Sistem Davranış Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 206 s.
- KTş (2013). Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Teknik şartnamesi, Ankara.
- Maksimovic, M. (2008). *Mehanika tla, Ceturto izdanje*. AGM Knjiga, Beograd.
- McKittrick, D.P. (1978). Reinforced Earth: Application of The oryand Research To Practice. *Symposiumon Soil Reinforcing and Stabilizing Techniques*, Sydney, Australia, October 16, 1978.
- Mitchell, J.K. ve Villet, W.C.B. (1987). *Reinforcements of Earth Slopesand Embankments. National Cooperative Highway Research Program Report*, California, USA, June.
- Özdemir, A. (2008). *Zemin Mekaniği ve Zemin Mühendisliğine Giriş*. İnci Ofset.
- Sankey J.E. ve Segrestin P. (2001). Evaluation of Seismic Performance in Mechanically Stabilized Earth Structures. Landmarks in Earth Reinforcement, *Volume I. Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement*, Kyushu, Japan.
- Seda (2015). Bartın Üniversitesi Köprülü Kavşak Yapım İşi Km : 9+680-10+410 Arası Toprakarme Duvar Projesi, Seda İnş. Tic. Mad. ve San. Ltd. şti, Ankara.
- Toti, E. (2009). Isparta Ovasındaki Volkanik Kökenli Zeminlerde Fiziksel Ve Mekaniksel Özellikler Arasındaki İlişkilerin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 221 s.

TS 1900-1 (2006). *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 7994 (1990). *Zemin Dayanma Yapıları; Sınıflandırma, Özellikleri Ve Projelendirme Esasları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12350-1 (2010). *Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 1: Numune alma*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3 (2010). *Beton -Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 197-1 (2012). *Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 934-2 (2010). *Kimyasal katkıları- Beton, harç ve şerbet için- Bölüm 2: Beton katkıları- Tarifler ve özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

URL-1 (2016). Resim, <http://www.movea.com.tr>

URL-2 (2016). Resim, <http://www.e-sehir.com/turkiye-haritasi/bartın-deprem-fay-hattı-riskharitasi.html>

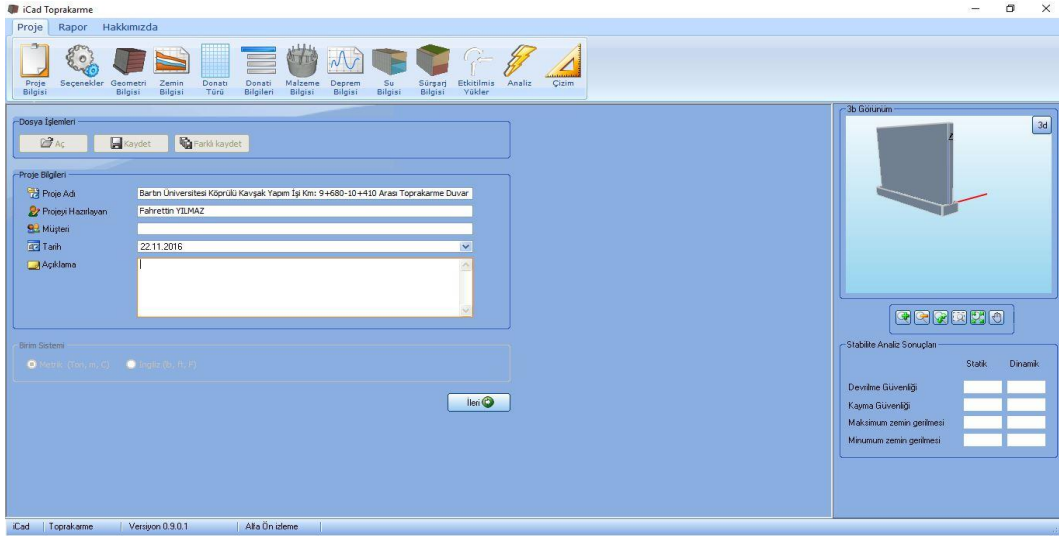
Yıldız, T. (2014). *Aşırı Yüklemeler Altında Toprakarme İstinat Yapılarının Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Bilim Dalı, İstanbul, 193 s.

EKLER

Ek I: iCad Toprakarme Yazılımının Tanıtımı



ARAYÜZ KULLANIMI



E1: iCad Toprakarme yazılımına ait arayüz ekranı görüntüsü.

Arayüz Elemanları

- I. Ribbon (Şerit) Menüler:
 - a. Proje
 - b. Rapor
 - c. Hakkımızda
- II. Veri Giriş Ekranı:
- III. Sonuç Ekranı:
 - a. **Proje**



E2: iCad Toprakarme yazılımına ait arayüz Proje menüleri seçenekleri.

Toprakarme istinat duvarınızın modellemesini bu ribbon (şerit) menüyü kullanarak yapabilir. Menüdeki sıralama, en az geri dönüş yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Menü sıralaması aşağıda verilmiştir.

1. Proje Bilgisi
2. Seçenekler
3. Geometri Bilgisi
4. Zemin Bilgisi
5. Donatı türü
6. Donatı bilgileri
7. Malzeme Bilgisi
8. Deprem Bilgisi
9. Su Bilgisi
10. Sürşarj Bilgisi
11. Etkitilmiş Yükler
12. Analiz
13. Çizim

b. Rapor



E3: Rapor menüleri.

Duvarınızı modelleyip analizlerinizi yaptırdıktan sonra, hesap raporlarına ve metraj bilgilerine bu ribbon (şerit) menü yardımıyla kolayca ulaşabilir. Menü içerisindeki başlıkların sıralaması aşağıda verilmiştir.

- Rapor
- Zemin Emniyet Gerilmesi Raporu

Veri Giriş Ekranı

The screenshot shows a software interface for data entry. At the top, there is a 'Dosya İşlemleri' (File Operations) section with buttons for 'Aç' (Open), 'Kaydet' (Save), and 'Farklı kaydet' (Save As). Below this is the 'Proje Bilgileri' (Project Information) section, which includes fields for 'Proje Adı' (Project Name), 'Projeyi Hazırlayan' (Prepared by), 'Müşteri' (Customer), 'Tarih' (Date), and 'Açıklama' (Description). The 'Proje Adı' field contains the text 'Bartın Üniversitesi Köprülü Kavşak Yapım İşİ Km: 9+680-10++410 Arası Toprakarme Duvar'. The 'Tarih' field is set to '22.11.2016'. At the bottom, there is a 'Birim Sistemi' (Unit System) section with two radio buttons: 'Metrik (Ton, m, C)' and 'İngiliz (lb, ft, F)'. A 'İleri' (Next) button is located at the bottom right.

E4: Veri giriş ekranı.

Ribbon menüden seçilen bölüme göre veri girişi yapmasına ve yapılan işlemleri görüntülenmesine yarayan ekrandır.

Sonuç Ekranı

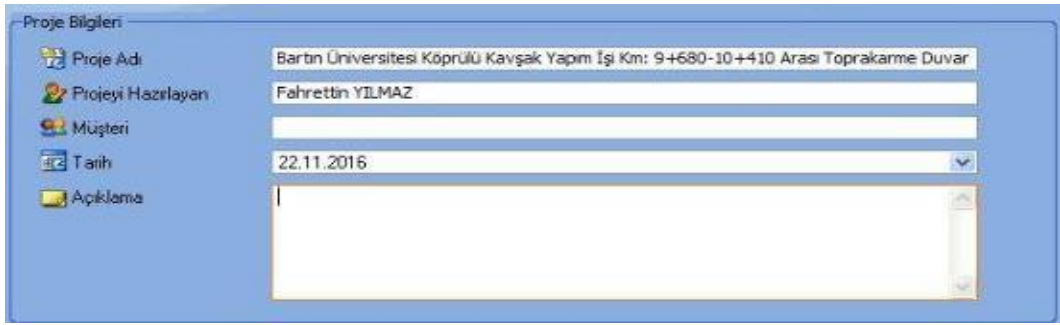


E5: Sonuç ekranı.

