

T.C
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI TEMEL TİPLERİNİN VE FARKLI ZEMİN İYİLEŞTİRME
TEKNİKLERİNİN YAPI MALİYETİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE AZAT

TEZ DANIŐMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ BURAK GÖRGÜN

BİLECİK 2022

10475883

T.C
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI TEMEL TİPLERİNİN VE FARKLI ZEMİN İYİLEŞTİRME
TEKNİKLERİNİN YAPI MALİYETİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE AZAT

TEZ DANIŐMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ BURAK GÖRGÜN

BİLECİK 2022

10475883

BEYAN

Farklı Temel Tipleri Ve Farklı Zemin İyileştirme Tekniklerinin Yapı Maliyetine Etkisi adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğruluğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	x
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- AK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
karar tarih/sayı:	/.....	

EMRE AZAT

05/07/2022

İmza

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Burak GÖRGÜN' e değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Savunma sınavı/proje sunumu sırasında değerli jüri üyeleri danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Burak GÖRGÜN, Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım BAYAZIT, Dr. Öğr. Üyesi Eren BALABAN çalışmamın son haline gelmesindeki değerli katkıları adına teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak bugünlere ulaşmamdaki emekleri adına değerli aileme teşekkür ederim.

Emre AZAT

05/ 07/ 2022

ÖZET

FARKLI TEMEL TİPLERİNİN VE FARKLI ZEMİN İYİLEŞTİRME TEKNİKLERİNİN YAPI MALİYETİNE ETKİSİ

Bu tez çalışmasında Yalova ili Çiftlikköy İlçesinde bulunan ve 2022 yılında inşası yapılmış olan konut amaçlı yapı referans alınarak, farklı temel tiplerinin ve farklı zemin iyileştirme tekniklerinin yapının maliyetindeki etkisi Sta4cad v14 programı ile modelleme yapıldıktan sonra beton, donatı metrajı ve güncel birim fiyatlardan oluşan maliyet tabloları oluşturularak değerlendirilmiştir.

Temel tiplerinin ve zemin iyileştirme tekniklerinin yapı inşasında, yapının maliyet hesabına etkisi büyüktür. Bu iki husus zayıf yeraltı koşullarında yapı inşası için gerekli zemin parametrelerini, kriterlerini iyileştirip arttırarak yapının inşasına olanak sağlar. İnşaat alanlarındaki zeminin ıslahı basınç dayanımını ve taşıma gücünü arttırırken geçirimsizliğin azaltılmasına yardımcı olur. Yapıya ait temel tipi projelendirilirken yapının oturacağı zeminin dinamik yükler etkisindeki davranışının bilinmesi gereklidir. Buna bağlı olarak zemin etüt raporundaki yük-deformasyon özellikleri incelenip depreme dayanıklı tasarımlar yapılmasının önü açılmış olur.

Bu çalışmada zemin iyileştirme tekniklerinin (Deep Soil Mixing) , temel altı kazık (Fore Kazık) ve farklı temel tiplerinin (Tekil, Sürekli, Radye) yapı maliyetine etkisi güncel birim fiyatlara bağlı olarak ele alınmıştır. Yapılan değerlendirmelerde maliyet etkisinin dışında yapılan uygulama ve yöntemlerin oluşturacağı avantaj ve dezavantajlara değinilmiştir. Yapılan uygulamaların statik analiz sonucunda metraj cetvellerine yansıtılarak yapının yapım maliyetine etkisi değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapı, Temel, Radye, Maliyet, Zemin İyileştirme.

ABSTRACT

THE EFFECT OF DIFFERENT FOUNDATION TYPES AND DIFFERENT SOIL IMPROVEMENT TECHNIQUES ON BUILDING COST

In the residential project in Yalova, which was made in this thesis, the concrete at the point of different foundation types and different technical formations was evaluated in its structure consisting of concrete, reinforcement size and current structure, after the structure of different foundation types and different technical formations, concrete, concrete size and prices in the current structure.

In building construction, foundation types and remediation techniques are affected by cost orientation. This poor design provides the basis for building construction. Correction of the ground in construction helps the permeability of the ground when training to read and read the thinness of strength in the ground. The effects of the foundation type on the ground to be considered when projecting to belong to the structure. Accordingly, it will be prevented from making designs for earthquakes that are loaded in the ground survey report.

In this training, the effects of soil improvement techniques on foundation pile (Front Pile) and different foundation pile (Single, Continuous, Raft) construction equipment were discussed depending on the current product. Benefits and preferences will be mentioned, as there will be practice and style in the interviews to be held in the evaluations.

In the evaluation made, it is interpreted in a way that can be evaluated statistically.

Keywords: Structure, Foundation, Raft , Cost, Soil Improvement.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel	1
1.2. Amaç	2
2. TEMEL TİPLERİ	4
2.1. Yüzeysel (Sığ) Temel Çeşitleri.....	4
2.1.1. Tekil (Münferit) Temeller	4
2.1.2. Duvar Altı Temeller.....	5
2.1.3. Birleşik (Kombine) Temeller	5
2.1.4. Müttemadi (Sürekli, Şerit) Temeller	6
2.1.5. Radye Temeller	7
2.2. Derin Temel Çeşitleri	9
2.2.1. Kazıklı Temeller	9
2.2.2. Keson (Kuyu, Kutu) Temeller	12
2.2.2.1. Kuyu Temel	12
2.2.2.2. Kutu Temel.....	14
3. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	18
3.1. Yüzeysel Zemin İyileştirme Yöntemleri	18

3.1.1. Kompaksiyon	18
3.1.1.1. Yüzeysel Kompaksiyon	18
3.1.2. Çimento ile Stabilizasyon	20
3.1.3. Kireç ile Stabilizasyon	22
3.1.4. Bitüm ile Stabilizasyon	23
3.1.5. Uçucu Kül ile İyileştirme	24
3.2. Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri	24
3.2.1. Ön Yükleme.....	24
3.2.2. Kum Drenleri	25
3.2.3. Prefabrik Drenler	25
3.2.4. Vibro Kompaksiyon Metodu	25
3.2.5. Kompaksiyon Kazığı	27
3.2.6. Patlatma Metodu	28
3.2.7. Taş Kolonlar	29
3.3. Enjeksiyon Teknikleri	31
3.3.1. Çatlatma Enjeksiyonu	32
3.3.2. Sıkılama Enjeksiyonu (Kompaksiyon Enjeksiyonu)	32
3.3.3. Geçirimsizlik Enjeksiyonu (Permeasyon)	33
3.3.4. Jet-Grout (Yüksek Basınç Enjeksiyonu)	33
3.3.5. Derin Karıştırma (Deep Soil Mixing)	36
3.4. Elektro - Osmoz	39
3.5. Termal Yöntemler	39
3.5.1. Isıtma Metodu	39
3.5.2. Dondurma Metodu	40
3.6. Diğer İyileştirme Yöntemleri.....	41
3.6.1. Geotekstiller	41

4. ZEMİNLERDE SIVILAŞMA ETKİSİ.....	42
5. ZEMİN İYİLEŞTİRME TEKNİKLERİNİN VE TEMEL TİPLERİNİN YAPI MALİYETİNDEKİ ETKİSİ	43
5.1. Arazinin Depremselliği.....	43
5.1.1. Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler	43
5.2. İncelenecek Alanın Jeolojisi.....	46
5.3. Metraj, Keşif Ve Yapıda Maliyet Karşılaştırılması	48
5.3.1. Statik Analizde Kullanılacak Yazılım Programı	48
5.3.2. Statik Model	48
5.4. Temel Tiplerinin Yapı Maliyetindeki Etkisi	50
5.4.1. Radye Temel Uygulanması Ve Tasarımı	50
5.4.2. Müttemadi Temel Uygulanması Ve Tasarım	53
5.4.3. Tekil Temel.....	56
5.4. Farklı Temel Tiplerinin Yapı Maliyetindeki Etkisinin Değerlendirilmesi ...	58
5.5. Zemin İyileştirme Tekniklerinin Yapıdaki Maliyet Etkisi	59
5.5.1. Deep Soil Mixing'nin (DSM) Yapıdaki Maliyet Etkisi	59
5.5.2. Fore Kazık Uygulamasının Yapıdaki Maliyet Etkisi	68
5.6. Zemin İyileştirme Tekniği ve Derin Temel Çeşidinin Yapı Maliyetindeki Etkisinin Değerlendirilmesi	76
6. SONUÇ.....	77
KAYNAKÇA	79

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Çimento Miktarları	21
Tablo 5.1. Yapının İnşa Alanındaki Deprem Parametreleri	45
Tablo 5.1. 5 Katlı Binanın Radye Temel Olması Durumunda Kullanılan Beton ve Kalıp Metrajı	50
Tablo 5.2. 5 Katlı Binanın Radye Temel Olması Durumunda Kullanılan İnşaat Çeliği Metrajı	51
Tablo 5.3. 5 Katlı Binanın Sürekli (Mütemadi) Temel Olması Durumunda Kullanılan Beton Ve Kalıp Metrajı.....	53
Tablo 5.4. 5 Katlı Binanın Sürekli (Mütemadi) Temel Olması Durumunda Kullanılan İnşaat Çeliği Metrajı	54
Tablo 5.5. 5 Katlı Binanın Tekil (Pabuç) Temel Olması Durumunda Kullanılan Beton Ve Kalıp Metrajı	56
Tablo 5.6. 5 Katlı Binanın Tekil (Pabuç) Temel Olması Durumunda Kullanılan İnşaat Çeliği Metrajı	57
Tablo 5.7. 2022 Yılı Güncel Birim Fiyatları	58
Tablo 5.8. Metraj Özeti.....	58
Tablo 5.9. DSM Öncesi Ve Sonrası Zemindeki Parametre Değişimi	60
Tablo 5.10. Deep Soil Mixing Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Beton Metrajı	61
Tablo 5.11. Deep Soil Mixing Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Donatı Metrajı.....	62
Tablo 5.12. DSM Sonrası Beton Metrajı	64

Tablo 5.13. Deep Soil Mixing Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Donatı Metrajı.....	65
Tablo 5.14. 2022 Yılı Nisan Ayı Güncel Birim Fiyatları	67
Tablo 5.15. DSM Öncesi Ve Sonrası Metraj Değişimi	67
Tablo 5.16. DSM Metrajı	67
Tablo 5.17. 2022 Yılı Nisan Ayı Güncel Birim Fiyatları	67
Tablo 5.18. Fore Kazık Öncesi Ve Sonrası Zemindeki Parametre Değişimi	68
Tablo 5.19. Fore Kazık Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Beton Metrajı.....	71
Tablo 5.20. Fore Kazık Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Donatı Metrajı.....	72
Tablo 5.21. Fore Kazık Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Donatı Metrajı.....	73
Tablo 5.22. 2022 Yılı Nisan Ayı Güncel Birim Fiyatları	74
Tablo 5.23. Fore Kazık Uygulaması Öncesi Ve Sonrası Maliyet Değişimi.....	74
Tablo 5.24. DSM ve Fore Kazık Metrajı.....	76
Tablo 5.25. DSM ve Fore Kazık Uygulamalarıyla Yapı Maliyet Toplam Tablosu	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.2. Duvar Altı Temel Kesiti	5
Şekil 2.3. Dikdörtgen Ve Yamuk Taban Alanlı Birleşik Temellerin Genel Görünümleri	6
Şekil 2.4. Çift Ve Tek Yönde Sürekli Temeller.....	6
Şekil 2.5. Basit Plaklı Yayılı Temel Kesiti	7
Şekil 2.6. Basit Plaklı Yayılı Temel Planı	7
Şekil 2.7. Kirişsiz Radye Temel.....	8
Şekil 2.8. Üstten Kirişli Radye Temel	9
Şekil 2.9. Kazıklı Temelli Yapı Düşey Kesit Ve Plan Örneği.....	10
Şekil 2.10. Fore Kazık İmalatı Kesit Görünüşü	11
Şekil 2.11. Kuyu Temel Tipleri	12
Şekil 2.12. Kuyu Temel Yapımında Muhafaza Borulu Sistem.....	13
Şekil 2.13. Ayak Temel	14
Şekil 2.14. Kutu Temelde Kesit İçin Seçenekler	14
Şekil 2.15. Açık Tip Kutu Temel.....	15
Şekil 2.16. Açık Tip Kutu Temelin Sahada Uygulaması.....	16
Şekil 2.17. Hava Basınçlı Kutu Temel Düzeni	16
Şekil 2.18. Hava Basınçlı Kutu Temelinin Kesiti	17
Şekil 2.19. Kazık Biçimli Kutu Temel.....	17

Şekil 3.1. Yüzeysel Kompaksiyon Uygulaması.....	18
Şekil 3.2. Dinamik Kompaksiyon	19
Şekil 3.3. Ağır Dinamik Konsolidasyon	20
Şekil 3.4. Serbest Basınç Mukavemetinin Çimento Muhtevasına Etkisi.....	21
Şekil 3.5. Kireç Stabilizasyonun Farklı Zeminlere Olan Etkisi.....	22
Şekil 3.6. Kireç Stablizasyonu Uygulaması.....	23
Şekil 3.7. Ön Yükleme İle Sıkıştırmaya Ait Oturma-Zaman Grafiği	24
Şekil 3.8. Vibrokompaksiyon Uygulaması	26
Şekil 3.9. Vibroflataston Metodu.....	27
Şekil 3.10. Sardis Barajı Dolgusunun Memba Yüzeyine Çakılan Kompaksiyon Kazıkları. ..	28
Şekil 3.11. Patlatma Ünitesi.....	29
Şekil 3.12. Köprü İnşasından Önce Abatman Altındaki Gevşek Zeminin Patlatma İle Sıkıştırılması.....	29
Şekil 3.13. Taş Kolon Yerleştirme Yöntemleri:	30
Şekil 3.14. Taş Kolon Uygulaması	31
Şekil 3.15. Dane Boyutuna Göre Zemin İyileştirme Yöntemleri	31
Şekil 3.16. Basınç İle Çatlak Oluşumu Ve Sıkıştırma İşleminin Şematik Gösterimi.....	32
Şekil 3.17. Kompaksiyon Enjeksiyonu	33
Şekil 3.18. Jet Grout Uygulama Aşaması	34
Şekil 3.19. Jet Grout Kolonları Delme-Püskürtme Aşamaları.....	35

Şekil 3.20. Konut İnşaatında Uygulanan Temel Altı Derin Karıştırma İşlemi Enjeksiyon Malzemesi	36
Şekil 3.21. Konut İnşaatında Uygulanan Temel Altı Zemin Karıştırma İşlemi Uygulaması .	37
Şekil 3.22. Konut İnşaatında Uygulanan Temel Altı Zemin Karıştırma İşlemi Uygulaması .	38
Şekil 3.23. İmalatı Bitmiş Deep Soil Mixing (DSM) Kolonu	38
Şekil 3.24. Elektro Osmoz Yönteminde Anottan Katota Doğru İlerleyen İyonlar	39
Şekil 3.25. Isıtma Metodu İle Mukavemet Artışı	40
Şekil 3.26. Yer Altı Suyu Kesitinde Dondurma Metodu Etkisi.....	40
Şekil 3.27. Mikroskop Altında İncelenen Geotekstil Ürünler	41
Şekil 5.1. Yalova İlinin Fiziki Haritası ve Yükseklik Kademeleri	44
Şekil 5.2. İnceleme Alanının Jeolojik Enine Kesitleri	46
Şekil 5.3. Arazi Zemin Modeli Ve Yeraltı Suyu Durumları	47
Şekil 5.4. Statik Kalıp Planı	48
Şekil 5.5. Statik 3d Model.....	49
Şekil 5.6. Statik 3d Model.....	49
Şekil 5.7. 5 Katlı Binanın Radye Temel Yapılmasıyla Temelde Zemin Gerilme Durumu	52
Şekil 5.8. 5 Katlı Binanın Sürekli (Mütemadi) Temel Yapılması Durumunda Temelin Zemin Gerilme Durumu	55
Şekil 5.9. Deniz Seviyesindeki Konut İnşaatı Temelinde Uygulanan DSM Kolonları	59
Şekil 5.10. Deniz Seviyesindeki Konut İnşaatı Temelinde Uygulanan DSM Kolonları	60
Şekil 5.11. Deep Soil Mixing Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temel Fea Analizi	63

Şekil 5.12. Deep Soil Mixing Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temeldeki Zımbalama Sonucu.....	63
Şekil 5.13. Deep Soil Mixing Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temel Fea Analizi	66
Şekil 5.14. Deep Soil Mixing Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temeldeki Zımbalama Sonucu.....	66
Şekil 5.15. Sta4cad Temel Altı Fore Kazık Modellemesi Görseli.....	69
Şekil 5.16. Fore Kazık Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temel Fea Analizi.....	69
Şekil 5.17. Fore Kazık Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temel Fea Analizi....	70

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

A_b: Kuyu Temel Dairesel Alanı

° : Derece

DSM : Deep Soil Mixing (Derin Karıştırma)

TS500: Türk Standartları Yönetmeliği

TDY: Türkiye Deprem Yönetmeliği

MPa: Megapascal

DSM: Deep Soil Mixing

F_s: Kısa Periyod Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı

kg: Kilogram

m³: Metreküp

m²: Metrekare

t: Ton

km²: Kilometrekare

₺ : Türk Lirası

qt: Zemin Taşıma Gücü

CO₂: Karbondioksit

τ_R: Sıvılaşma Direnci

CRR_{M7.5}: Moment Büyüklüğü 7.5 Olan Depreme Karşı Gelen Çevrimsel Dayanım Oranı

C_M: Tasarım Depremi Moment Büyüklüğü Düzeltme Katsayısı

σ'_{vo}: Efektif Düşey Gerilme

N_{1,60f} : SPT Değerlerine Göre Düzeltilmiş Darbe Sayıları

1.GİRİŞ

1.1.Genel

Geoteknik mühendisliği arazideki zemin parametrelerinin ve zemin özelliklerinin üzerinde yapılacak bir yapının gerilme değerlerini karşılayacak şekilde zeminin, ekonomik olarak optimum bir perspektifte zemin iyileştirme yöntemleri ile iyileştirilmesinden ve buna yönelik değerlendirilmesinden sorumludur.