Veri giriş ekranının yanında bulunan bu bölüm iki parçadan oluşmaktadır. İlk kısım duvarı üç boyutlu görüntüsü olup girilen duvar boyutlarına göre anlık değişir. Diğer kısım ise "Stabilite Analiz Sonuçlarının" gösterildiği kısımdır. Bu kısım analiz yapılanaya kadar boştur. Analiz yapıldıktan sonra sonuçlar bu kısma işlenir ve yetersiz sonuçlar var ise kırmızı ile işaretlenir.

1. PROJE BİLGİLERİ

Proje Bilgileri:



| Proje Bilgileri | |
|--------------------|--|
| Proje Adı | Bartın Üniversitesi KöprülÜ Kavşak Yapım İşi Km: 9+680-10+410 Arası Toprakarme Duvar |
| Projeyi Hazırlayan | Fahrettin YILMAZ |
| Müşteri | |
| Tarih | 22.11.2016 |
| Açıklama | |

E6: Proje bilgileri.



| Birim Sistemi | |
|---|---|
| <input checked="" type="radio"/> Metrik (Ton, m, C) | <input type="radio"/> İngiliz (lb, ft, F) |

E7: Birim sistemi.

2. SEÇENEKLER

Zemin Basınç Yöntemi

Zemin Basınç Yöntemi | Analiz Seçenekleri | Analiz Katsayıları | Çizim Opsiyonları | Çizim Tercihleri | Anrojman

Duvara etkiyen zemin basıncı

Duvar hareket edebilir Duvar hareket edemez (Sükunetteki durum)

Statik zemin basınç hesap yöntemi

Statik aktif zemin basınç hesap yöntemi : Coulomb

Statik pasif zemin basınç hesap yöntemi : Caquot-Kerisel

Dinamik aktif basınç hesap katsayısı

Hesap Yöntemi : Mononobe-Okabe - DBYYHY

E8: Zemin basınç yöntemi.

Analiz Seçenekleri

Zemin Basınç Yöntemi | Analiz Seçenekleri | Analiz Katsayıları | Çizim Opsiyonları | Çizim Tercihleri | Anrojman

Seçenekler

Donatı Türü : Metal şerit

İç Stabilite : Uzayabilen (Uçgen kayma yüzeyi)

Taşıma kapasitesi hesap yöntemi : Teorik Dağılım

Pasif itkiyi dikkate al. Pasif itki katsayısı : 1

Eksantriste kontrolü. Nihai eksantriste : 0,333

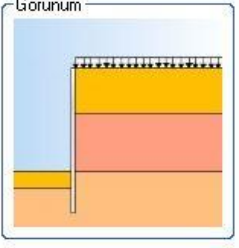
Kayma ve Devrilme güvenliği kontrolünde ek yüklerin (sürşarj) olumlu etkisini ihmal et

Kayma güvenliği kontrolünde dolgu önündeki toprağın olumlu etkisini ihmal et

Kayma güvenliği kontrolünde (0.9G+1.6Hs) ve (0.9G+Hs+Hd) yük birleşim kontrolü yap

Devrilme güvenliği kontrolünde (0.9G+1.6Hs) ve (0.9G+Hs+Hd) yük birleşim kontrolü yap

Görünüm



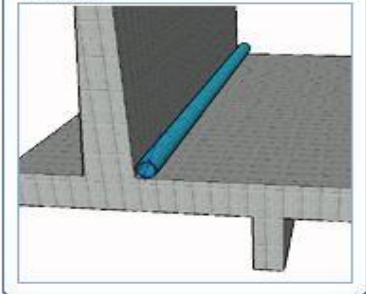
E9: Analiz seçenekleri.

Analiz Katsayıları

| Zemin Basınç Yöntemi | Analiz Seçenekleri | Analiz Katsayıları | Çizim Opsiyonları | Çizim Tercihleri | Anrojman |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|----------|
| Statik Durum | | | | | |
| Devrilme Güvenliği | | 1,5 | | | |
| Kayma Güvenliği | | 1,5 | | | |
| Toptan Göçme | | 1,5 | | | |
| Donatı üzerindeki kayma güvenliği | | 1,5 | | | |
| Sıyırma güvenliği | | 1 | | | |
| Kopma güvenliği | | 1 | | | |
| Bağlantı dayanımı güvenliği | | 1 | | | |
| Dinamik Durum | | | | | |
| Devrilme Güvenliği | | 1,3 | | | |
| Kayma Güvenliği | | 1 | | | |
| Toptan Göçme | | 1,5 | | | |
| Donatı üzerindeki kayma güvenliği | | 1 | | | |
| Sıyırma güvenliği | | 1,5 | | | |
| Kopma güvenliği | | 1,5 | | | |
| Bağlantı dayanımı güvenliği | | 1,5 | | | |

E10: Analiz katsayıları.

Çizim Opsiyonları

| Zemin Basınç Yöntemi | Analiz Seçenekleri | Analiz Katsayıları | Çizim Opsiyonları | Çizim Tercihleri | Anrojman |
|--|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|----------|
| Seçenekler | | | | | |
| Drenaj Bilgisi | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Drenaj çapı | 15 | [cm] | | |
| Geçirimsiz Dolgu Yüzeyi | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Dolgu kalınlığı | 15 | [cm] | | |
| Görünüm | | | | | |
|  | | | | | |

E11: Çizim opsiyonları.

Çizim Tercihleri

Zemin Basınç Yöntemi Analiz Seçenekleri Analiz Katsayıları Çizim Opsiyonları Çizim Tercihleri Anrojman

Tabaka Renkleri

| | |
|----------|--|
| Çizgi | |
| Donatı | |
| Tara | |
| Gösterge | |
| Yazı | |
| Metraj | |
| Ölçü | |
| Kesit | |
| Görünmez | |
| Zemin | |
| Yükselik | |

Çizgi Kalınlığı

| | |
|----------|-----|
| Çizgi | 040 |
| Donatı | 060 |
| Tara | 020 |
| Gösterge | 020 |
| Yazı | 030 |
| Metraj | 000 |
| Ölçü | 020 |
| Kesit | 020 |
| Görünmez | 000 |
| Zemin | 000 |
| Yükselik | 000 |

Varsayılan Olarak Ata Varsayılan Değerler

E12: Çizim tercihleri.

3. GEOMETRİ BİLGİSİ

Görünüm

Geometri Bilgileri

Geometri Verileri

| | |
|----------------------|-----|
| Duvar yüksekliği | 3,7 |
| Dolgu genişliği (Ln) | 12 |
| Duvar boyu (L) | 50 |

Temel Geometrisi

| | |
|-------|-----|
| Temel | 0.5 |
| Temel | 0.3 |

Kaplama Bilgileri

| | |
|-------------------|-----|
| Kaplama kalınlığı | 0.2 |
|-------------------|-----|

E13: Geometri bilgisi.

4. ZEMİN BİLGİSİ

(A) Dolgu Zemin (B) Duvar Tabanındaki Zemin (C) Duvar Önündeki Zemin

Dolgu Zemin

| | | | |
|--|--------------|----|----------------------|
| Zemin birim hacim ağırlığı | $\gamma =$ | 18 | [kN/m ³] |
| İçsel sürtünme açısı | $\phi =$ | 3 | [°] |
| Kohezyon | $c =$ | 0 | [kN/m ²] |
| Duvar-zemin sürtünme açısı | $\delta =$ | 20 | [°] |
| Zemin donatı arasındaki sürtünme açısı | $\delta =$ | 30 | [°] |
| Suya doymun birim hacim ağırlığı | $\gamma_s =$ | 20 | [kN/m ³] |
| Eğim açısı | $\beta =$ | 0 | [°] |

Görünüm

E14: Dolgu zemin bilgileri.

(A) Dolgu Zemin (B) Duvar Tabanındaki Zemin (C) Duvar Önündeki Zemin

Duvar Tabanındaki Zemin

Gerilme durumu Efektif

| | | | |
|----------------------------------|--------------|------|----------------------|
| Zemin birim hacim ağırlığı | $\gamma =$ | 18 | [kN/m ³] |
| İçsel sürtünme açısı | $\phi =$ | 3 | [°] |
| Kohezyon | $c =$ | 0 | [kN/m ²] |
| Aktif duvar-zemin sürtünme açısı | $\delta =$ | 0 | [°] |
| Paşif duvar-zemin sürtünme açısı | $\delta =$ | 0 | [°] |
| Suya doymun birim hacim ağırlığı | $\gamma_s =$ | 22 | [kN/m ³] |
| Adezyon | $a =$ | 0 | [kN/m ²] |
| Sürtünme açısı | $\mu =$ | 0.58 | [°] |
| Zemin emniyet gerilmesi | $\sigma =$ | 250 | [kN/m ²] |
| Sükunetteki durum | Jacky | | |

Görünüm

E15: Duvar tabanındaki zemin bilgileri.

(A) Dolgu Zemin (B) Duvar Tabanındaki Zemin (C) Duvar Önündeki Zemin

Duvar Önündeki Zemin

Gerilme durumu Efektif

Zemin birim hacim ağırlığı $\gamma = 18$ [kN/m³]

İçsel sürtünme açısı $\phi = 3$ [°]

Kohezyon $c = 0$ [kN/m²]

Duvar-zemin sürtünme açısı $\delta = 0$ [°]

Suya doymun birim hacim ağırlığı $\gamma_s = 22$ [kN/m³]

Dolgu yüksekliği $h_3 = 0$ [m]

Sükunetteki durum Jacky

Görünüm

E16: Duvar önündeki zemin bilgileri.

5. DONATI TÜRÜ

+ Ekle Düzenle Çıkar

| No | Adı | b | d | Tult | SFid | SFcr | RFcd | SFbd | SFif |
|----|--------------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | Metal şerit1 | 0,06 | 0,0025 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Geri İleri

E17: Donatı türü bilgileri.

iCad ×

Donatı Bilgileri
Lütfen gerekli alanları doldurunuz

Donatı adı

Donatı Bilgileri

Donatı genişliği [m]

Donatı kalınlığı [m]

Gerilme dayanımı

Gerilme dayanımı [Mpa]

Veri Giriş Şekli ▼

İmalat hatası azaltma faktörü (SFif) [-]

Sünme azaltma faktörü (SFcr) [-]

Kimyasal hasar veya korozyon faktörü (SFcd) [-]

Biyolojik yıkım faktörü (SFbd) [-]

Önem faktörü [-]

Genel faktör [-]

Nihai gerilme dayanımı [Mpa]

Connection Strenght

Check Connection Strenght [kN/m]

E18: Donatı bilgileri ekle.

6. DONATI BİLGİLERİ

iCad ×

Donatı Bilgileri
Lütfen gerekli alanları doldurunuz

Donatı sayısı

Donatı türü ▼

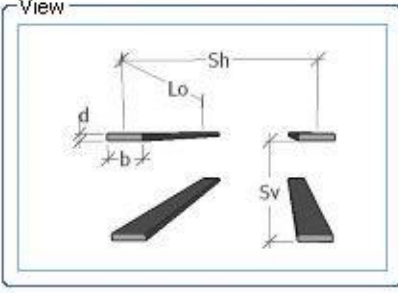
Donatı boyu

İlk donatının tabandan itibaren

Donatılar arası düşey aralık

Donatılar arası yatay aralık

View



E19: Çoklu donatı bilgileri oluştur.

7. MALZEME BİLGİSİ

Beton birim hacim ağırlığı [kN/m³]

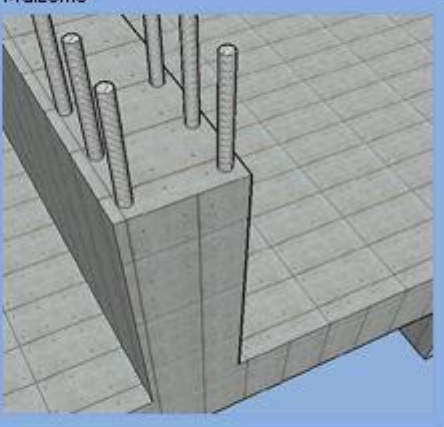
Beton Sınıfı

f_{ck} [mPa]
f_{ctk} [mPa]

Çelik Sınıfı

f_{yk} [mPa]

Malzeme

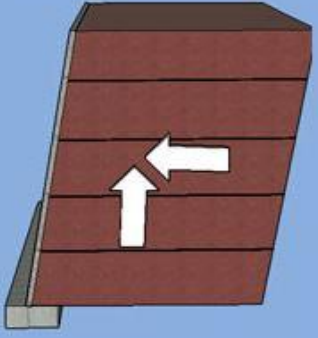


E20: Malzeme bilgisi.

8. DEPREM BİLGİSİ

Depremi dikkate al

Görünüm



Dinamik zemin basınç dağılımı

Sismik katsayı hesap yöntemi

Deprem Bilgileri

Deprem bölgesini seçiniz

Etkin ivme yer katsayısı

Yapı önem katsayısı

Yapı davranış katsayısı

Analiz Seçenekleri

Zemin kamasından doğan deprem kuvvetlerini analize dahil et

Perde ağırlığından doğan deprem kuvvetini analize dahil et

Depremler durumunda zemin emniyet gerilmesini artırır. Artım yüzdesi % x = ?

Perde ağırlığı çarpan katsayısı
 Ch * W A₀ * W

E21: Deprem bilgisi.

9. SU BİLGİSİ

Suyun birim hacim ağırlığı [kN/m³]

Suyun basıncını dikkate al

Duvar arkasındaki su seviyesi

Su seviyesi [m]

Duvar önündeki suyun basıncını dikkate al

Duvar önündeki su seviyesi

Su seviyesi [m]

Gerilme çatlakları

Gerilme çatlakları

Derinlik [m]

Suyun kaldırma etkisini dikkate al

Yüzdürme Kontrolü

Görünüm

E22: Su bilgisi.