Geoteknik, inşaat mühendisliğinin ana bilim dallarından biri olmasıyla birlikte yirminci yüzyılda gelişim göstermeye başlamıştır.

“Zemin Mekaniğinin Babası” olarak nitelendirilen Terzaghi Prag’da 1883 yılında doğmuştur. Hayatı boyunca zemin mekaniği adına birçok çalışmalarda yer almıştır. 1927 yılından sonra akademik gelişiminin ileriki yıllarında uluslararası Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Topluluğu kongresinin 1936 yılında Harvard üniversitesinde toplanmasını sağlamıştır. Karl Terzaghi’ nin öncülüğünde farklı başlıklar altında; kayma mukavemeti, santrifüj deneyleri, saha deneyleri, konsolidasyon oturması, zeminlere ön yükleme yapılması, yanal toprak basıncı, zemin dinamiği, elastik gerilme dağılımı ve depremler gibi konuları ele almıştır.

Bunlar ile beraber zeminin yapı üzerindeki statik ve dinamik yüklere etkisinin anlam ve önemi kavranmaya başlanmıştır.

Zemin iyileştirme yöntemleri, zeminin içsel sürtünme açısının artırılması, kayma direncinin artırılması, geçirimsizliğinin ve zemindeki boşlukların azaltılması, zemin sıkılığının artırılması esaslarına dayanabilir. Seçilecek yöntem zeminin karakterizasyonuna bağlı olarak değişir. Zemin gruplarına ve dane çaplarına karşılık uygulanabilecek yöntemler değişkenlik gösterir.

Farklı temel tipleri ise yapının karşılayacağı deplasmanlar doğrultusunda ihtiyaç duyulacak ve yapı yüklerini zemine lineer şekilde aktarabilecek bir tip olma durumuna göre değişkenlik gösterir.

Özellikle Türkiye’nin büyük bir kısmı deprem kuşağında ve fay hatları üzerinde olduğu için bu seçim hayati kaygılar barındırmaktadır.

1.2.Amaç

Bu tez çalışmasında farklı temel tiplerinin ve farklı zemin iyileştirme yöntemlerinin yapı maliyetine etkisinin değerlendirilmesini ele alacağımız bir çalışma olacak.

Yapıların statik tasarımı öncesinde yapılacak ve karar verilmesi gereken hususların başında arazi şartları, zeminin emniyet yönünden tasarım yapılmaya yönelik durumu projeye yön verebilecek aşamada ve göz önünde bulundurulması gereken hususlardandır.

Ülkemizin büyük bir bölgesi birinci derece deprem bölgesinde yer alır. Son yıllarda ülkemizde yaşanan depremler inşaat mühendisliğinde yapı tasarımının önemini gözler önüne sermiştir. Bu yaşananlarda mevcut binaların aldığı hasarlar, zeminde tasarım koşulları gibi birçok parametre, depremi yaşadıkça görülmüş olup yapılara etkisi somut örneklerde görülmüştür.

Depremi atlatan yapılara bakıldığında yapı malzemesindeki kullanılması gereken esas malzemelerin kullanılmamasıyla birlikte, projelendirilen binalarda sadece ekonomiklik göz önünde bulundurularak kullanılması gerekli yapı malzemelerinin ve yapım tekniklerinin uygulanmamasının etkileri gün yüzüne çıkmıştır. Bu yaşananların etkisinde özellikle yapı-zemin etkileşimi göz önüne alınması gereken hususların başında yerini almıştır. Yapıya etkileyen deplasmanları doğru şekilde sönmüleyebilecek temel stili seçimi ve zemin etkisinin yapılara karşı olan davranışı önem arz etmektedir.

Yapılarda bunun doğrultusunda yapı tasarımında zamanla ilerleyiş ve gelişim gösterme zorunluluğu doğmuştur.

Zamanla gerçekleşen depremler sayesinde projelendirilen binalara zamanla dinamik yükler etki eder. Bunun etkisine maruz kalan yapılar da süneklik ihtiyacı ortaya çıkar. Buda ancak statik ve dinamik analiz ile çözümlenebilir.

Statik analiz ne kadar da yerinde ve yönetmelikler (TDY 2018, TS500 vs.) doğrultusunda yapılsa bile zemin tahkikleri doğru yapılmadıktan sonra ve zeminin tasarım standardı için gereken değerlere (zemin emniyet gerilmesi, zemin yatak katsayısı, zemin sınıfı, zemin grubu vs.) ulaşması için yapılması ön görülen iyileştirme tekniklerinin uygulanmaması sonucu yapı kullanım amacına hizmet etmekten çıkabilir.

Zemin tahkiklerinin olması gerektiği, yani; geoteknik rapor ve zemin etüt raporundaki standartlara uygun deney ve analiz yöntemleri ile değerlendirilip belirlenmesi yapının projelendirilme aşamasından başlayıp (yapı temeline etkiyen gerilme yığılmalarına doğrudan etkir) uzun yıllara yayılan süreç içinde yapı sahiplerine veya yapı müteahhitlerine maliyet olarak geri dönüş sağlayabilir.

Çünkü projelendirme aşamasında; yapının statik projesi hazırlanırken zemin değerlerinin ve parametrelerinin güçlü olması yapıdaki donatı metrajı ve beton kalitesine, cinsine yansımaktadır bu da kısa süreçteki maliyet etkisi olarak değerlendirebilir.

Uzun vadedeki maliyet etkisine gelecek olursak zeminde sıvılaşma etkisi, şişme etkisi, ani veya uzun süreli oturmalar gibi benzer zemin problemlerine karşı karşıya kalındığı zaman binada kalıcı hasarlara sebep olup yapı da onarım maliyetlerine büyük ölçüde etki eder. Bununla beraber bu tarz olumsuzlukların düzeltilmesi ekonomik güç ile de bazen mümkün olmayabilir.

Çalışmamızda, yukarıda kısaca bahsedilen ve birbirine bağlı olarak gelişen farklı zemin türlerindeki farklı zemin iyileştirme yöntemlerinin yapıdaki maliyet etkisi üzerine değerlendirmeler incelenecektir.

2. TEMEL TİPLERİ

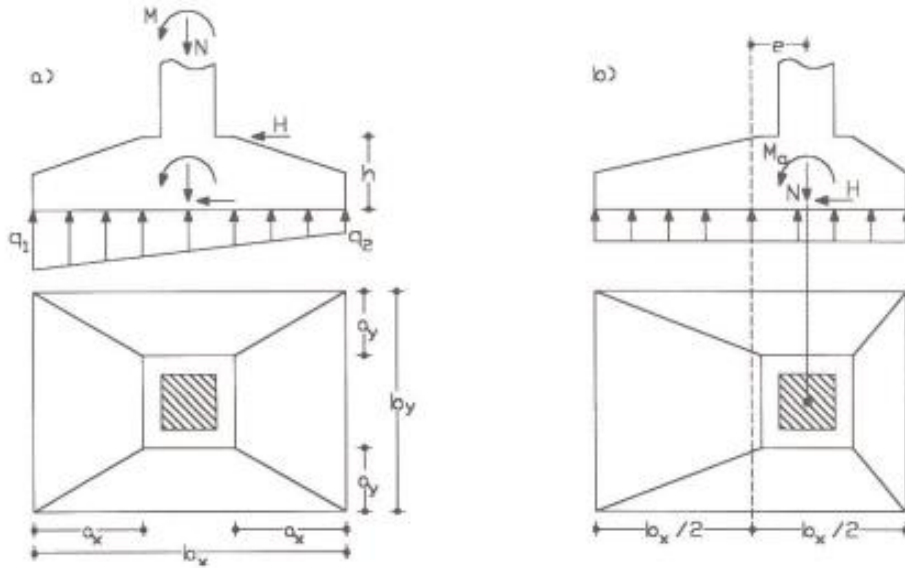
2.1.Yüzeysel (Sığ) Temel Çeşitleri

2.1.1.Tekil (Münferit) Temeller

Bu temel türü yapılarda belirli bir çokgen taban üzerine inşa edilirler. Düşey elemanların altında pabuç (plak) yapılarak uygulanır.

Binalarda, her kolonun altında yer alırlar. Betonarme olan bu tekil temel sistemi kolon yükünü daha geniş bir alana yayarak temel zeminine iletirler (Uzuner, 2006:84).

Genellikle yapıdaki düşey taşıyıcıların birbirine uzak olduğu durumlarda, yapı ağırlığının ve kat sayısının az olduğu binalarda tercih edilebilir. Bu temel sistemi yapılan sondaj raporlarıyla belirlenen yapı yapılacak zeminin sert veya orta sertlikte olduğu bölgelerde tercih sebepleri arasına girebilir. Fakat günümüzde güvenilirliğini yitirmiştir ve bu yüzden günümüzde yaygın kullanılmamaktadır. Bu temel türü diğer temel sistemlerine göre daha az malzeme, işçilik ve iş gücü ihtiyacı duyar. Bu sebeple yapım aşaması ve yapım süresi daha kısadır.



Şekil 2.1 Simetrik (a) ve simetrik olmayan (b) tekil temel

Kaynak: (Celep, 2001:440-507)

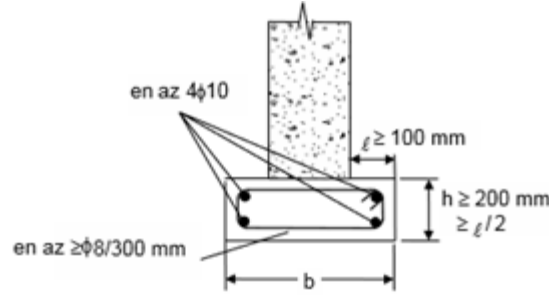
TS500'e göre tekil temelin en küçük boyutu 0,7 m'den, alanı 1 - 2 m den, kalınlığı ise 250 mm den ve konsol açıklığının 1/4 'ünden daha küçük alınamaz (Doğangün, 2002: 780).

2.1.2. Duvar Altı Temeller

Duvar altı temeller genellikle yığma olarak tasarlanan yapılarda taşıyıcı duvarlar altına inşa edilen temel çeşididir. Duvar altı temel çeşidi taşıyıcı duvar yükünü ve yapının kendi yükünü zemine lineer bir şekilde aktarması için gereken tasarım ilkelerine göre tasarlanır.

Duvar altı temeller oluşacak farklı çökme ve oturmalar dikkate alınarak bu temellerde minimum donatı koşullarına göre tasarlanır(TS 500,2000:49).

Duvar altı temel tasarımında taşıyıcı duvarın her iki tarafına ampertman mesafesi yönetmelik gereğince minimum 100 mm olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2.1. Duvar Altı Temel Kesiti

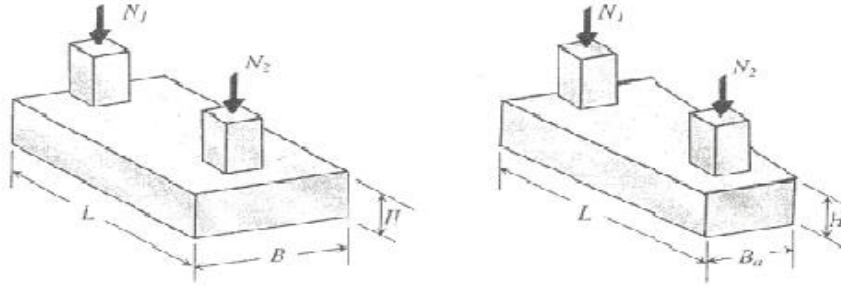
Kaynak: (TS500,2000: 49)

2.1.3. Birleşik (Kombine) Temeller

Birleşik temeller genellikle yapıdaki düşey taşıyıcı elemanların birbirine yakın olduğu durumlar da veya yapı yükünün tekil temele göre daha yüksek olduğu durumlarda tercih edilebilir. İki kolonun temeli birbirleriyle çakıştığı durumlarda temeller birleştirilir. Bu şekilde zeminin stabilitesinin zayıf olduğu durumlarda iki kolon arasına sömel olarak inşa edilerek yapı yükünü zemine aktarır.

Birleşik temeller yükü zemine aktarmada, tekil temele kıyasla zemine daha üniform ve lineer şekilde aktarmada öne çıkar. Geniş temel alanı ile metre kareye gelen zemin gerilmesi düşürülür ve statik hesaplarda önem arz eden zımbalama etkisini sönmülemde daha etkin bir rol oynar.

Birleşik temel tasarımında boyutlar seçilirken kolonlardan gelen yüklerin bileşkesi ile temelin geometrik merkezi çakıştırılmaya çalışılmalıdır. Bu başarıldığı takdirde temelin altında düzgün yayılı bir zemin gerilmesi oluşturulabilir(Ersoy, 1995:125-240).



Şekil 2.2. Dikdörtgen Ve Yamuk Taban Alanlı Birleşik Temellerin Genel Görünüşleri

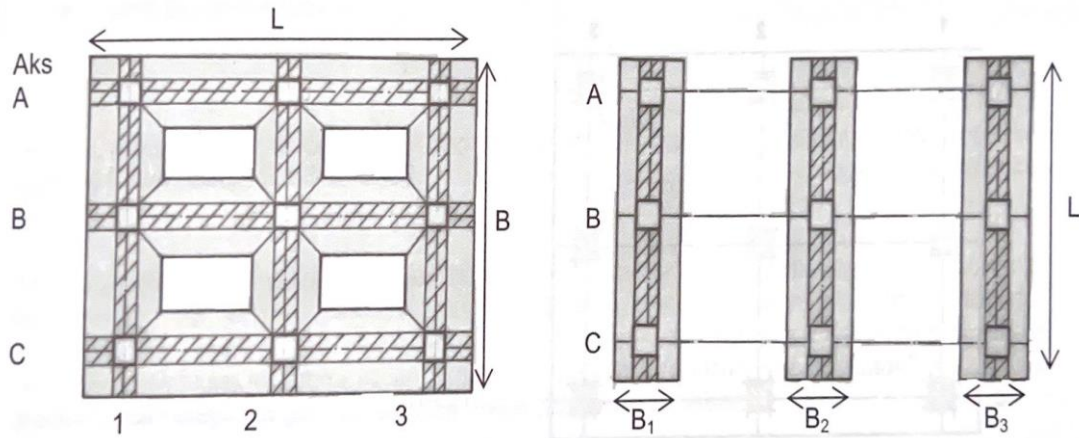
Kaynak: (Doğangün, 2002: 780)

2.1.4. Mütemadi (Sürekli, Şerit) Temeller

Yapıdaki dinamik ve statik yükler düşey elemanlar ile yatay ve dikey yönde aynı temel üzerine binip zemine aktarılıyor ise bu mütemadi temel tarifine girer. Mütemadi temelin birleşik temelden farkı; temelin uzunluğu genişliğinin beş katından fazla olmasıdır.

Mütemadi (sürekli) temeller bir doğrultuda veya iki doğrultuda inşa edilebilir.

Deprem yönetmeliğinde temellerle ilgili bahsedilen her şartta temelin bağ kirişler ile desteklenmesi koşulu vardır.