10. SÜRŞARJ BİLGİSİ

| No | Sürşarj adı | Yükleme türü | Sürşarj değeri1 | Sürşarj değeri2 | Uzaklık1 | Uzaklık2 | Uzaklık3 |
|----|-------------|--------------|-----------------|-----------------|----------|----------|----------|
| 1 | Sürşarj | Yayıllı | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Dolgu üzerindeki yayılı yük [kN/m²]

E23: Sürşarj bilgisi.

iCad

Sürşarj Bilgileri
Sürşarj bilgilerini giriniz

Sürşarj adı: Sürşarj2

Sürşarj türü: Yayılı

Sürşarj yükü:
Sürşarj değeri: 10 [kN/m²]

Görünüm

+ Ekle Kapat

E24: Sürşarj bilgisi ekle.

11. ETKİTİLMİŞ YÜKLER

iCad

Etkitilmiş Yük Tanımı
Lütfen gerekli alanları doldurunuz

Etkitilmiş Yük Tanımı

Adı: Kuvvet1

F_x (Kuvvet Değeri): 0 [kN/M]

F_y (Kuvvet Değeri): 0 [kN/M]

M (Moment Değeri): 0 [kNm/M]

x (Etkime Noktası): 0 [m]

y (Etkime Noktası): 0 [m]

+ Ekle Kapat

E25: Etkitilmiş yükler.

12. ANALİZ

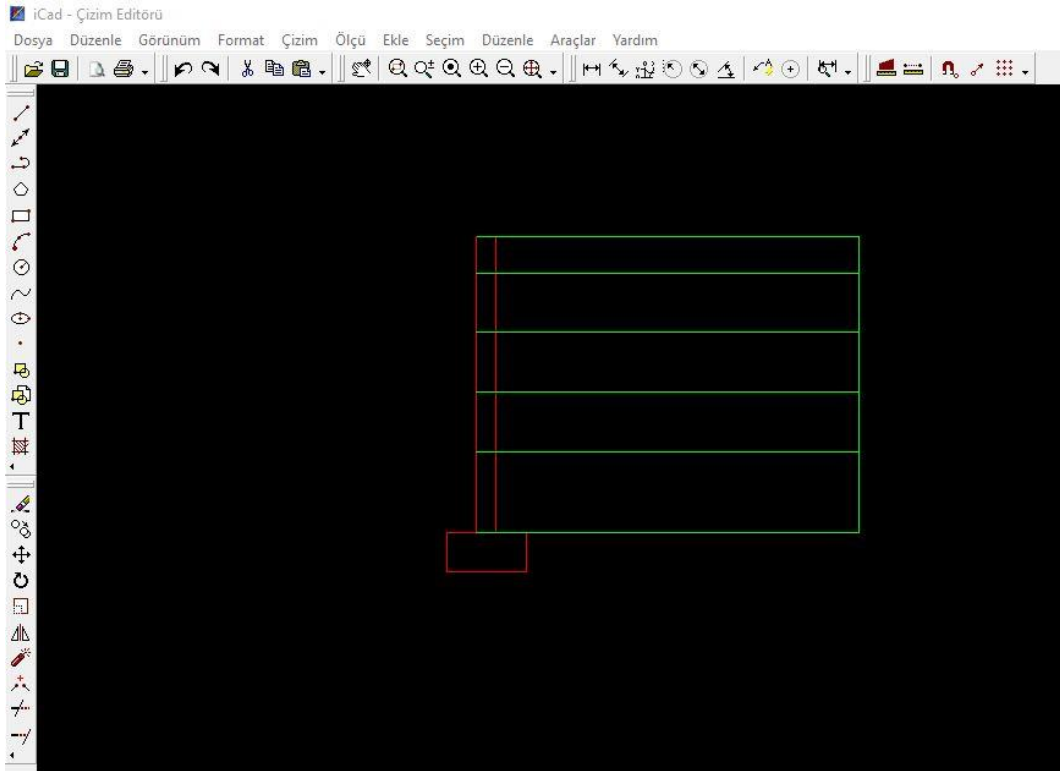
| Kuvvet | F_x [kN/m] | F_z [kN/m] | x [m] | y [m] |
|------------------------|--------------|--------------|-------|-------|
| Dolgu ağırlığı | - | 319,68 | 2,4 | 1,85 |
| Zemin itkisi (Statik) | 166,28 | 96 | 4,8 | 2,66 |
| Zemin itkisi (Dinamik) | 75,23 | 43,43 | 4,8 | 3,99 |
| Yayıllı | 27,71 | 16 | 4,8 | 3,99 |
| Yayıllı (Dinamik) | 12,54 | 7,24 | 4,8 | 5,33 |

Kuvvet Stabilite Analiz Sonuçları İç Stabilite Donatı üzerinde kayma

Stabilite Analizi İç Stabilite Analizi

E26: Analiz.

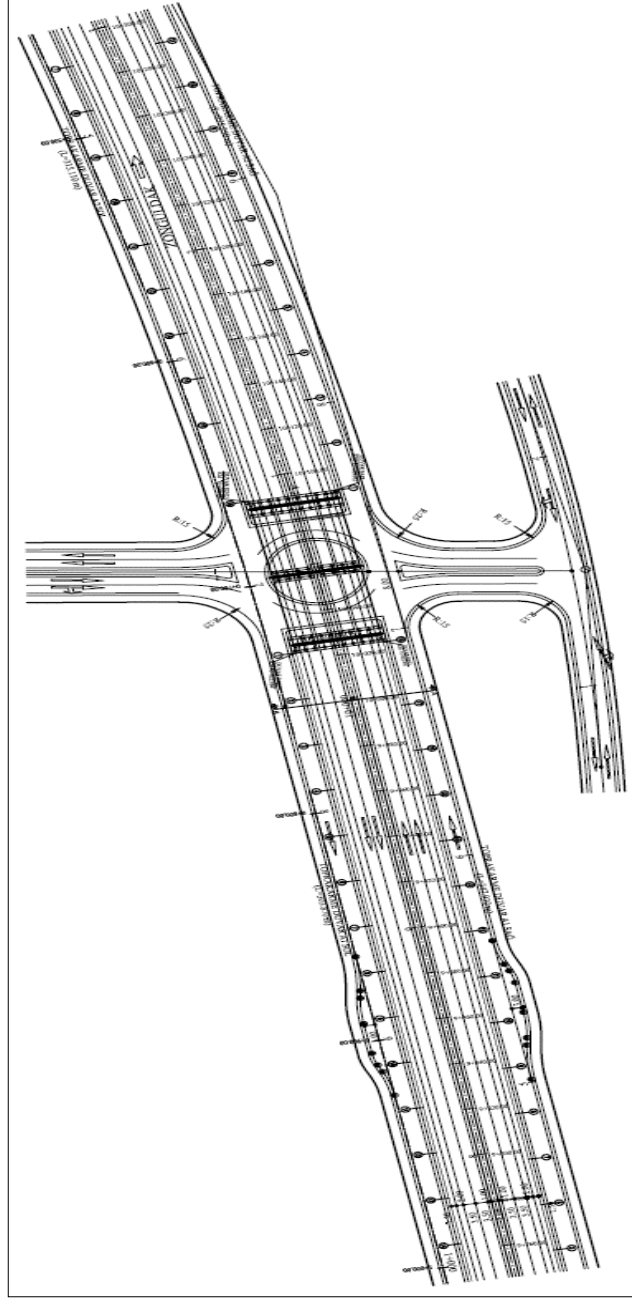
13. ÇİZİM



E27: Çizim.

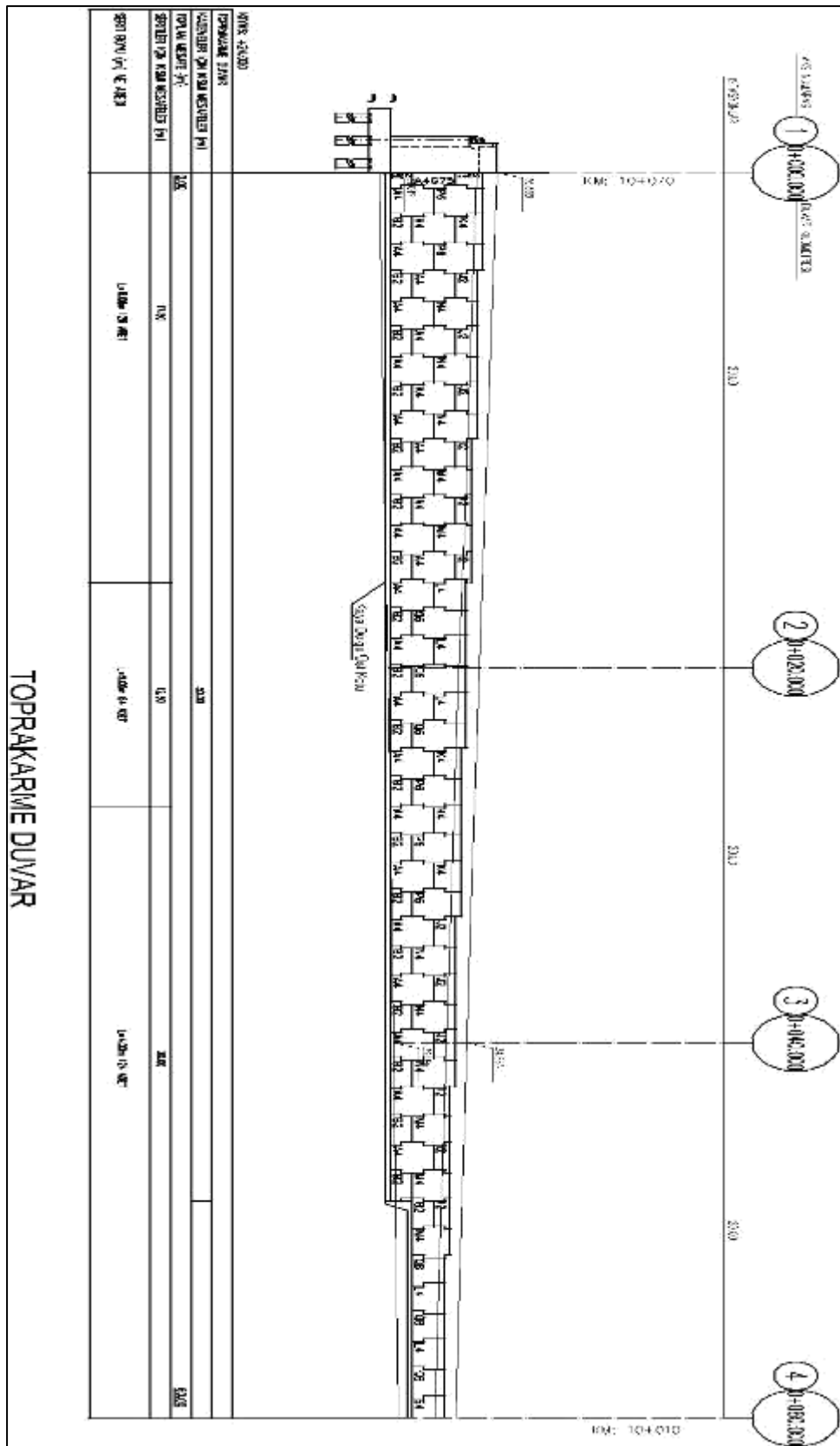
EK II: Toprakarme İstinat Duvarı Projesinde Olması Gerekli Paftalar

Genel Yerleşim Planı



E28: Genel yerleşim planı (Seda, 2015).

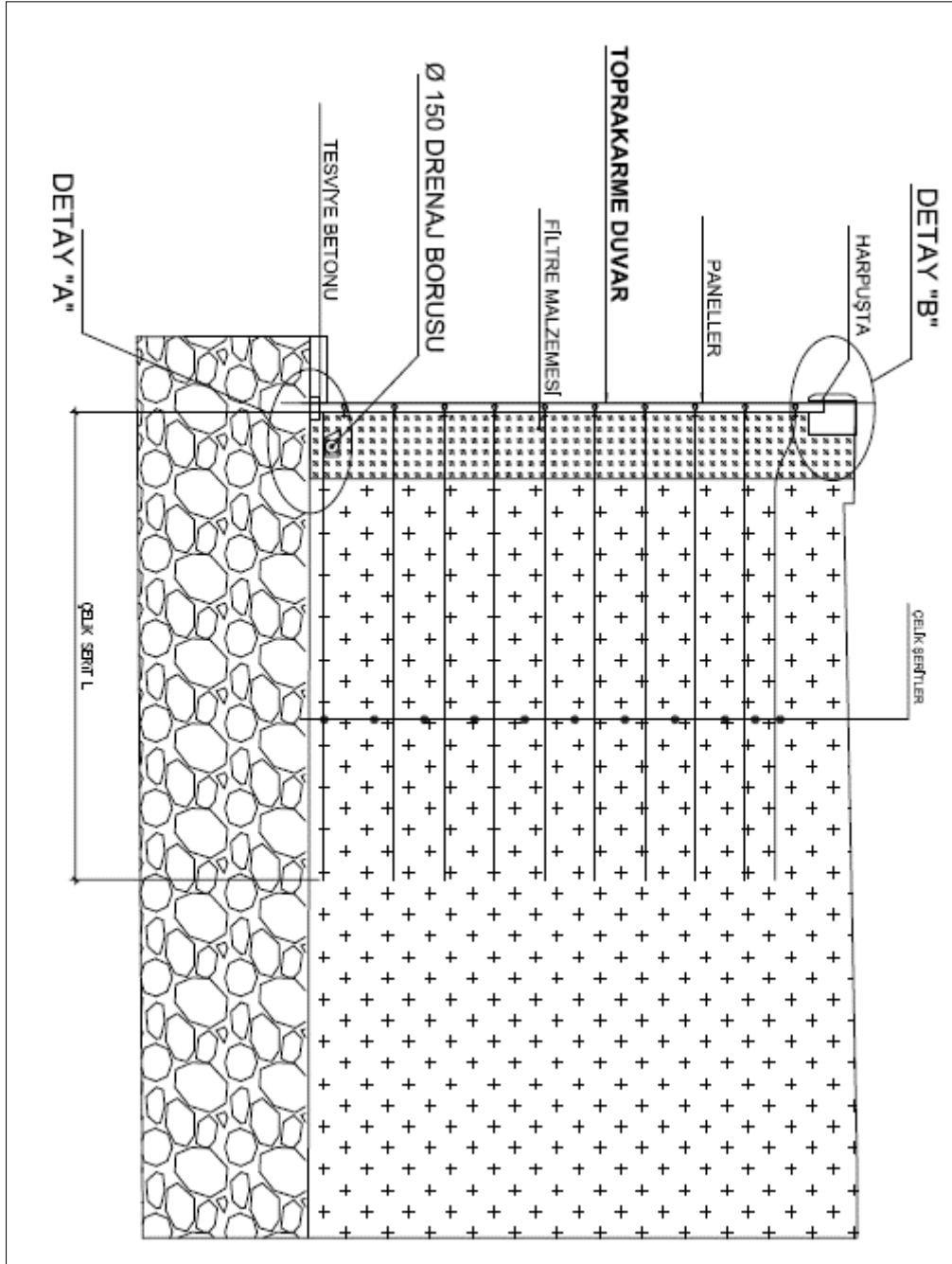
Toprakarme Duvar Profili



E29: Toprakarme duvar profili (Seda, 2015).