Şekil 2.3. Çift Ve Tek Yönde Sürekli Temeller

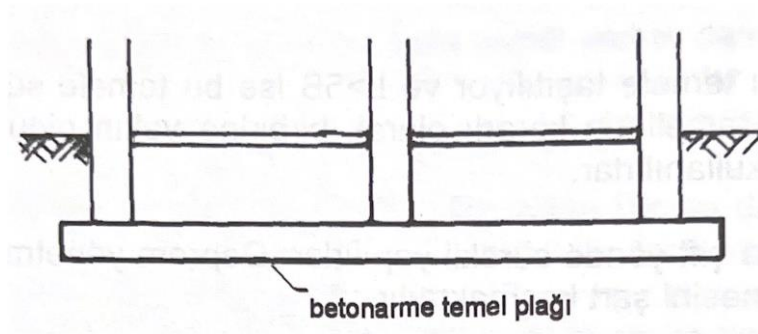
Kaynak: (Önalp,2016: 103)

2.1.5. Radye Temeller

Zemin parametrelerinin parsel bazında yer yer değişkenlik gösterdiği, yapı yükünün çok fazla olduğu ve yapıdaki tüm perde ve kolonların temele bağlı olduğu temel türüdür. Yapı oturum alanının tamamını kapsayacak bir plak şeklinde inşa edilir.

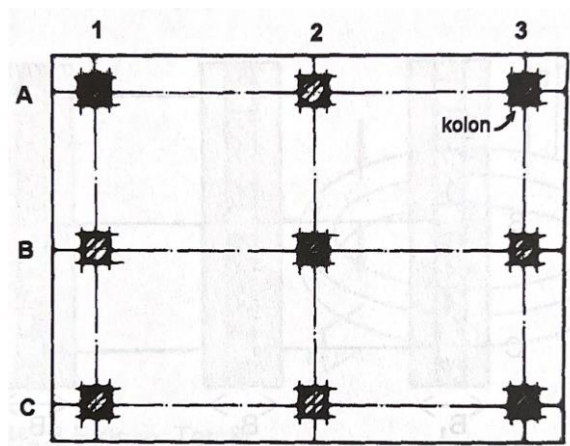
Radye temeller günümüzde zayıf veya sağlam zemin şartlarına bakılmaksızın en çok tercih edilen ve uygulanan temel çeşididir.

Tüm yüklerin bir plak düzlemine aktarılıp, bu radye plağı ile zemine aktarılmasının sonucu olarak temelde toplanan gerilme yığılmalarının zemine aktarımı daha lineer olarak gerçekleşir. Özellikle alüvyal zeminlerde görülen sıvılaşma riskleri ve düşük taşıma gücü bu temel sisteminin tercih edilmesinde büyük faktörlerden biridir. Yükler tek bir plağa etkilediği için temelde tek bir eleman gibi davranış gösterir ve temelde farklı oturma riskleri en aza indirgenmiş olur.



Şekil 2.4. Basit Plaklı Yayılı Temel Kesiti

Kaynak: (Önalp,2016: 104)



Şekil 2.5. Basit Plaklı Yayılı Temel Planı

Kaynak: (Önalp,2016: 104)

2.1.5.1. Kirişsiz Radye Temeller

Yapıdaki tüm yüklerin düşey taşıyıcı elemanlar ile tek bir plağa iletiildiği temel sistemidir. Özellikle çok katlı binalarda ve taşıyıcı sisteminin tamamının kolon çerçeve sistemler ile tasarlandığı yapılarda zımbalama etkisi, radye plakta sık karşılaşılan sorundur. Bunun önüne geçecek en önemli çözümlerden bir kaç tanesi; temel çevresindeki ampartman mesafesini arttırmak, taşıyıcı elemanların kesitinin arttırılması ya da zımbalama kontrolü sağlamayan düşey elemanlara gelen gerilmeyi azaltmak için bu düşey elemana yakın konumda kolon eklemek, kesit arttırmak veya bu düşey eleman altındaki radye plağının kalınlığını arttırma yoluna gidilebilir. Yapı statiği olarak bu çözüm önerilerinin kesiştiği nokta, radye plağında gerilmeyi düşürerek zemine daha üniform şekilde yük aktarımını sağlamaktır.

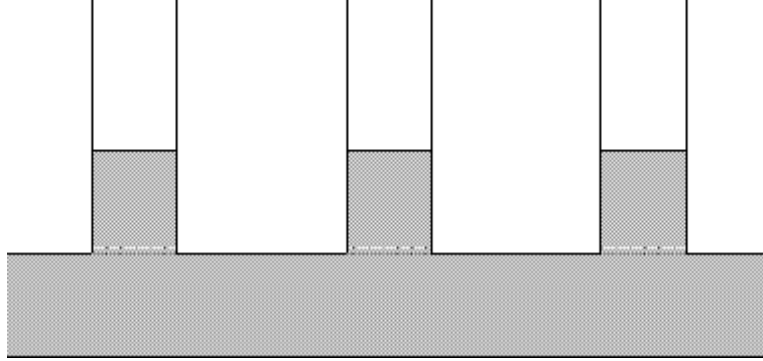


Şekil 2.6. Kirişsiz Radye Temel

2.1.5.2. Kirişli Radye Temeller

Yapıda bulunan düşey elemanların, yapının bodrum katında bulunan radye üstünde ki bir kiriş sistemine bu kirişlerinde radye plağı üzerine inşa edilmesiyle oluşan temel çeşididir. Bu şekilde tasarım yapı bünyesinde kat ötelemelerine ve yapı periyodunun olması gerekene kolaylıkla ulaşması yönünde kolaylık sağlar.

Deprem anındaki binanın hakim periyodunu düşürerek burulmayı en aza indirmeye olanak sağlar. Zeminde meydana gelebilecek olan şişme ve oturmalara karşı rijit davranış göstererek radye plağının bir bütün olarak davranış göstermesini sağlar.



Şekil 2.7. Üstten Kirişli Radye Temel

Kaynak: (Efendioğlu, 2008:36)

2.2. Derin Temel Çeşitleri

2.2.1. Kazıklı Temeller

Kazıklar imalat yöntemlerine göre 5 ana tipe ayrılırlar:

- Yerinde Dökme Çakma Kazıklar
- Çakma Kazıklar
- Hidrolik İtme Kazıklar
- Delme (Fore) ve Yerinde Dökme Kazıklar
- Kompozit Kazıklar

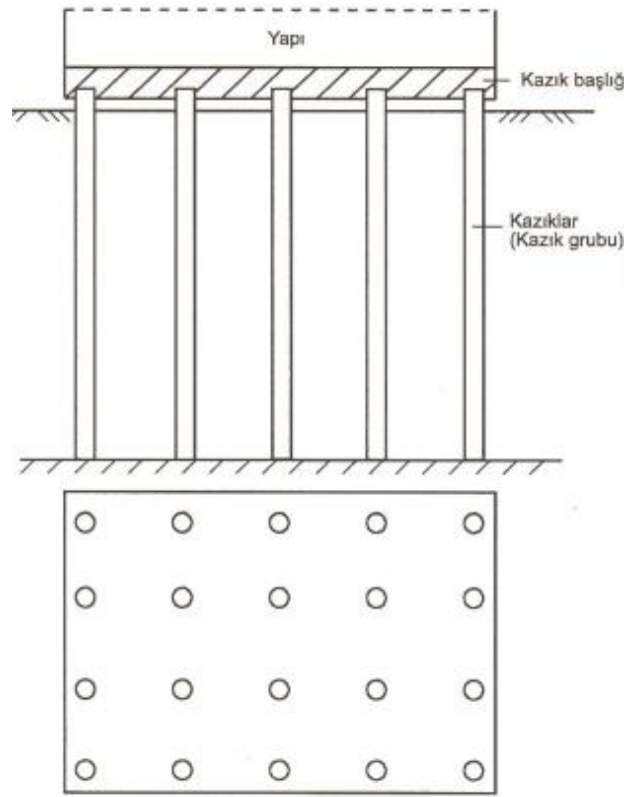
Fore kazıklar yerinde dökme betonarme kazıklar sınıfındadır. En yaygın kullanılan temel altı kazık temel ise fore kazıklardır.

2.2.1.1. Fore Kazıklar

Temel altı kazıklar yapı temeline bağlı uzun ve düşey elemanlardır. Yapı yüklerini yetersiz zemin katmanlarından geçerek taşıma gücü yüksek katmanlara veya ana kayaya kazık ucu etkisiyle ya da kazıkların zemin ile sürtünmesinden faydalanarak itkiyi zemine aktarmak amacı ile inşası gerçekleşir.

Temel altı kazıklar zemin sınıfının çok düşük olduğu özellikle sıvılaşma riskinin yüksek olduğu, denize yakın yerleşim yerlerinde, yapının oturacağı zeminde temel altında oyulma riski varsa, yapı zemini farklı oturmalarla karşı hassas ise, yeraltı sularının birikip denize ulaştığı killi, siltli ve alüvyal vb. zeminlerde projelendirilme aşamasında tercih edilen temel çeşididir.

Projelendirilmesi geoteknik mühendisleri tarafında yapılan temel altı kazıklar, yapının temel altında belirli aralık ve belirli çaplarda projelendirilip inşa edilir. Temel altı kazıklar prekast şekilde hazır olarak şantiye alanına getirilip çakılarak zemine yerleştirilir veya yerinde dökme donatılı şekilde betonarme olarak yapılır.



Şekil 2.8. Kazıklı Temelli Yapı Düşey Kesit Ve Plan Örneği

Kaynak: (Uzuner,2006: 305)

Temel altı kazıklar yukarıda bahsedilen yapı yükünü zemine aktarma şekli bakımından iki ayrı grupta incelenir;

2.2.1.1.1. Uç Kazıkları

Yapılan temel altı kazıkların oldukça rijit olan kaya, penetrasyonun çok zor olduğu çakıl vb. gibi tabakaya ulaştığı durumlarda kazıkların taşıma gücünün büyük bir kısmı bu tabakaya ulaşan kazık uç direnci ile sağlanır.

2.2.1.1.2. Sürtünme Kazıkları

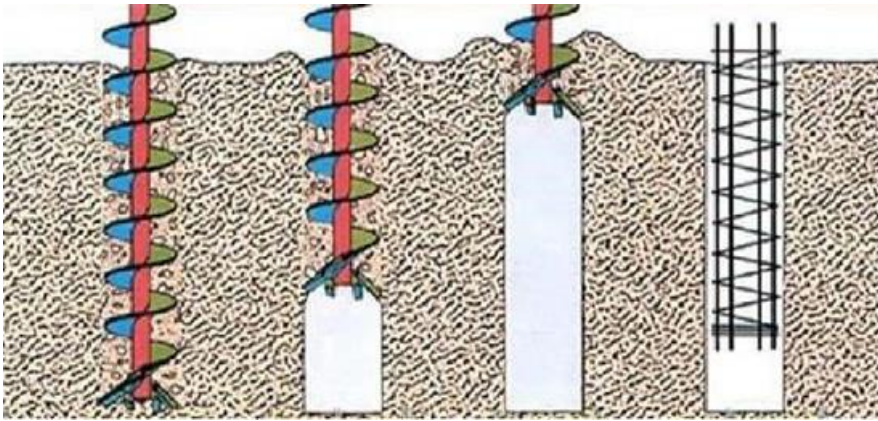
Yapıda uygulanan temel altı kazıklarda sağlam tabakaya ulaşamayan kazıkların taşıma gücünün büyük bir kısmı, kazık gövdesi ile zemin arasındaki çevre sürtünmesinin etkisi ile karşılanır.

Fore kazıklarda imalat şekli aşağıdaki gibi gerçekleşir;

Uygulama yapılacak zeminde foraj işlemi gerçekleştirilerek fore kazık delikleri açılır.

Özellikle kohezyonsuz zeminlerde zemin tanelerinin bütün olarak durmamasından kaynaklı olarak kazık deliklerine kılıf boru çakılarak veya bentonit karışımı ile deliğin çeperlerine sıvama yapılır.

Donatı bu şekilde kuyuya indirilebilir. Sonraki aşamada yapılacak beton dökümünde betonda ayrışmayı (segregasyon) önlemek ve kazıkların projelendirilme aşamasındaki dayanımına ulaşması için tremi borusu ile beton dökümü yapılır.



Şekil 2.9. Fore Kazık İmalatı Kesit Görünüşü

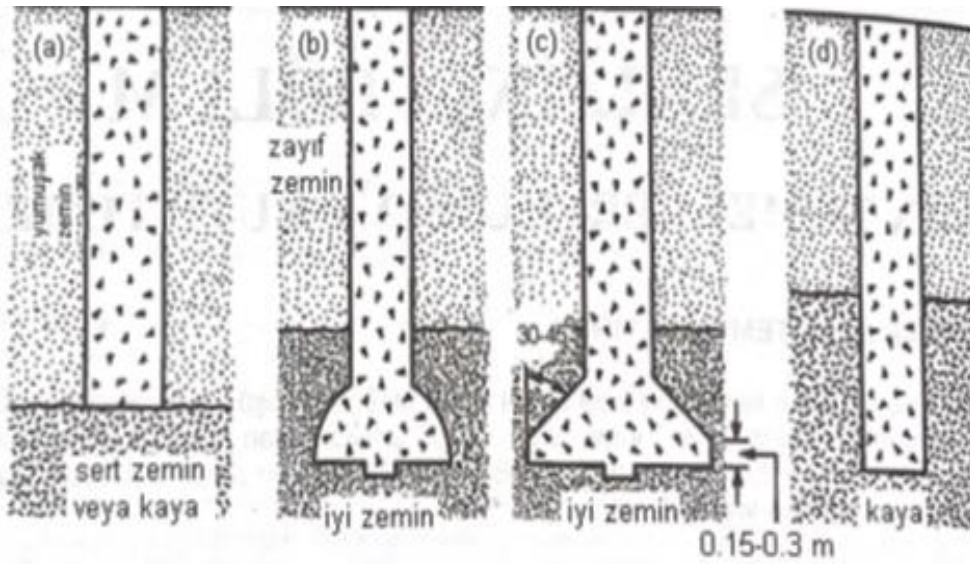
Kaynak: (TS 3169: 2-15)

2.2.2. Keson (Kuyu, Kutu) Temeller

2.2.2.1. Kuyu Temel

Kuyu temel çok zayıf, gevşek ya da su içeriği yüksek zeminlerde yapı yüklerini sağlam tabakalara aktarılmasını sağlayan düşey elemanlardır. Genel olarak çapı 1,20 metreden büyük ve yapım amacı olarak kaya veya daha sağlam tabakaya ulaşmaya kadar indirilen elemanlardır.

Yapı yüklerinin fazla olduğu gökdelen vs. gibi yapılarda tercih edilir. Zemin tahkikleri sonucu daha sağlam tabakaya ulaşılmaması sonucu olarak kazık çapını artırma yoluna gidilir veya kazık ucuna düğme uç oluşturulur. Bu kısım literatürde "ayak" olarak geçer.