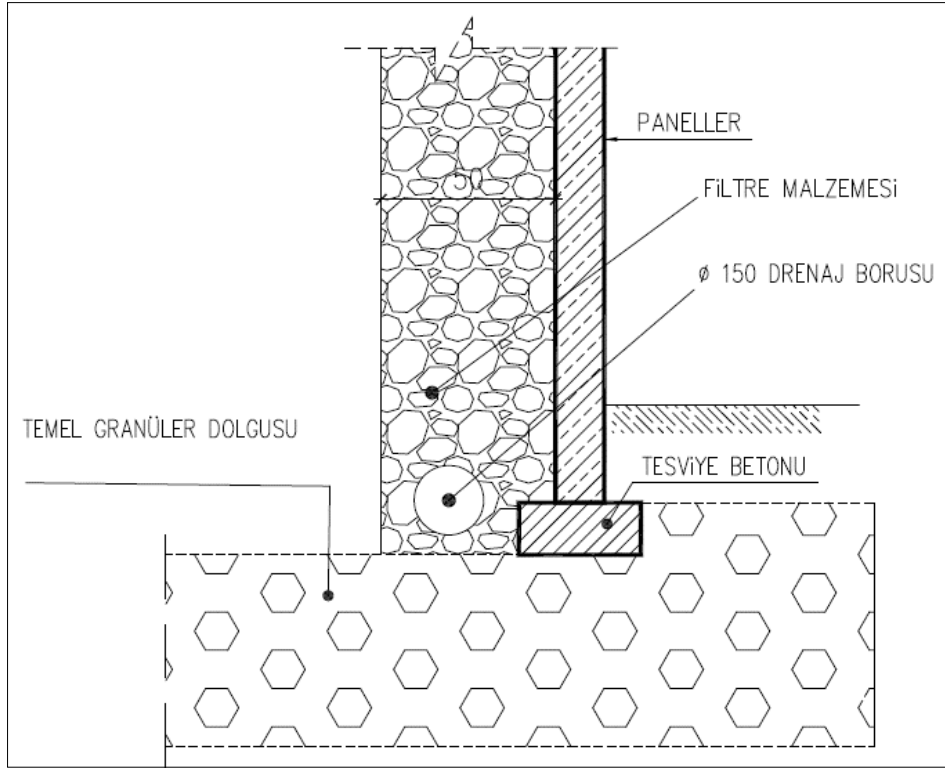
Kesitler ve Detaylar

Toprakarme Duvar En Kesiti



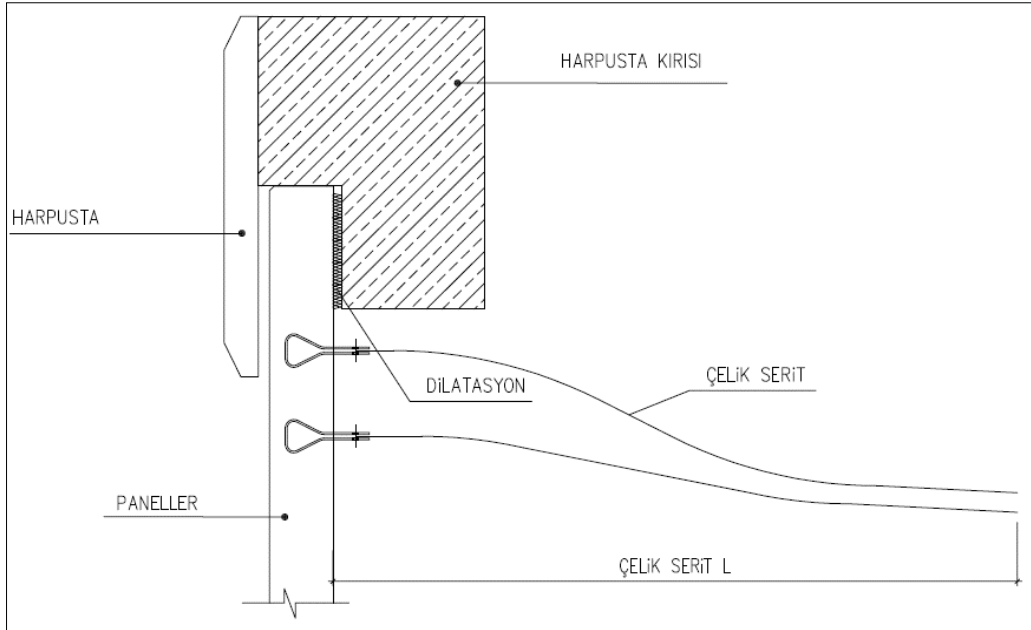
E30: Toprakarme duvar en kesiti (Seda, 2015).

Detay A Alt Drenaj Detayı



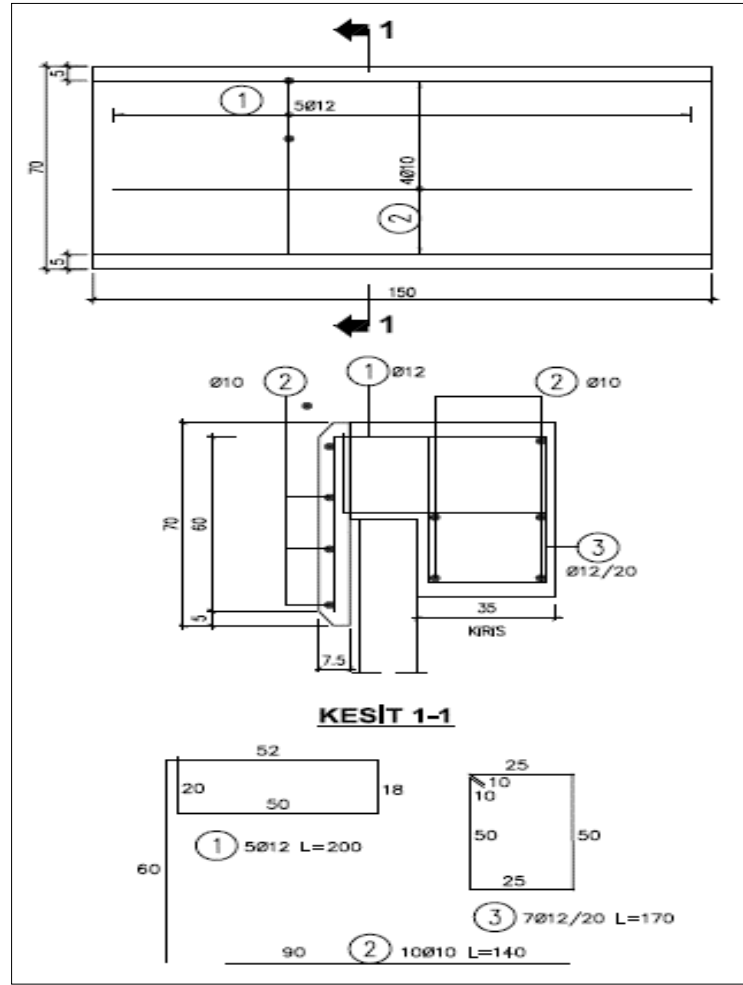
E31: Detay A alt drenaj detayı (Seda, 2015).

Detay B Tipik Duvar Üstü Detayı



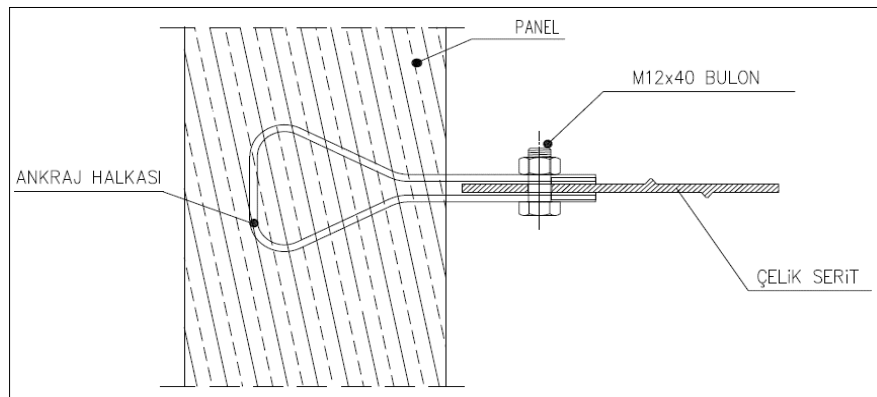
E32: Detay B tipik duvar üstü detayı (Seda, 2015).

Prekast Cephe Paneli Kalıp ve Donatı Detayı



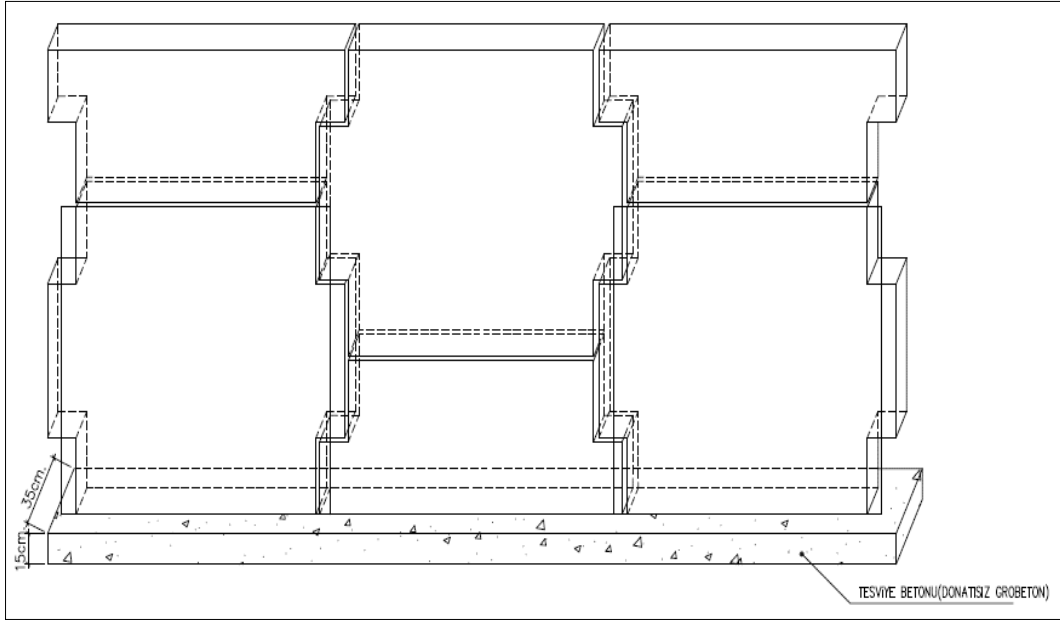
E33: Prekast cephe paneli kalıp ve donatı detayı (Seda, 2015).

Çelik Şeritlerin Bağlantı Detayı



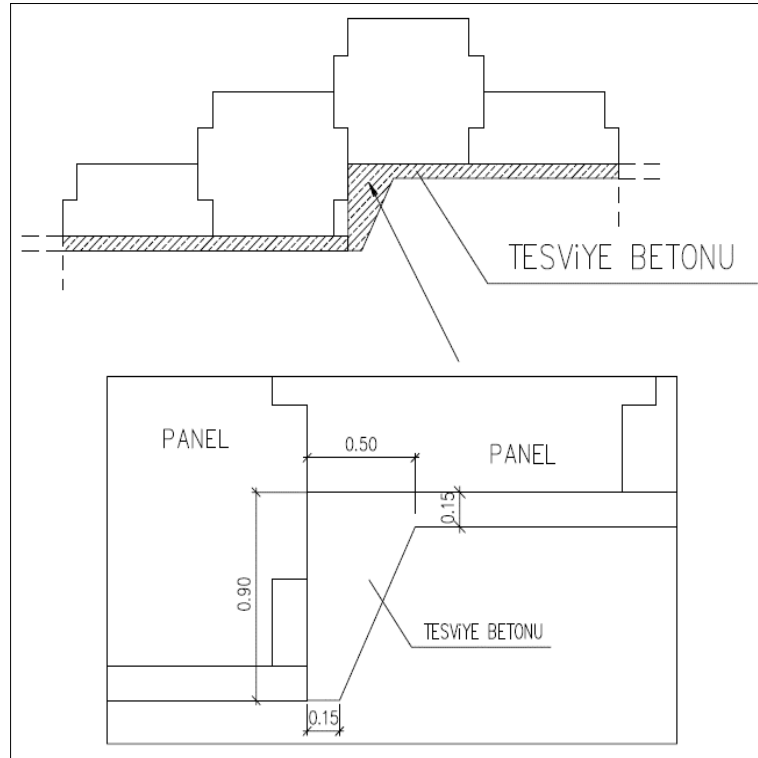
E34: Çelik şeritlerin bağlantı detayı (Seda, 2015).