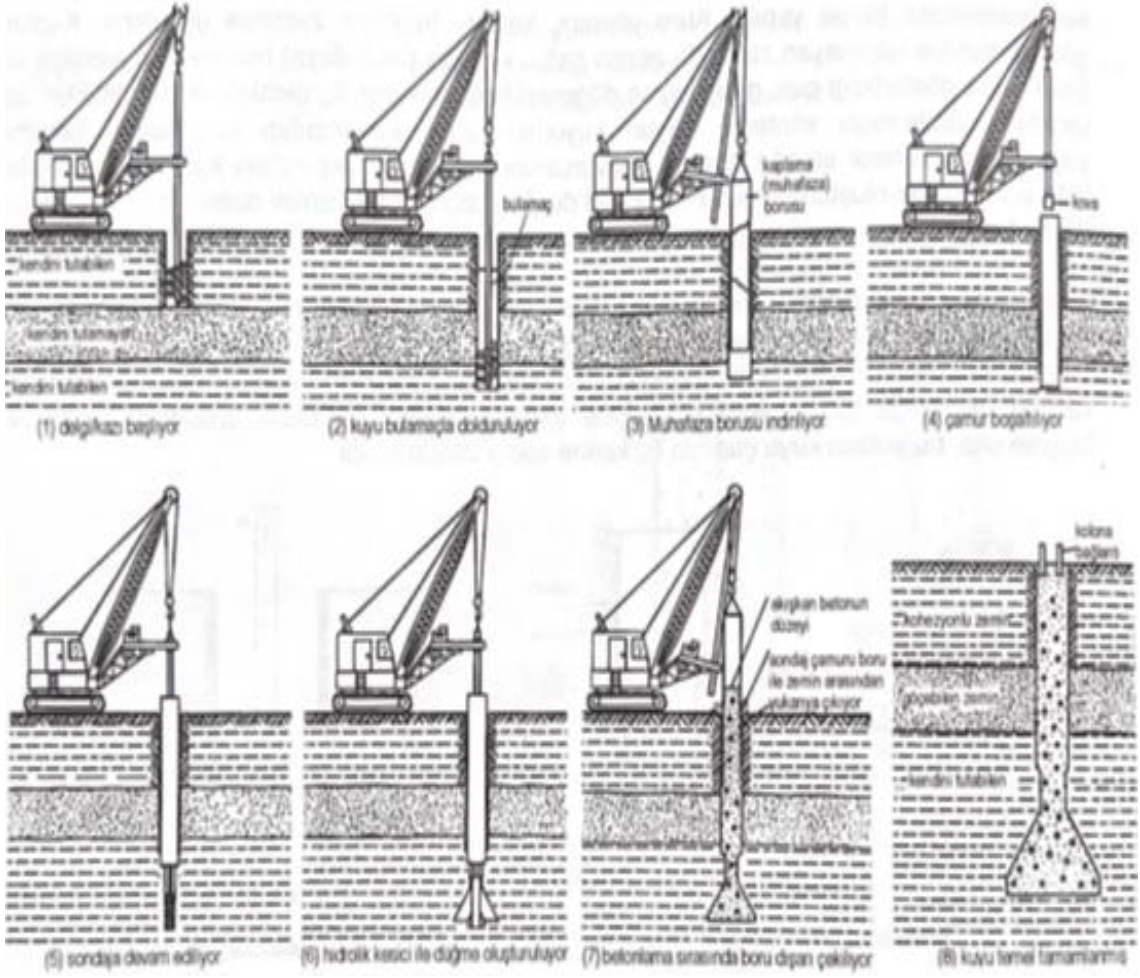


Şekil 2.10. Kuyu Temel Tipleri a.) Silindirik Şaftlı b,c.) Ucu Düğmeli d.) Kayaya Yuvalanmış

Kaynak: (Önalp, 2016: 362)

Kuyu temel imalatında kazı yapıldıktan sonra bu ayak kısmına bir gözlemci veya özel kameralar ile ulaşılarak beton dökümünün başlaması ve dökümün bitmesi ile sonlanır. Kuyu temellerde ayak kısmının yükü sağlam zemine aktarma sebebiyle boyut olarak farklılaştırılmasından kaynaklı çekme dayanımlarına karşı etkisi kazıklı temellere kıyasla yüksektir.

Yapım sırasında kuyudan çıkarılacak kazı hacminin fazlalığından kaynaklı şantiye yakınlarında oturma sorunlarına sebep olabilir. Bu sebepten dolayı kazıya elverişsiz havalarda bu ihtimalin daha olası olmasından dolayı dikkat edilmelidir.



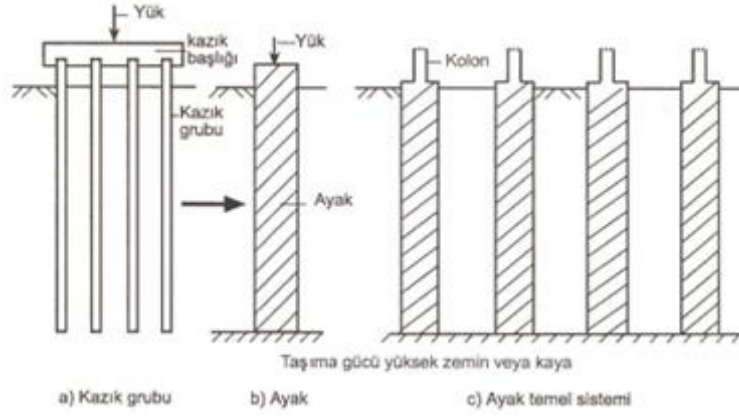
Şekil 2.11. Kuyu Temel Yapımında Muhafaza Borulu Sistem

Kaynak: (Önalp, 2016: 364)

Kuyu temeli burgulu makine veya hidrolik çeneli kova ile açıldıktan sonra temeli oluşturacak betonun kıvam ve dozajı, temelin tasarım şartlarını sağlaması açısından önemi büyüktür. Genellikle akışkanlaştırıcı beton katkıları kullanılarak döküm işlemi yapılır.

Kuyu temelin çapının büyüklüğü sebebiyle donatı kullanımını yönetmelik şartlarında minimum alanda (%1 A_b), kullanması istenir (TDBY, 2018:350-351).

Genellikle temel bölümünde çekme dayanımı sebebiyle kesitin çok zorlandığı üst olası zımbalama bölgelerinde kullanılması istenmiştir.



Şekil 2.12. Ayak Temel

Kaynak: (Önalp, 2006: 309)

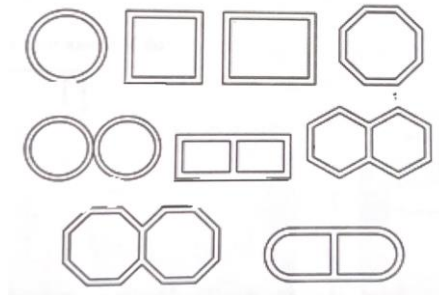
Kuyu temelin yapım ve inşa sırasında çevre deki yapıların etkilenmemesi, can ve mal kaybını engellemek adına gerekli önlemler iksa yapıları ve strut sistemleri ile desteklenerek temel uygulamasına geçilmelidir

2.2.2.2. Kutu Temel

Kutu temeller aynı zamanda sandık temel olarak da bilinir. Özellikle yer altı su seviyesinin çok yüksek, gevşek ve çok zayıf olan sulu zeminlerde kullanım alanı yaygındır. Kutu temeller köprü ayakları, arıtma tesisleri, liman inşaatları gibi yapı inşaatlarında da kullanılır.

Kutu temel uygulanmasındaki ana hususlardan ilki içi boş olan kesonların kuru ortamda imal edilip, temelin inşa edileceği yere taşınarak sağlam zemine indirilmesidir.

Bu sayede kazı şartlarının sağlanmadığı ortamlarda elle kazı yapılabilme olanağı ve kazı yapılan ana kaya üzerinde kontrollü bir çalışma yapılabilme şartlarını sağlar. Kesonlar genellikle çok büyük çaplarda ve dairesel biçimde imal edilir.

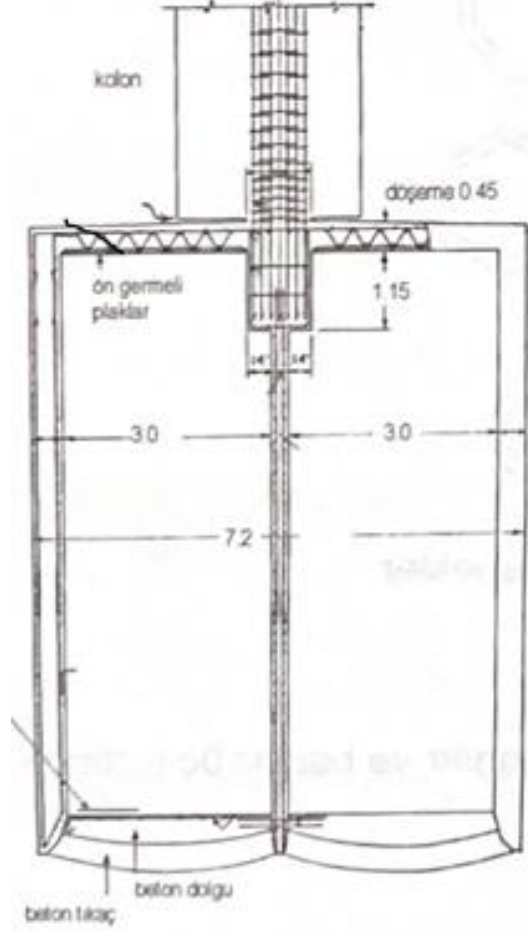


Şekil 2.13. Kutu Temelde Kesit İçin Seçenekler

Kaynak: (Önalp, 2016: 377)

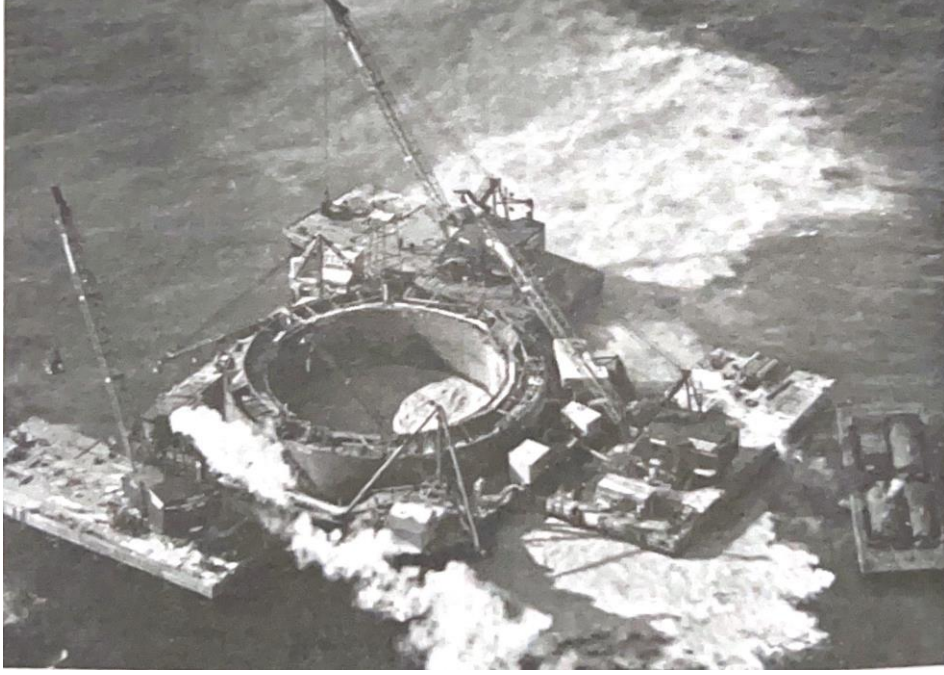
Kutu temellerin, açık (kuyu) kesonlar, kazık biçimli, basınçlı havayla çalışan gibi çeşitleri vardır.

Aşağıda açık tip kuyu temel kesiti ve uygulama örneği verilmiştir.



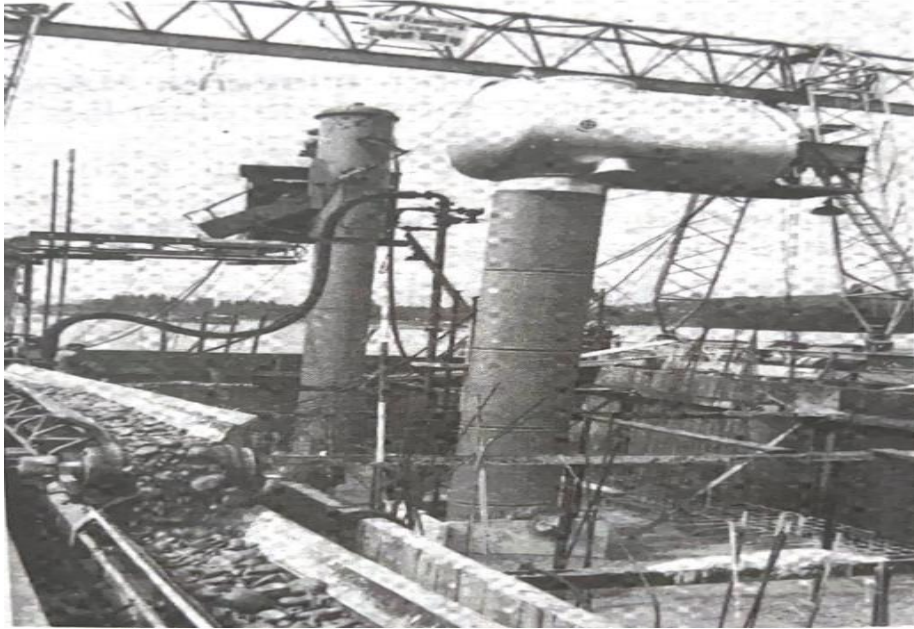
Şekil 2.14. Açık Tip Kutu Temel

Kaynak: (Önalp,2016: 378)



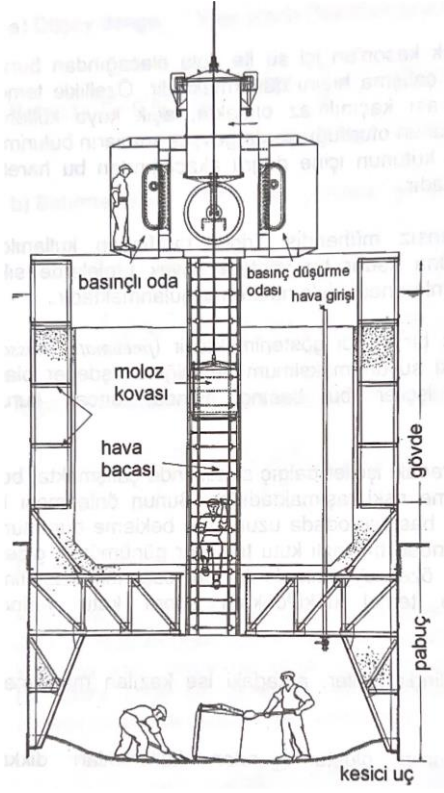
Şekil 2.15. Açık Tip Kutu Temelin Sahada Uygulaması

Kaynak: (Önalp,2016: 378)



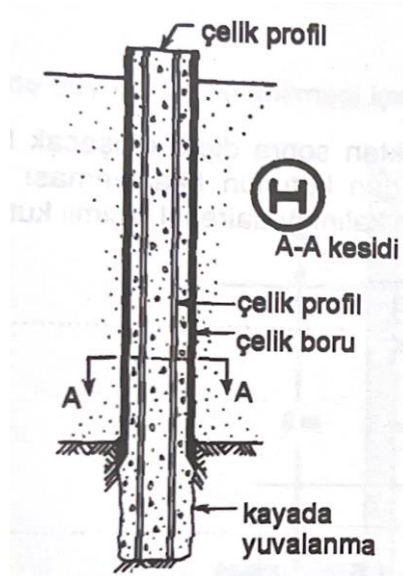
Şekil 2.16. Hava Basıncı Kutu Temel Düzeni

Kaynak: (Önalp,2016: 384)



Şekil 2.17. Hava Basıncı Kutu Temelinin Kesiti

Kaynak: (Önalp,2016: 384)



Şekil 2.18. Kazık Biçimli Kutu Temel

Kaynak: (Önalp,2016: 377)

3. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

3.1. Yüzeysel Zemin İyileştirme Yöntemleri

3.1.1. Kompaksiyon

3.1.1.1. Yüzeysel Kompaksiyon

Kompaksiyon (sıkıştırma) zemin daneciklerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlayacak şekilde mekanik araçlar kullanarak zeminin sıkıştırılmasıdır (Özaydın, 1970).

Vibrasyonlu darbeli aletler, titreşimli silindirler ile gerçekleştirilen kompaksiyon işlemi daneler arasındaki boşlukları minimuma indirerek yine daneler arasındaki boşluk suyu kapasitesini düşürür. Bu sebepten dolayı sıvılaşma riski azaltılmış olur. Özellikle zemin parametreleri sismik olarak aktif olan yerlerde daneler arasındaki kohezyonun kuvveti sıvılaşma etkisini artırır.

Genellikle su bentleri, dolgu barajlar, yapıların temel altı dolgu serim işlemleri, karayolları ve havalimanlarının kaplama dolgu olan bölgelerinde uygulanır.



Şekil 3.1. Yüzeysel Kompaksiyon Uygulaması

Kaynak: (Şengezer, 2010:6)

3.1.1.2. Dinamik (Derin) Kompaksiyon

Ağır y¼klerin belirli y¼ksekliklerden sıkıştırılacak zemine d¼ř¼r¼lerek uygulanan kompaksiyon t¼r¼d¼r. Y¼kseklerden d¼ř¼r¼len y¼k genellikle beton bloklar olup ağırlıkları 10-30 ton arasında değişebilir. Etkili olduğu derinlikler 9-12 metre arasındadır.

Dolgu alanlarında ve gevşek zeminlerin sıkıştırılmasında kullanılır. Bunun sonucunda zeminin ıslah derecesi uygulanan kompaksiyon enerjisinin b¼y¼kl¼đ¼ne bağlı olarak değişir. Suya doygun olan kohezyonlu zeminlerde yapılan d¼ř¼řler ile boşluk suyu basıncının maksimuma çıkması sağlanır. Bu sırada zemin danelerinin kıvamı sıkılaşır.

Kompaksiyon işleminin bitiminden kısa bir s¼re sonra boşluk suyu basıncının etkisinin s¼n¼mlenmesi ile kompaksiyon işlemi sıvılaşma riski olan zeminlerde bu durum ile açıklanabilir.