Toprakarme Duvarı Tesviye Betonu Detayı



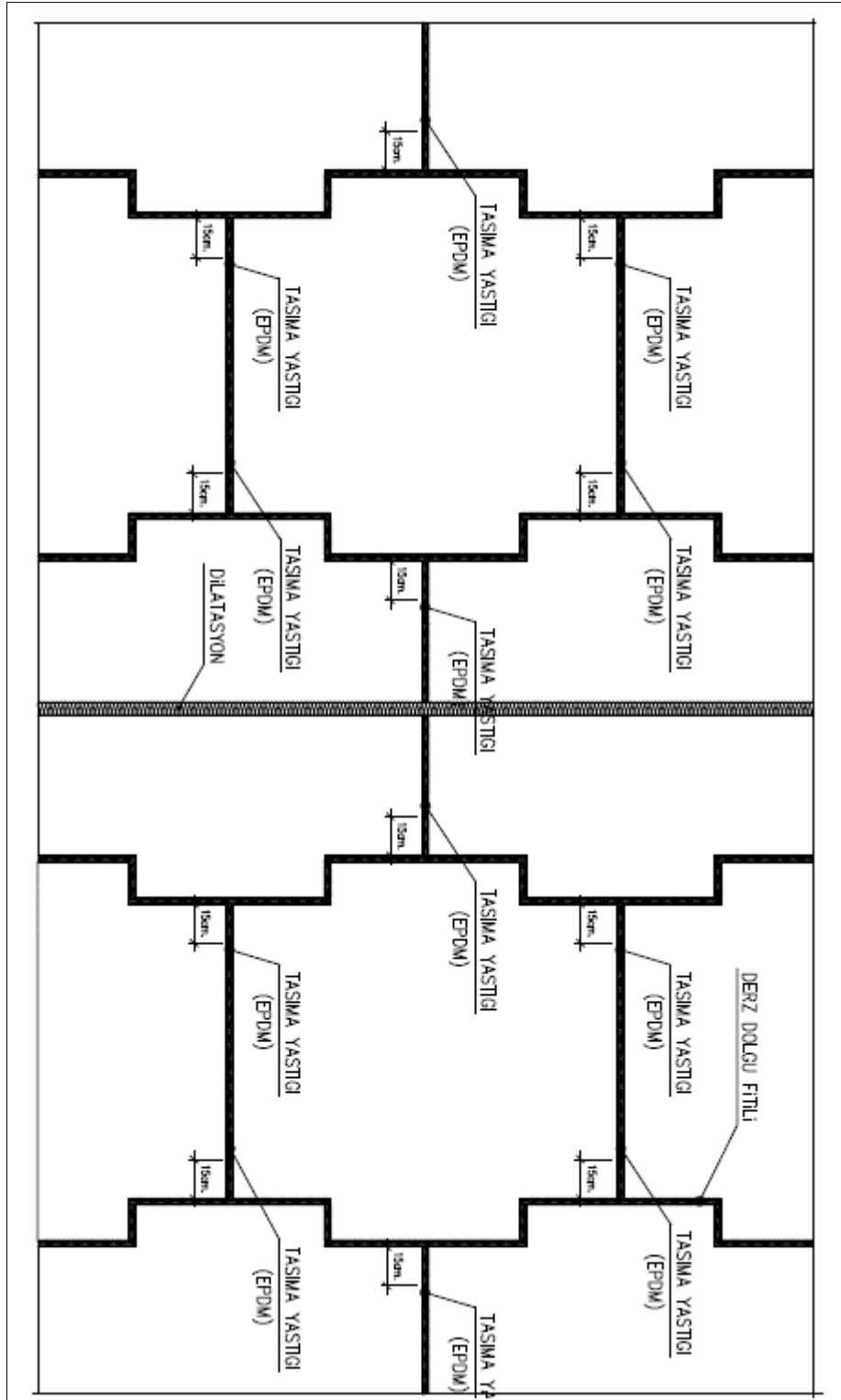
E35: Toprakarme duvarı tesviye betonu detayı (Seda, 2015).

Kademelerde Tesviye Betonu Detayı



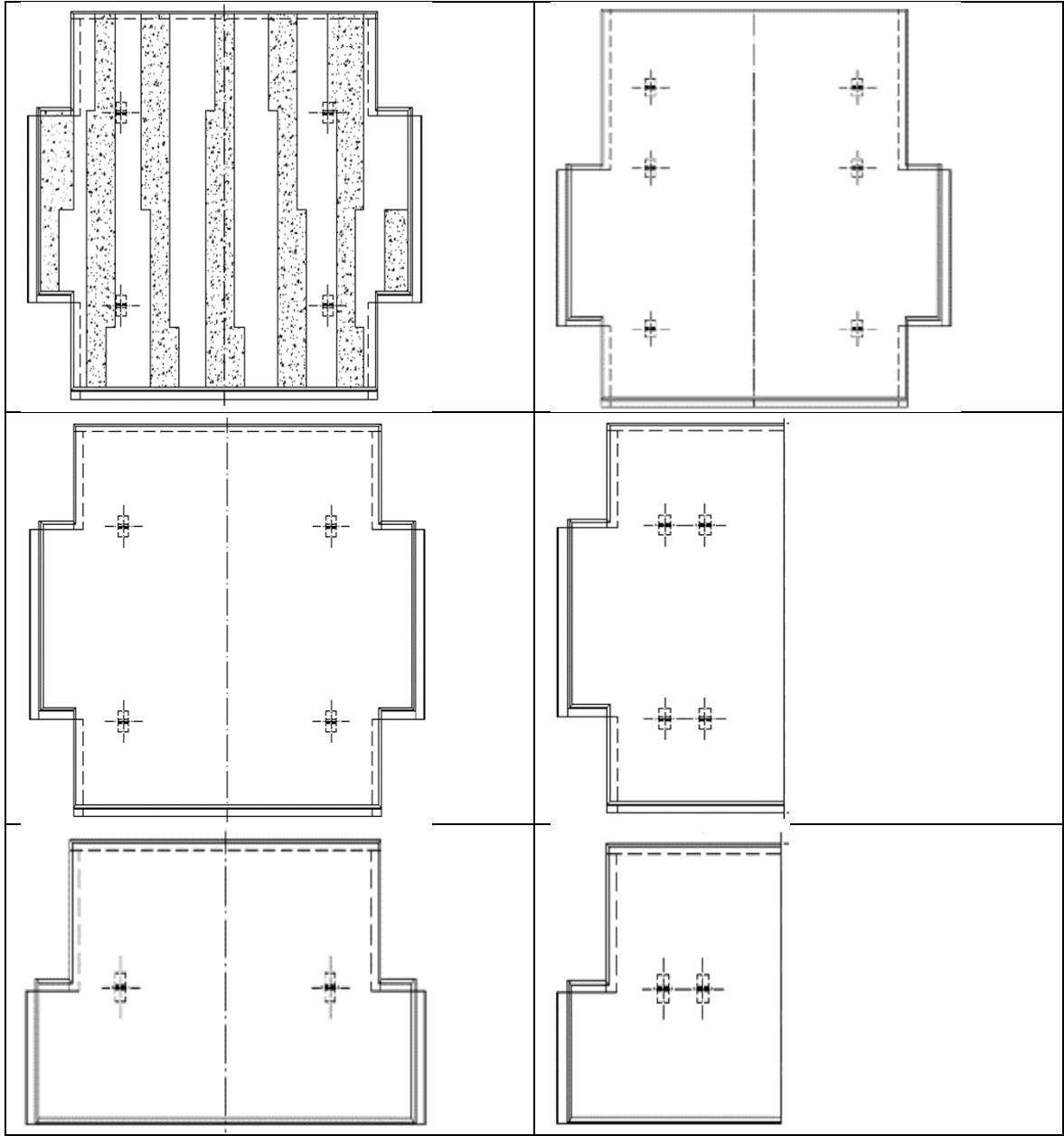
E36: Kademelerde tesviye betonu detayı (Seda, 2015).

Dilatasyon Derzi, Derz Dolgu Fiteli ve (EPDM) Taşıma Yastığı Detayı



E37: Dilatasyon derzi, derz dolgu fitili ve (EPDM) taşıma yastığı detayı (Seda, 2015).

Panel Detayları



E38: Örnek panel tipleri (Seda, 2015).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Fahrettin Yılmaz
Doğum Yeri ve Tarihi : Devrek 13.01.1991

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh.
Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Totiç, E. ve Yılmaz, F. (2017). Şerit Donatılı
Toprakarme Duvar Sisteminin Uygulanması
(Kutlubeyyazıcılar – Bartın). *Bartın Üniversitesi
Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(2), 103-
111.

İş Deneyimi

Stajlar : Ağaoğlu Şirketler Grubu. Cengiz Holding.
Çalıştığı Kurumlar : Alagözler Şirketler Grubu. Çelikler Holding.

İletişim

E-Posta Adresi : f.y.67@hotmail.com

Tarih : 01/02/2018 (Tez sınav tarihi)