şekil 3.2. Dinamik Kompaksiyon

Kaynak: (Kramer, 2003: 556)

Dinamik kompaksiyon ağırlığının d¼ř¼r¼ld¼đ¼ ağ şekli ve y¼zey kompaksiyonu resimde g¼r¼ld¼đ¼ gibidir.



Şekil 3.3. Ağır Dinamik Konsolidasyon

Kaynak: (Önalp,2016: 262)

3.1.2. Çimento ile Stabilizasyon

Çimento stabilizasyonu ile zemin ıslahı yapılırken çimentonun su ile birleşmesi sonucu dayanım artırıcı özelliğinden faydalınılır. Düşük plastisteli killer ile kumlu zeminlerde etkilidir. Çimento ile stabilizasyon da kür süresi arttıkça bunun ile birlikte zemin dayanımını arttırdığı için killerde çalışabilirlik artar.

Zemin kürü boyunca gerçekleşen hidrasyon sonucunda çimento tanelerinin birbirleriyle meydana getirdikleri etkileşim sonucu sertleşme meydana gelir. Bu sertleşme sonucu zeminde stabilite artarak mukavemet artışı meydana getirir.

Bu yöntemde etkili olunan ve verim alınan zeminler silt ve kum içeren zeminler ile düşük plastisiteli killerdir.

Bu iyileştirme yöntemindeki esas sorun yeterli karışım elde edebilmektir.

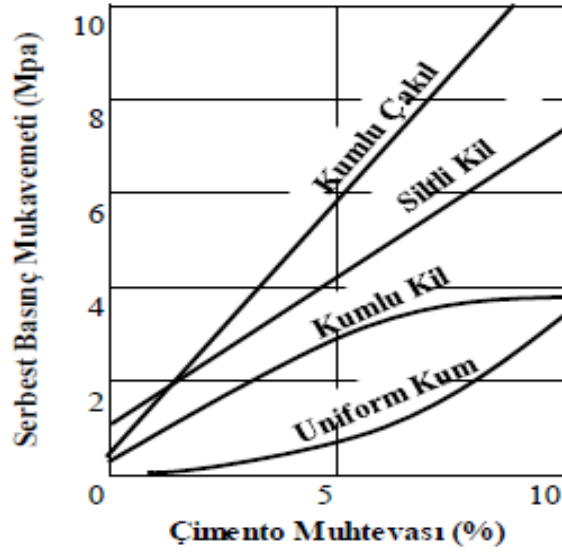
Karışım oranları arazideki etkisi göz önüne alınarak minimum değerlerin %50-%60 oranında üzerine çıkar. Çimento muhtevası ile serbest basınç mukavemeti arasında doğrusal bir orantı vardır.

Arazide istenen mukavemeti ve dayanıklılığı sağlamak için %1,50'ye varan bir oranda çimento muhtevasını arttırmak gerekir. (Uzuner, 1995:87)

Tablo 3.1. Çimento Miktarları

Zemin Tipi	Ağırlık Olarak Çimento Yüzdesi
İnce Kırılmış Kaya	0,5 - 1
İyi Derecelendirilmiş Kumlu Kil Çakılları	2,00 - 4,00
İyi Derecelenmiş Kum	2,00 - 4,00
Kötü Derecelenmiş Kum	4,00 - 6,00
Kumlu Kil	4,00 - 6,00
Siltli Kil	6,00 - 8,00
Ağır Kil	8,00 - 12,00
Organik Zeminler	10,00 - 15,00

Kaynak: (Özaydın,1970: 150-257)



Şekil 3.4. Serbest Basınç Mukavemetinin Çimento Muhtevasına Etkisi

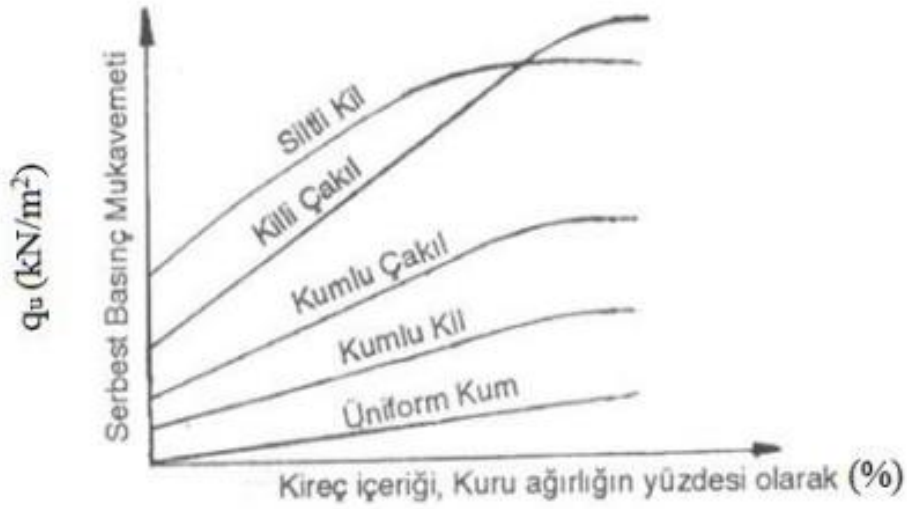
Kaynak: (Uzuner, 1995: 145-354)

3.1.3. Kireç ile Stabilizasyon

Bu yöntem genellikle kimyasal tepkime oluşturacağı ince daneli zeminlerde etkinlik gösterir. Zemin üzerine kireç serildiğinde zemin yapısındaki katyonlar ile kirecin kimyasal yapısındaki iyonlar ile kimyasal bağ oluşur. Gerçekleşen bu değişim ile daha büyük boyutlar içeren taneler oluşur.

Kil mineralleri içeren zeminlerin önemli bir bölümü %3-8 sönmüş kireç eklenmesine olumlu cevap verir. Yapısında hidratlı silis bulunduran kil mineralleri ve ince daneli malzemeler suda çözünmez ve serttir, kalsiyum silikat jeli oluşturur.

Kireç kil mineralinin kristal kafesinden silisi sökerek reaksiyona girer. Silikat Jel'i kil tabakalarını çevreleyip zemin boşluklarını doldurur, zaman geçtikçe oluşan kristalleşme tobermorit ve hillebrandit olarak adlandırılan hidratlı silise dönüşür(Özaydın, 1970:102-213).



Şekil 3.5. Kireç Stabilizasyonunun Farklı Zeminlere Olan Etkisi

Kaynak: (Tunç, 2002: 178)



Şekil 3.6. Kireç Stabilizasyonu Uygulaması

Kaynak: (İMB ÖİBS, 2022)

Zemindeki basınç mukavemeti kireç oranının artmasıyla artar ve dayanım artışı 1 yıl sürer.

Kirecin su alarak karakteristik yapısının değişmesinden dolayı zeminin sıkışma karakteristiği değişir.

Zeminin tek eksenli basınç dayanımı %6'lık bir kireç ilavesiyle yaklaşık olarak 6 kat artar.

Özellikle killi zeminler suyla birleştiklerinde yapısında meydana gelen hacim artışından dolayı üzerindeki yapı ve hafif yapılara (karayolu, demiryolu, rezervuar kapakları, su kanalları vb.) basınç uygular. Bu basınç etkisine üst yapı karşı koyamaz ise deformasyonlar meydana gelebilir.

3.1.4. Bitüm ile Stabilizasyon

Kireç ve çimento stabilizasyonu puzolanik reaksiyonlar sonucu zeminin mukavemetini arttırırken, bitüm stabilizasyonu zeminin suyun zararlı etkilerinden korunması ve daneleri bir arada tutan bir işlevi vardır(Özaydın,2005:104-265).

Genellikle yol kaplamalarında kullanılan bitüm emülsiyonu iri daneli zeminlerde kohezyonu arttırarak daneler arasındaki etkileşimi sağlar. İnce daneli zeminlerde ise ince madde ile birleşip bütünlük oluşturarak geçirimsizlik sağlar. Petrol ürünü olan bitüm maliyeti çimento e kireç stabilizasyonuna göre daha maliyetlidir.

Afrika, orta doğu ve Kuzey Amerika'nın güney eyaletlerin sıcak iklimlerinde bitümün içindeki su muhtevası minimum seviyelerde olduğu için trafik yükünü taşımada etkisiz kalır. Bu sebeple yüksek sıcaklıkların görüldüğü bölgelerde kullanımı uygun değildir.

3.1.5. Uçucu Kül ile İyileştirme

Termik santrallerde bulunan bacalarda filtreler yardımıyla toplanan silt boyutlarında olan malzemeye uçucu kül denir. Su ve kireç ile karıştırıldığında kohezyon özelliği artar ve katılaşır. Uçucu kül miktarının zemine ilave edilme oranına ve kür süresine bağlı olarak mukavemetinde değişiklikler gözlenir. İlave edilen uçucu kül miktarı sonucu kür süresine bağlı olarak mukavemet 4 kata kadar artış gösterebilir. Uçucu kül yüzdesi belirli bir miktarın üzerine çıktıktan sonra mukavemete etkisi sabit kalır. Uçucu kül stabilizasyonu uygulanır iken su ile birlikte kireç eklenmesi iri daneler bulunan zeminlerde de etkinlik gösterir.

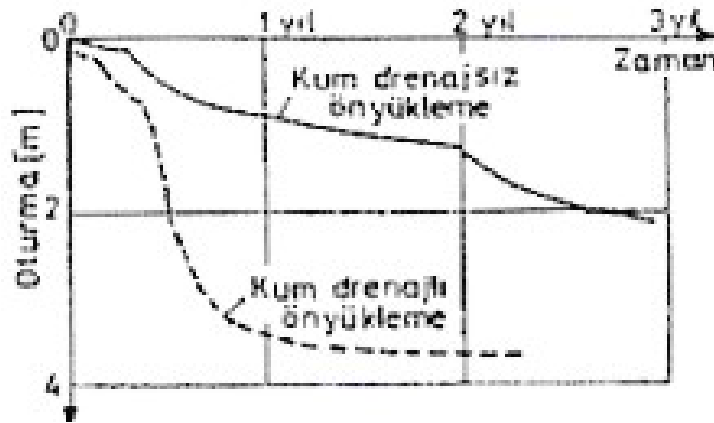
3.2. Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri

3.2.1. Ön Yükleme

Ön yükleme yöntemi kısa ve uzun vadede yüksek sıkışabilirlikli normal konsolide killerde inşa faaliyetlerinden sonra oluşabilecek büyük çaplı oturmaları engellemek amacı ile kil zeminin yapı inşasından önce yüklenmesi şeklinde uygulanan yöntemdir. Genellikle yüzeye konulan yük, alandan kaldırılması kolay olabilecek agrega, kum veya büyük çaplı dolgu malzemeleridir.

Ön yükleme sonucunda alanda kohezyonsuz zemin yapısından kaynaklı olarak hacimsel azalış meydana gelir. Su muhtevası yüksek kohezyonlu zeminlerde ise boşluk hacminin azalması ile birlikte su çıkışı gerçekleşir.

Bu yöntem betonarme yapılarda gerçekleştirilecek oturmaları, zemin sıklık ve zeminin taşıma kapasitesini arttırarak yapının stabilitesine doğrudan etkir.



Şekil 3.7. Ön Yükleme İle Sıkıştırılmaya Ait Oturma-Zaman Grafiği

Kaynak: (Özaydın,1970:247)

3.2.2. Kum Drenleri

Kum drenler geçirirliiliği yüksek olan tabakalı zeminlerde tercih edilir. Kum dreni zeminde burgu veya delme makinalarıyla temiz kum kolonu oluşturarak zemin içinde filtre sistemi oluştururlar. Zeminin konsolidasyon hızı kum drenler ile hızlandırılır.

Kum drenler ile konsolidasyon hızını arttırmak, oturmayı hızlandırmak için dren sistemi üzerine ek dolgu yapılarak n grlen oturma miktarı elde edilir. Bu oturma miktarı meydana geldikten sonra dolgu kaldırılır.

Bunun ile birlikte zeminin kayma mukavemeti büyük oranda artış gösterir ve konsolidasyon süresi kısaltılabilir.

Kum drenleri zeminde meydana gelebilecek ani oturmalar ve stabilite problemlerini en aza indirmeye yardımcı olur. Zeminde drenaj yolu açılır ve boşluk suyu basıncı hızla sönümlenme durumuna geçer.

3.2.3. Prefabrik Drenler

Prefabrik drenler (plastik drenler) kum drenler gibi geçirirliiliği yüksek olan zeminlerde kullanımı elverişlidir. Birbirine yakın mesafelerde bulunan düşey drenlerin yerleştirilmesi ile kullanımı gerçekleşir. Drenin yuvarlak ucu mandrel adında yönlendirici bir çubuğa bağlanmıştır. Ve mandrel çubuğu yardımıyla dren hızlı şekilde derinliğe sokulur. Bu sistem mandrel çubuğunu taşıyabilecek, yönlendirecek bir kamyonet üzerine monte edilmiştir.

Prefabrik drenlerdeki en önemli husus, diğer drenlere kıyasla derinliğe daha çabuk şekilde yerleştirilmeleridir. 20 metre derinlik için bu süre yaklaşık 3 dakika olarak belirlenmiştir.

Konsolidasyon sresinin kısaltılabilmesi için derinliğe indirilen drenler birbirine yakın olarak yerleştirilir. Prefabrik drenler 20-25 metre aralığa kadar 1,5 metre ara ile yerleştirilir. Bu sınır değerleri istenilen konsolidasyon hızına ve oranına ulaşabilmek için revize edilebilir.

3.2.4. Vibro Kompaksiyon Metodu

Tabakalı, geşsek ve kumlu akışkan zeminlerin daha stabil hale getirilmesi amacı ile zeminin yoğunlaştırılmasını amaçlayan yöntemdir.

20 metreye kadar etkili olunduğundan derin zemin tabakalarına ulaşabilir. En yaygın kullanım alanları liman ve tersane inşa alanları olarak görülür.

Zemin, vibratör sondaj uçları ile sıkıştırıldığı için zeminin bulunduğu yerden taşınması veya dolgu serim işleminin uygulaması söz konusu değildir. Bundan dolayı zaman ve ekonomiklik olarak büyük avantaj sağlar.

Zemin de silt miktarı arttıkça ve büyük miktarda çakıllı kum içeriği var ise kompaksiyonun verimi azalır.

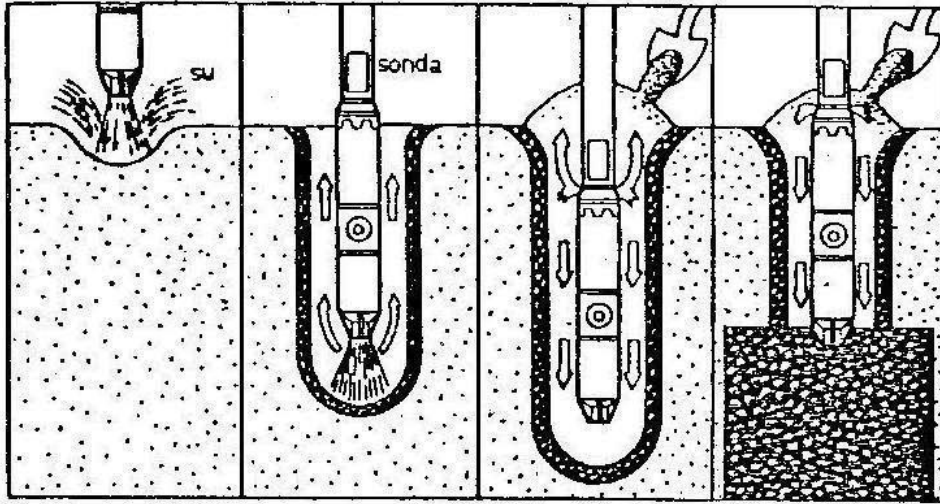
Uygulama anında dinamik kompaksiyon gibi sarsıntı, titreşim oluşturmadığı için çevre yapı ve yerleşimlere zararı olmaz.

Bu iyileştirme tekniğinin en uygun olduğu zemin içeriği ağırlıklı kum ve az miktarda silt içeren zemin türleridir.



Şekil 3.8. Vibrokompaksiyon Uygulaması

Kaynak: (Küçükali, 2008: 10)



Şekil 3.9. Vibroflataston Metodu

Kaynak: (Braja,1984: 256)

3.2.5. Kompaksiyon Kazığı

Kompaksiyon kazığı gevşek ve çok katmanlı kum tabakasının stabilitesini arttırmaya yönelik geliştirilen bir metottur. Kompaksiyon kazıkları genellikle prekast beton, ön germeli beton veya ahşap olarak kullanılmaktadır.

Uygulanacağı zemindeki ince, gevşek kum ve sıvılaşma potansiyeli yüksek olan zeminlerde ağ şeklinde yerleşimi gerçekleştirilerek sıvılaşma potansiyelini azaltmada ve taşıma gücünü arttırmada kullanılır. Zemine belirli bir ağ düzenine göre yerleştirilen bu kazıklar zemine çakılma esnasında titreşimin etkisiyle ve zemindeki yer değiştirme etkisiyle zemin yoğunluğu artırılarak sıkıştırma sağlanır. Kazıklar tanımlanırken yer değiştirme kazıkları olarak da nitelendirilebilir.

Kompaksiyon kazıkları bir zemin çökelinin performansını üç farklı mekanizma ile iyileştirir. Birincisi, kazıkların kendi eğilme dayanımının zemin hareketine karşı bir direnç sağlamasıdır (güçlendirme). İkincisi, bunların yerleştirilmesiyle oluşan titreşim ve yer değiştirmeler sıkılaşmaya neden olur. Son olarak, yerleştirme işlemi kazığa komşu zemin içindeki yanal gerilmeleri artırır(Kramer,1996:561).



Şekil 3.10. Sardis Barajı Dolgusunun Memba Yüzeyine Çakılan Kompaksiyon Kazıkları

Kaynak: (Kramer,1996: 561)

3.2.6. Patlatma Metodu

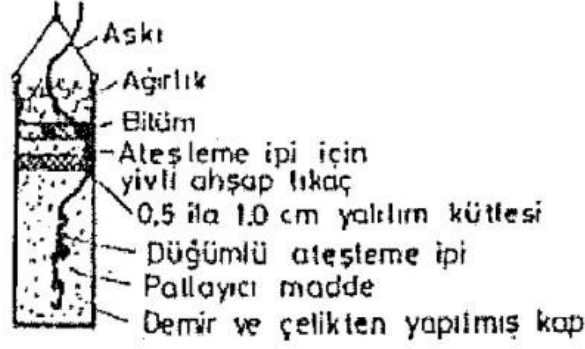
Gevşek granüle zeminlerin sistematik patlayıcı yerleştirilip patlatılması sonucu basınç ve şok dalgaları oluşturulup parçalanması esasına dayanan iyileştirme metodudur. Patlama sonucunda zemin daha küçük parçalara ayrılarak sıkıştırılma sağlanır.

Sondaj ve basınçlı su jeti ile delinen sondaj deliklerine yerleştirilen patlayıcılar ardışık ateşlenir.

Kuyular arası mesafe genellikle 5 ile 15 m. arasında olup, patlatmadan önce arka dolgu yapılır. Sıkılaştırma sürecinin etkinliğini arttırmak için, farklı seviyelerdeki patlayıcılar küçük zaman aralıklarından oluşan gecikmelerle patlatılabilir(Kramer,1996:557).

Patlama sonunda zeminde yer alan su ve gaz zemin yüzeyine ulaşırken, küçük parçalara ayrılan zemin sonucunda zeminde farklı oranlarda oturmalar meydana gelir.

İstenilen sıklık mertebesine ulaşmak için aşamalı patlatma ile aynı zemin bölgesinde birden fazla patlatma yapılabilir. Birinci patlamadan sonra zeminde sıkıştırma etkinliği azalır.



Şekil 3.11. Patlatma Ünitesi

Kaynak: (Küçükali 2008:10)



Şekil 3.12. Köprü İnşasından Önce Abatman Altındaki Gevşek Zeminin Patlatma İle Sıkıştırılması

Kaynak: (Kramer,1996:557)

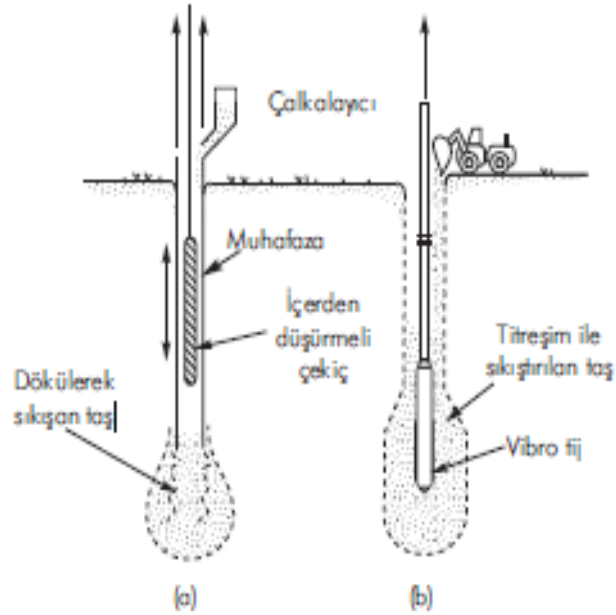
3.2.7. Taş Kolonlar

Bu metot gevşek ve yumuşak killi zeminlerin iyileştirilmesinde uygulanabilen yöntemlerdendir. Yapı projelerinde taşıma gücü ve buna bağlı zemin parametrelerinin artırılmasında etkili bir yöntem olarak kullanılır. Bununla birlikte geçirimli yapısından dolayı zeminde düşey dren etkisi yaratarak konsolidasyonu hızlandırıp meydana gelebilecek oturmaların azaltılmasında etkisi vardır. Özellikle deprem sırasında sıvılaşma potansiyelinin olduğu kumlu ,killi ve alüvyal zeminlerin kayma mukavemetlerini arttırarak zeminin stabilitesini arttırır.

Taş kolon da kolon uçlarının zeminde rijit bir tabakaya oturtulması istenir. Problemlili zemin tabakasının 12 m'den daha az olduğu yerlerde tercih edilir.

İnşa edilecek yapı projesine göre çapı belirlenen (70-100 cm) taş kolonlar üçgen ve kare yerleşim planına göre uygulaması gerçekleşir.

Taş kolonu oluşturan agrega ve kırmataş dane çapı 20-75 mm arasında olup bu gradasyon ile doldurulup sıkıştırılması önem arz eder.



Şekil 3.13. Taş Kolon Yerleştirme Yöntemleri:

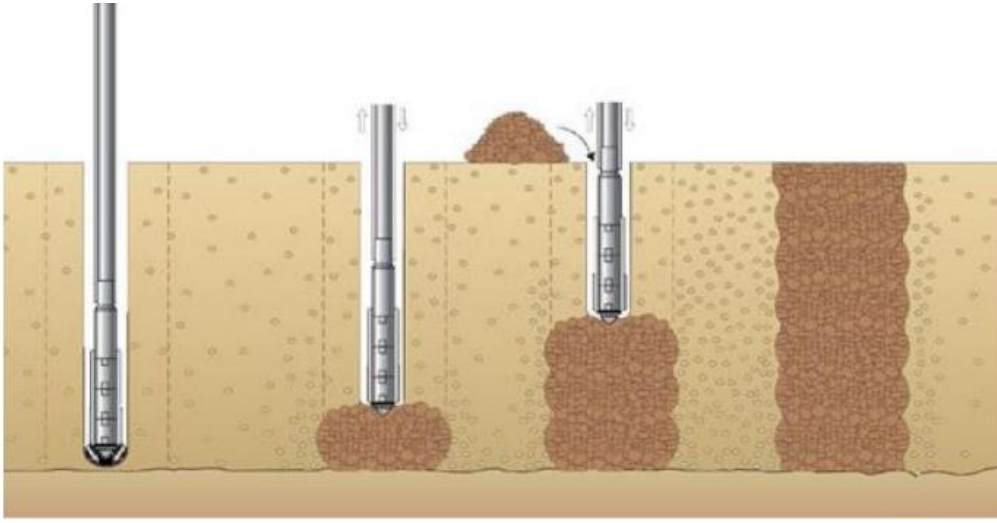
(a)Franki Yöntemi; (b) Vibroflotasyon

Kaynak: (Kramer,1996: 560)

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü üzere sıkıştırılan agrega, kırmataş malzemesi ve bunu sağlayan vibro tij ile sıkıştırma işlemi gösterilmiştir.

Taş kolonlar zemindeki boşluklu yapısından dolayı killi zeminlerde meydana gelebilecek şişme etkilerini, boşluklu yapısı ile sönümleyerek engeller.

Uygulama aşamasındaki zeminde meydana getirdiği yer değiştirme ve titreşim etkisinden dolayı kolonu çevreleyen bölgede sıkıştırma etkisi yaratır.

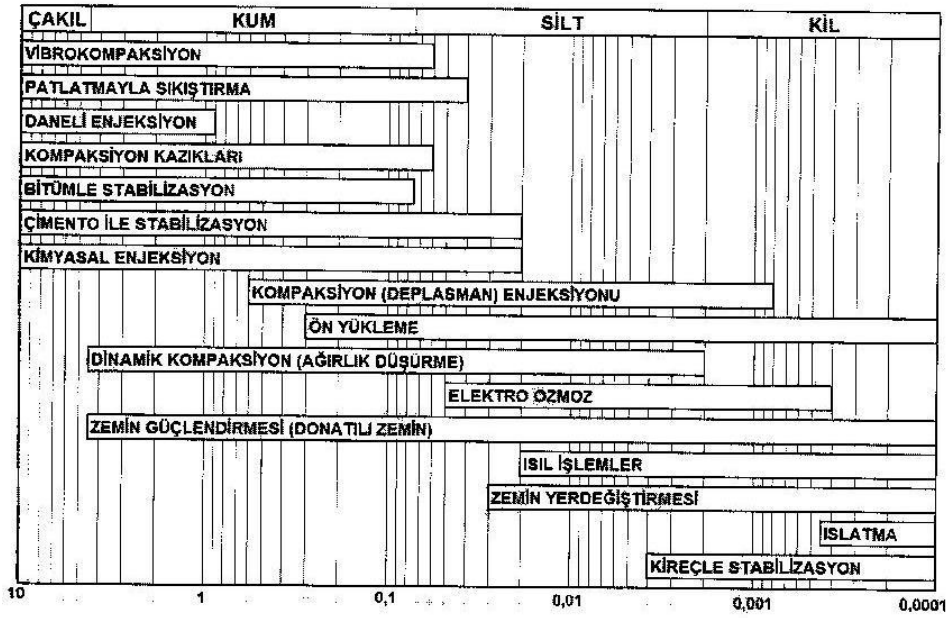


Şekil 3.14. Taş Kolon Uygulaması

Kaynak: (GHABEE,2015: 33)

Bu metodun zeminde meydana getirdiği çok yönlü avantajlarından dolayı tercih sebepleri arasında girer.

3.3. Enjeksiyon Teknikleri



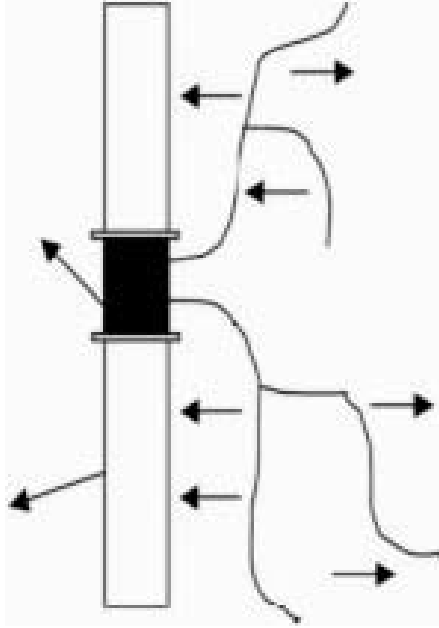
Şekil 3.15. Dane Boyutuna Göre Zemin İyileştirme Yöntemleri

Kaynak: (Sağlamer, 1985: 245)

3.3.1. Çatlatma Enjeksiyonu

Çatlatma enjeksiyonu, yüksek basınç altında (yaklaşık 8-9 kg/m³) çimento esaslı enjeksiyon malzemesi zeminin basınç etkisiyle çatlatılması ile gerçekleşir. Zemin içinde ulaşılamayan boşluklara ulaşılması olanağı sağlanır. Bu yöntem genellikle enjeksiyon malzemesinin zemin içinde yayılmadığı geçirimsizliği düşük ince daneli zeminlerde kullanılır.

Enjekte edilmesiyle zeminde boşlukların sıkılaşıp doldurulması ile zeminin stabilitesini artırır.



Şekil 3.16. Basınç İle Çatlak Oluşumu Ve Sıkıştırma İşleminin Şematik Gösterimi

Kaynak: (Küçükali, 2008: 21)

Yöntemde basınç uygulanması söz konusu olduğu için kontrol altına alınması güçtür. Çevre yapılara hasar vermesi yüksek ihtimal dahilindedir.

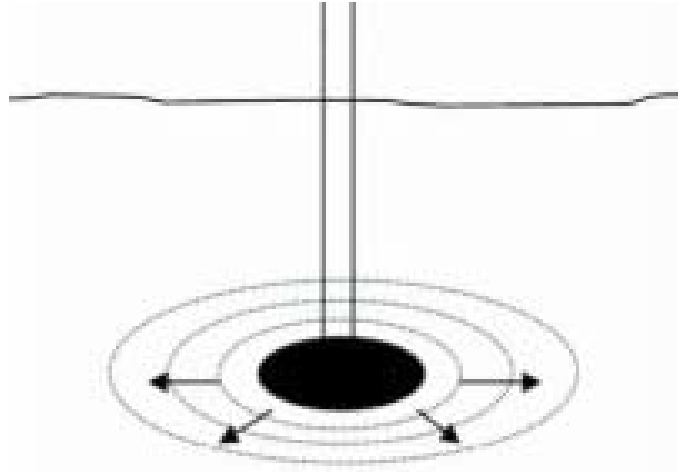
3.2.2. Sıkılama Enjeksiyonu (Kompaksiyon Enjeksiyonu)

Kompaksiyon enjeksiyonu zayıf, gevşek ve stabilitesi düşük zeminlerde yüksek basınçta (35 kg/cm²) enjeksiyon maddesinin zemin içine basılmasıyla gerçekleşir ve kullanılır. Araziden alınacak zemin örneğindeki parametre değerlerine bakılarak plastisite, içsel sürtünme, mukavemet sağlayıcı oranlarda kum ve silt karışımlarıyla yüksek viskoziteli enjeksiyon harcı hazırlanır.

Sıkılama enjeksiyonu uygulanırken çatlatma enjeksiyonuna göre daha sığ zemin seviyelerinde yayılım göstermesidir. Gevşek zeminin sıkılaştırılması, birim hacim ağırlığını artırır ve bununla birlikte daha üniform zemin kütlesi meydana gelir.

Enjeksiyon maddesi uzak veya daha derinlere ulaşamadığından kısmen zemin yüzeylerinde kabarmalara yol açabilir.

Sıkılama enjeksiyonu yüzeysel ve ağır olmayan yapıların düşey taşıyıcı elemanlarının zeminden takviyeyle desteklenmesi, temel sisteminin zemin altından desteklenmesi gibi uygulanma alanları mevcuttur.



Şekil 3.17. Kompaksiyon Enjeksiyonu

Kaynak: (Küçükali, 2008: 21)

3.3.3. Geçirimsizlik Enjeksiyonu (Permeasyon)

Geçirimsizlik enjeksiyonu, uygulanacak zeminde hacimsel veya yapısal değişiklikler yaratmadan gözenek ve boşlukların azaltılıp indirgeyerek zemindeki geçirgenliği minimuma indirmeye ve yer altı su akıntılarını kontrol etmede kullanılan bir yöntemdir. Bununla birlikte uygulanan düşük viskoziteli enjeksiyon zeminde bir yayılım oluşturarak zeminde üniform bir yayılım oluşturarak zemin iyileştirilmesine, güçlendirilmesine etki eder.

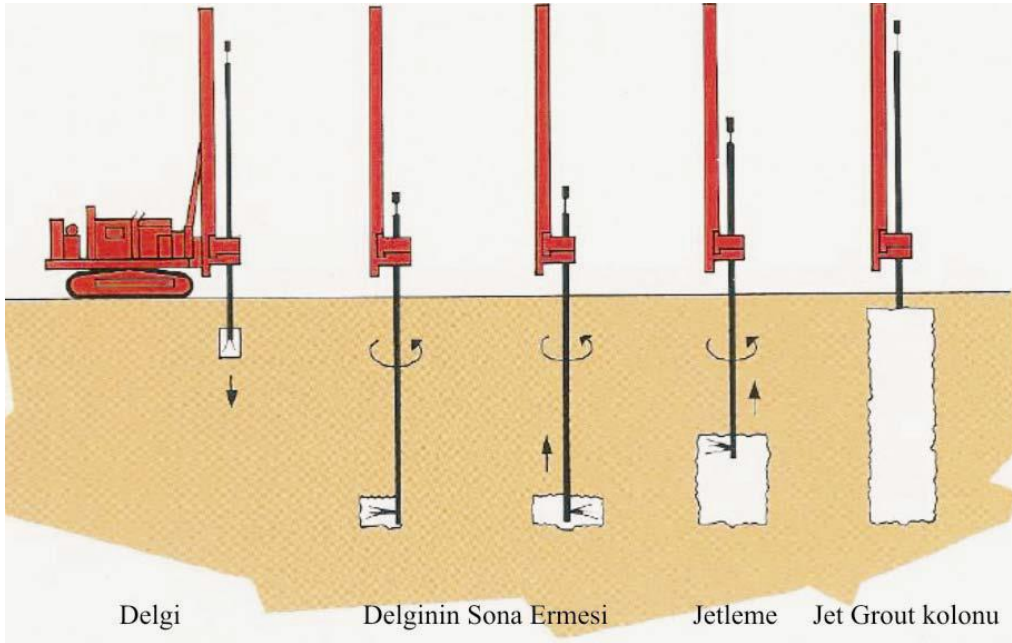
3.3.4. Jet-Grout (Yüksek Basınç Enjeksiyonu)

Jet grout yöntemi kil, kum, çakıl ve silt içeren zeminlerde zemin iyileştirilmesi olarak yaygın kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Yüksek basınçta su ile zeminin karıştırılması ve çimento ile yer değiştirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir.

Enjeksiyon maddesi olarak genellikle zemin parametrelerine göre dozajı belirlenen su-çimento karışımı enjeksiyon kullanılır.

Gerekli görülen zemin koşullarında enjeksiyon malzemesi olarak reçine ve türevi kimyasal maddelerde kullanılabilir. Enjeksiyon 300-500 bar arasında basınç ile zemine enjekte edilir. Jet grout, yüksek basınç altında zemin içine enjekte edilerek jet grout kolonu oluşturulur.

Aşağıda jet grout kolonu oluşturulması anındaki aşamalar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Jet Grout Uygulama Aşamaları

Kaynak: (Küçükali, 2008: 22)

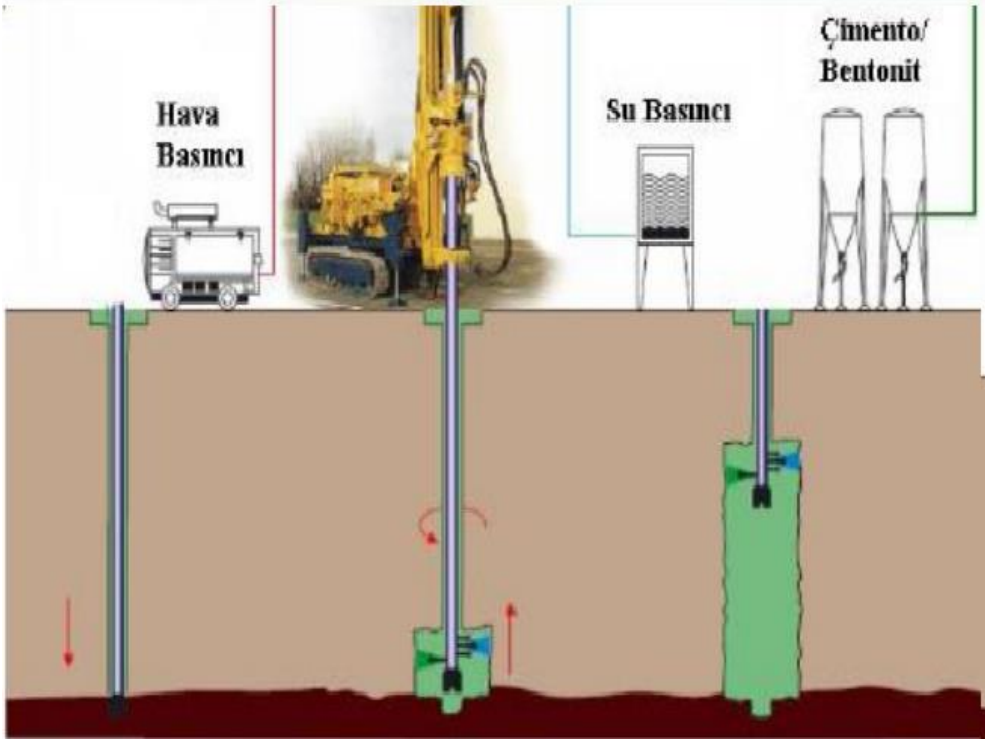
İşlemin uygulanması iki aşamada gerçekleştirilir. İlk olarak jet grout kolonu yapılacak zemin profili delinir. Delgi işlemi aşamasında iyileştirilecek zemin katmanına kadar delme borusu indirilir. Delgi borusunun ucunda karşılaşılabilecek katmanlarda ilerleyebilmesi için kesici uçlar bulunur.

Kesici uç eksenine dik şekilde bulunan basınçlı enjeksiyon malzemesi püskürtülmesine yarayan nozzle uçları bulunur.

İyileştirme yapılacak katmana inen delgi ucu, yüksek basınçta dönüp enjeksiyon maddesini zemine püskürterek zemin yüzeyine doğru yükselerek silindirik jet grout kolonu oluşur.

Jet grout uygulaması şehir merkezlerinde veya yerleşim, yapıların birbirine çok yakın olduğu lokasyonlarda tercih edilen zemin iyileştirme yöntemlerinden değildir.

Yüksek basınç ile püskürtülen enjeksiyon malzemesi özellikle kohezyonsuz zeminlerde, uygulama yapılan alanın çok uzağında kalan yerlerden zemin yüzeyine aynı basınç ile çıkış yapabilir. Bu durum, çevre yapıların stabilitesi ve temelleri için tehlike oluşturur.



Şekil 3.19. Jet Grout Kolonları Delme-Püskürtme Aşamaları

Kaynak: (ZM14, 2012)

3.3.5. Derin Karıştırma (Deep Soil Mixing)

Deep soil mixing yöntemi ince daneli olan kumlu ve siltli zeminlerde zeminin rijitliğini ve ıslahını sağlayan iyileştirme metodudur. Zeminin sıvılaştırma direncini yükselterek, kayma mukavemetini arttırıcı etki gösterir. Kullanılacak bağlayıcı malzemenin türü ve dozajı, uygulama öncesi yapılan zemin tahkiklerine göre belirlenmelidir.



Şekil 3.20. Konut İnşaatında Uygulanan Temel Altı Derin Karıştırma İşlemi
Enjeksiyon Malzemesi (Yalova,2021)

Porland çimentosundan oluşan stabilize edici malzeme, ortası delik olan, malzemeyi zemine aktaran bir burgu ve ucunda kanat şeklinde karıştırıcı uçları olan karıştırma aracı ile arazi üzerinde mekanik olarak uygulanır. Karıştırıcı uçlar olan tij demeti çapları genellikle 1 metre boyunda ve adet sayıları 7-8 olan tij demetinden oluşur.



Şekil 3.21. Konut İnşaatında Uygulanan Temel Altı Zemin Karıştırma İşlemi Uygulaması (Yalova,2021)

Uygulama sırasında burgular zemin içine doğru ilerlerken tasarım derinliğine ulaşıldığında tijlerin uç kısımlarında nozzle adı verilen uçlardan çimento şerbeti zemine şırınga edilmekte ve aynı zamanda burğu dönüşüne devam etmektedir.

Bunun sonucunda burğu zemin yüzeyine doğru hareket etmekte ve priz alma sürecine girilmektedir. Bunun, sonucunda zemin içinde silindirik kolonlar oluşur.

Derin karıştırma yapılarda temel altı iyileştirme tekniklerinde, sıvılaşma riskinin ortadan kaldırılarak yapıların inşasına uygun zemin koşulları hazırlama sürecinde etkili bir yöntemdir.



Şekil 3.22. Konut İnşaatında Uygulanan Temel Altı Zemin Karıştırma İşlemi Uygulaması (Yalova,2021)



Şekil 3.23. İmalatı Bitmiş Deep Soil Mixing (DSM) Kolonu (Yalova 2021)

3.4. Elektro - Osmoz

Kohezyonlu zeminlerde sudaki iyon değişimi etkisi ile zeminin konsolide hale getirme yöntemlerinden biridir. Elektro osmoz yöntemi kohezyonlu yumuşak zeminlerde anot ve katot ile doğru akım devresi prensibinde kurularak oluşturulan elektrik alan ile zemindeki suyun anottan katota doğru yönlendirilip drenaj işleminin yapılmasıdır. Ekonomik bir yöntem olup, anot başlığında su birikimi sonlanır ise konsolidasyonun tamamlandığı anlamı çıkartılabilir.



şekil 3.24. Elektro Osmoz Uygulamasının Öncesi Ve Sonrası

Kaynak: (şahan, 2016:16)

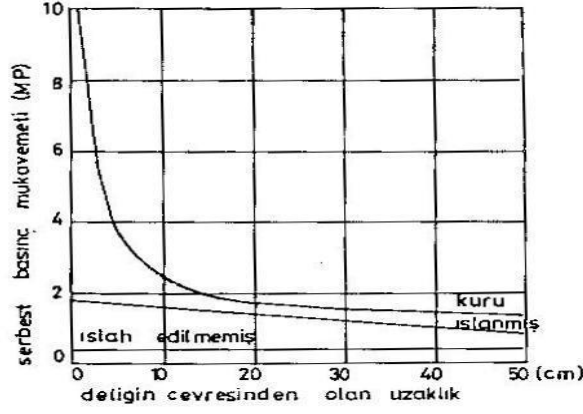
3.5. Termal Yöntemler

3.5.1. Isıtma Metodu

Isıtma metodu zemin yapısında ve zeminin yapı bileşenlerinde modifikasyon meydana getirme esasına dayanan yöntemdir. Zemine uygulanan ısı aralığı 250-1000 derece arasında değişkenlik gösterir. Killi ve siltli zeminler ısıtıldığında bünyesindeki suyun terk etmesinin haricinde sertleşerek yüzeyde yoğunluğu ve stabilitesi yüksek bir katman oluşturur. Sertleşen kil ısıt işlemin sonunda çözülmeden modifikasyona uğramış karakterizasyonu sayesinde zemin iyileştirilmesine katkıda bulunur.

Zeminde mukavemet artışları, taşıma gücü gibi iyileştirmeler görülür.

Isıtma metodu tüm bu işlemler uygulanırken elektrik enerjisinden faydalandığı için ekonomik yöntem değildir.



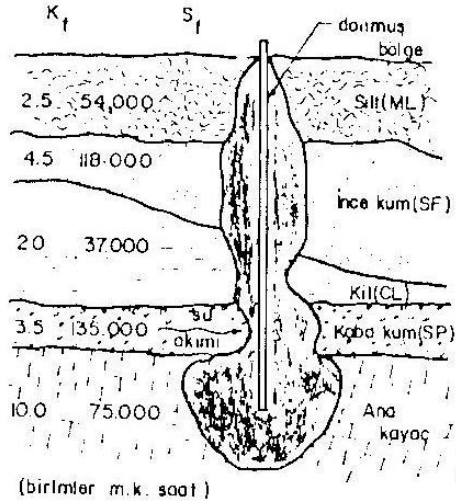
Şekil 3.25. Isıtma Metodu İle Mukavemet Artışı

Kaynak: (Ayan, 2009:41)

3.5.2. Dondurma Metodu

Dondurma metodu genellikle arazideki göçme risklerinin olduğu açık kazılarda ve arazide akmanın gerçekleşebileceği eğimli yerlerde tercih edilebilen yöntemlerdendir. Amaç, yer altında ki boşluk suyunu sıvı nitrojen ve sıvı karbondioksit ile borular yardımıyla dondurmaktır. Burada nitrojenin kaynama noktasının düşük olması ile hızlı ve daha düşük sıcaklıkta soğutma imkanından faydalanılır.

Dondurma metodu, yumuşak zeminlerde ve hareketli olan yer altı suyundan daha derinlerdeki boşluk suları için işlevselliğini sürdürür. Çünkü yer altı suyu her geçen zaman içerisinde hareketli olduğundan buradaki zemin iyileştirme çalışmaları başarısızlıkla sonuçlanır.



Şekil 3.26. Yer Altı Suyu Kesitinde Dondurma Metodu Etkisi

Kaynak: (Ayan,2009:43)

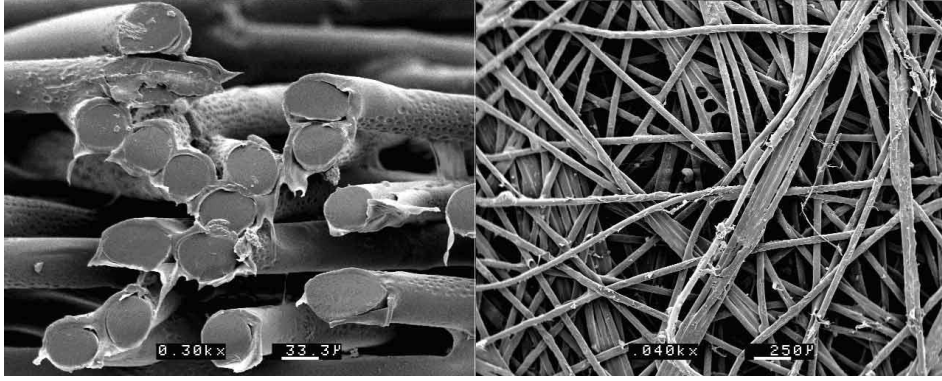
3.6. Diğer İyileştirme Yöntemleri

3.6.1. Geotekstiller

Geotekstiller son yıllarda teknolojinin gelişimiyle birlikte yapı inşalarındaki kullanım alanlarında artış gözlemlenmiştir. Bu ürünlerin işlevsellik açısından drenaj, yalıtım, lifli donatı, filtrasyon ve koruma gibi fonksiyonları mevcuttur.

Dolgu zeminlerde zemin takviyesi olarak kullanılır ve yumuşak, gevşek zeminlerde çekme donatısı olarak kullanılıp taşıma gücünde artış ve zemine stabilite katar.

Geotekstil ürünler başlıca geogridler, geomembranlar, polyester iplik, geokompozitler olarak sıralanabilir.



Şekil 3.27. Mikroskop Altında İncelenen Geotekstil Ürünler

Kaynak: (Koerner, 1997:326)

4. ZEMİNLERDE SIVILAŞMA ETKİSİ

Suya doymun kumlu ve siltli zemin tabakalarının deprem gibi tekrarlı yükler etkisinde boşluk suyu basıncının artması sonucu efektif gerilmenin düşük değerlere düşmesi ile zeminin kayma mukavemetini kaybetmesi durumudur. Bu durum sonucunda zemin stabilitesini kaybederek büyük şekil değiştirmelere uğrar. Bu durum yapılarda yan yatmalar ve büyük hasar görmeleri gibi durumlara sebep olur.

Kohezyonsuz zeminler tekrarlı yükler altında taneler arasındaki boşlukları düşürerek daha sıkı duruma geçmek isterler. Bu durum sonucunda taneler arasında bulunan su kütlesi taneler arasındaki çekim etkisi ile yüzeye çıkmak ister ve yapı temellerinde açılmalara hasar görüp yapının yıkılmasına kadar uzanabilir.

Yapıların temel altındaki zeminlerinin sıvılaşabilmesi için genellikle aşağıda değinilen üç durum göz önünde bulundurulur.

- Yapı temeli altında özellikle yüzeye yakın katmanlarda yer altı suyuna rastlanması
- Zeminin kumlu siltli ve gevşek yapıda olması
- Deprem riski yüksek bölgelerde inşaa edilmiş olması

Yukarıda verilen şartlar sağlandığı neticede sıvılaşma analizi gerçekleştirilir. Fakat sıvılaşma analizi sayısal olarak 20 m' den daha derin seviyelerde yapılmaz.

Aşağıda verilen denklemler ile sıvılaşma direnci hesabı yapılabilmektedir(TDBY, 2018: 363).

$$\tau_R = CRR_{M7.5} C_M \sigma'_{vo} \quad (4.1)$$

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1,60f} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (4.2)$$

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (4.3)$$

5. ZEMİN İYİLEŞTİRME TEKNİKLERİNİN VE TEMEL TİPLERİNİN YAPI MALİYETİNDEKİ ETKİSİ

Deprem, yapı elemanlarında taşıyıcı düşey elemanlara etkisi en yüksek olan etkenlerden biridir. Deprem ve zemin sınıflarının bina projelendirilirken düşey taşıyıcı elamanlara etkisi, yapıdaki elemanların optimum tasarım koşullarına kesit ve donatılandırılmasını sağlayan hususların başında gelir.

Bu durumdan dolayı ve tasarım koşullarının yapı maliyetine etkisi söz konusu olacaktır.

Çalışmamızda Yalova ili, Çiftlikköy ilçesinde projelendirilip ruhsatı alınmış konutun inşa zeminindeki zemin iyileştirme metotları ve temel çeşitleri değiştirilerek Sta4cad betonarme analiz programı üzerinde yapı analizi yapıldıktan sonra kaba inşaat yapı metrajları incelenip yapı maliyeti üzerindeki etkisi incelenecektir.

5.1. Arazinin Depremselliği

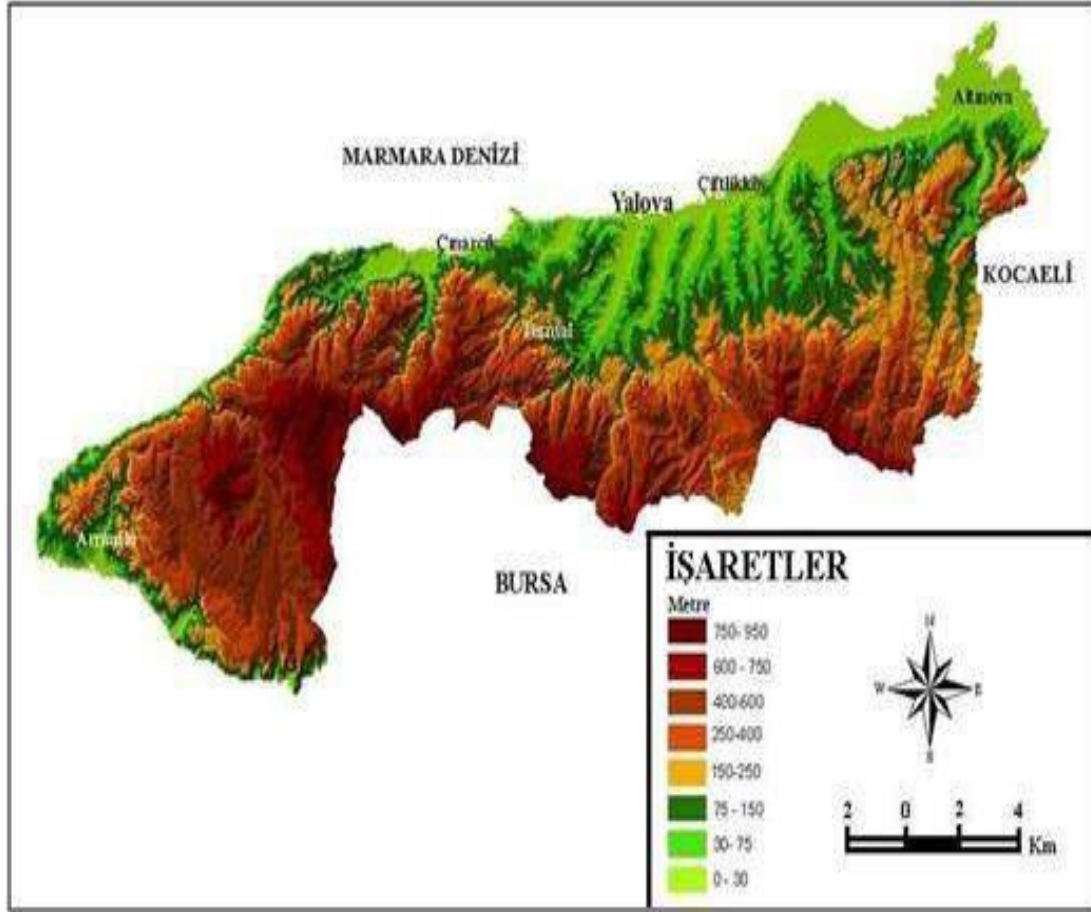
5.1.1. Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler

İnceleme alanı Yalova İli, Çiftlikköy İlçesi sınırlarında yer almaktadır. Çalışma alanı düz bir topoğrafyaya sahip olup, arazi eğimi kuzey yönünde %0-5 arasındadır.

Armutlu Yarımadası batı ucundan başlayıp samanlı dağlarının kuzey cephesine uzanan ve kuzey cephesinden başlayan yerleşimi ile Yalova, Türkiye'nin Kuzeybatısında ve Marmara Bölgesi'nin Güneydoğu kesiminde bulunan, 28° 45' ve 29° 35' Doğu Boylamları, 40° 28' ve 40° 45' Kuzey Enlemi arasında yer alır. Kuzey cephesinde ve batı kıyılarında Marmara Denizi, doğu tarafında Kocaeli İli, güney bölgesinde de Bursa İli ile Gemlik Körfezi mevcuttur. Şehirin denizden yüksekliği 2 metre, en yüksek noktası 926 metredir. Yüzölçümü 847 km²'dir. Yüzölçümü bakımından Türkiye'nin en küçük ili olan Yalova ilinin kıyıları girintili ve çıkıntılı bir özellik göstermez. Sahil şeridi dar ve doğal plaj özellikleri göstermektedir. Şehir, doğu taraflarında bulunan düzlükler haricinde dağlık bir araziden oluşur. Yalova bölgesinin fiziki coğrafyası, batıdan doğuya doğru İzmit-Sapanca arasında Kocaeli Sıradağları ile devam eden Samanlı Dağları takip eder ve bu dağlarla kaplanmış durumdadır ve şehrin büyük kısmını Samanlı Dağları oluşturur.

Birçok tepeden oluşan Yalova arazisinde Samanlı Dağlarında bulunan en yüksek nokta Beş Pınar Tepesi'dir. (926 m.)

Yalova ilinin fiziki haritası ve yükseklik kademelerini gösteren harita aşağıda görülmektedir. Aşağıdaki haritadan da görüldüğü şehrin en yüksek noktaları güney ve güneybatı tarafındaki samanlı dağlarından oluşmaktadır (Göçmez,2005:15-33).



Şekil 5.1. Yalova İlinin Fiziki Haritası ve Yükseklik Kademeleri

Kaynak: (Yalova Valiliği, 2020)

İncelenecek olan konut alanının jeolojik yapısı kuvaterner içeren yıllanmış alüvyonlardan oluşmaktadır. Topoğrafik eğimin % 0-10 arasında olduğu alanlarda uygulanmış sondaj çalışmalarında 2,00-5,00 metre derinliklerinde yeraltı su seviyesine rastlanılmıştır. Yalova havzasında, konut alanı için yapılan sondaj çalışmalarında zeminin üst tabakalarında gevşek-orta sıkı kum, orta katı-katı kilden, alt tabakalarda ise katı-çok katı kıvam aralığında kil tabakası olduğu saptanmıştır.

Yapılan sondaj çalışmaları neticesinde yapılan değerlendirme sıvılaşma analizi sonucu olarak $F_s < 1$ değeri elde edilmiştir. Bu değer siltili kum seviyelerinde sıvılaşma riskinin yüksek olduğu ve gerçekleşeceğini belirtmektedir.

Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu görülmüş olup, değerlendirmeler sonucunda bu alanlar yerleşime uygunluk açısından, ‘‘Önlem Alınabilecek Nitelikte Sıvılaşma Sorunlu Alanlar’’ olarak saptanmıştır.

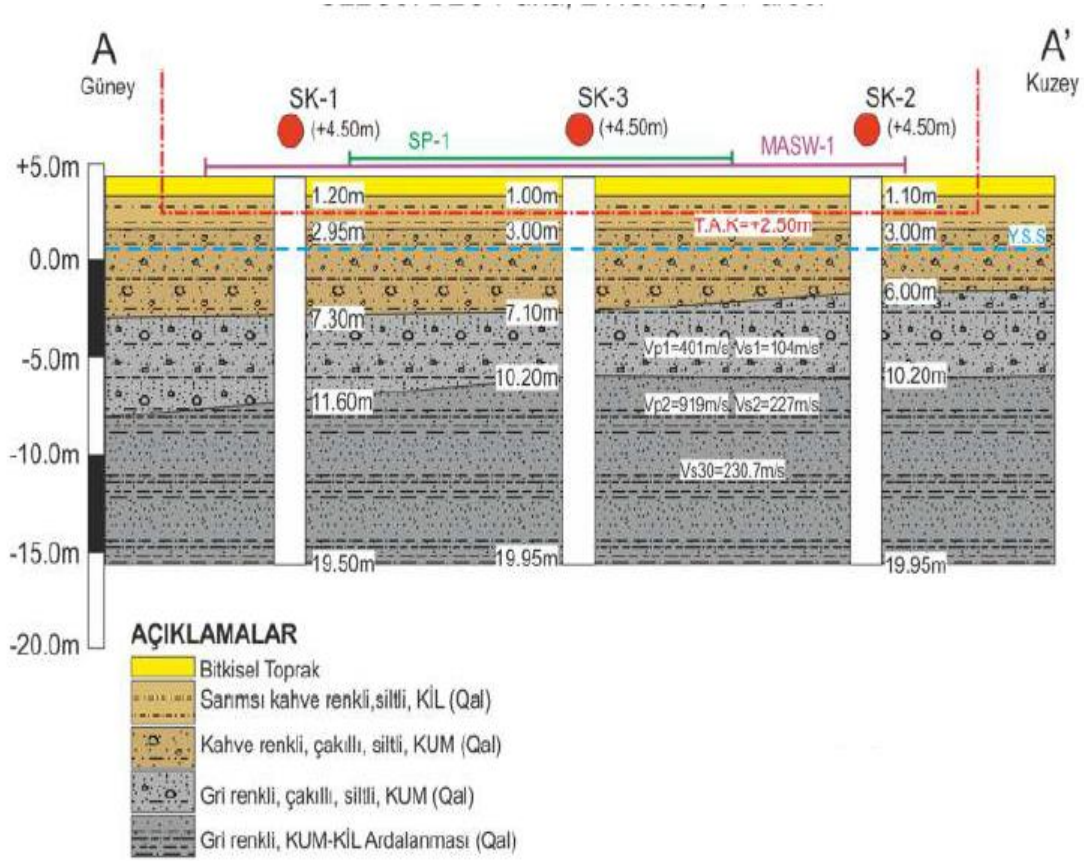
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) için hesaplanması istenilen bölgenin deprem parametreleri, AFAD Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından elde edilmiştir.

Aşağıdaki tabloda ele alınan konut sahasında zemin iyileştirme uygulaması (DSM) yapıldıktan sonra Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından elde edilen zemin parametreleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Yapının İnşa Alanındaki Deprem Parametreleri

Zemin Sınıfı	ZF
Deprem Yer Hareketi Düzeyi Analizi	DD2
S_s	1.542
S_1	0.409
PGA	0.628
PGV	43.018
F_s	1.000
F_1	1.891
S_{DS}	1.542
S_{D1}	0.773

Kaynak: (AFAD TDTH,2022)



Şekil 5.2. İnceleme Alanının Jeolojik Enine Kesitleri

Kaynak: (Çam, Keskin,2021:50)

5.2. İncelenecek Alanın Jeolojisi

Çalışmamızda incelenecek konutun bulunduğu parsel ve parsel çevresinde yapılan sondaj çalışmalarının ve zemin kesitinden elde edilen bilgiler doğrultusunda aşağıdaki değerlendirmelere varılmıştır.

-İlk 3,00 m’lerde gözlenen Alüvyona (Qal) ait birimler; CIH grubu, kahve renkli, yüksek plastisiteli, katı kıvamlılık kumlu Kil biriminden oluşmaktadır. Bu birim sondaj ağız kotundan başlayarak 2,95 ile 3,00 m kalınlığa ulaşmaktadır

-Bu birim altında yine Alüvyona (Qal) ait; kahve renkli, ince-orta-iri taneli, orta sıkı sıkıllıklı, muhtelif kökenli ince-orta-iri taneli, yarı köşeli çakıllı siltli kum biriminden oluşmaktadır. Bu birim sondaj ağız kotundan 2,95 ila 3,00 m’den sonra 6,00-7,30 metrelere kadar (3,00-4,35 metre kalınlığında) gözlenmektedir.

-Bu birim altında yine Alüvyona (Qal) ait; gri renkli, ince taneli, orta sıkıllıklı, yer yer fosil katkılı siltli Kum biriminden oluşmaktadır. Bu birim 6,00-7,30 metrelerden 10,20 ila 11,60 metrelere kadar (3,10-4,30 metre kalınlığında) gözlenmektedir.

-Tüm bu birimlerin altında yine Alüvyona (Qal) ait (yaklaşık 10,20-11,60m'lerden kuyu sonlarına kadar) ait ince daneli gri renkli, düşük-orta-yüksek plastisiteli, yumuşaktan çok katı kıvamlılığa değişen, yer yer fosil katkılı kil - orta sıkılıklı, ince taneli kum ardalanması birimi gözlenmiştir.

-İnceleme alanının; en yakın faya mesafesi 4,20 en yakın diri faya (yüzey kırığı) mesafesi 4,75 km'dir (Çam, Keskin, 2021:20-50).

İnceleme alanındaki daneler orta-yüksek plastik ve orta-yüksek kuru dayanım özelliği göstermektedir.



Şekil 5.3. Arazi Zemin Modeli Ve Yeraltı Suyu Durumları

Kaynak: (Karadağ, 2021:14)

5.3. Metraj, Keşif Ve Yapıda Maliyet Karşılaştırılması

5.3.1. Statik Analizde Kullanılacak Yazılım Programı

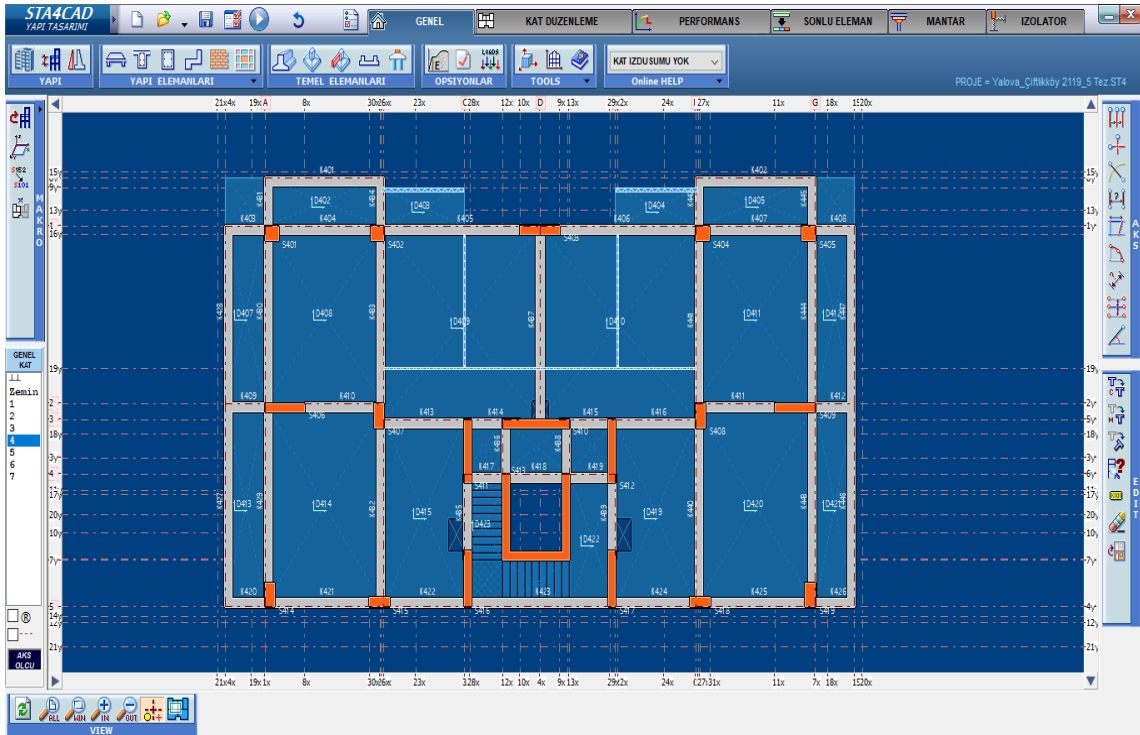
Farklı temel tiplerini ve farklı zemin iyileştirme tekniklerinin çalışılacağı ve maliyete etkisinin sta4cad betonarme analiz programı metraj değerlerine göre değerlendirilecektir.

Statik analizde kullanılan program versiyonu Sta4cad v.14.1 kullanılmıştır. Program TS500 ve 2018 Deprem Yönetmeliğini kapsayarak bu yönetmeliklere uygun hesaplamalar yapar. Türkiye de uygulanan bu yönetmeliğin dışında yabancı yönetmeliklere uygun olarak da hesap yapabilmektedir.

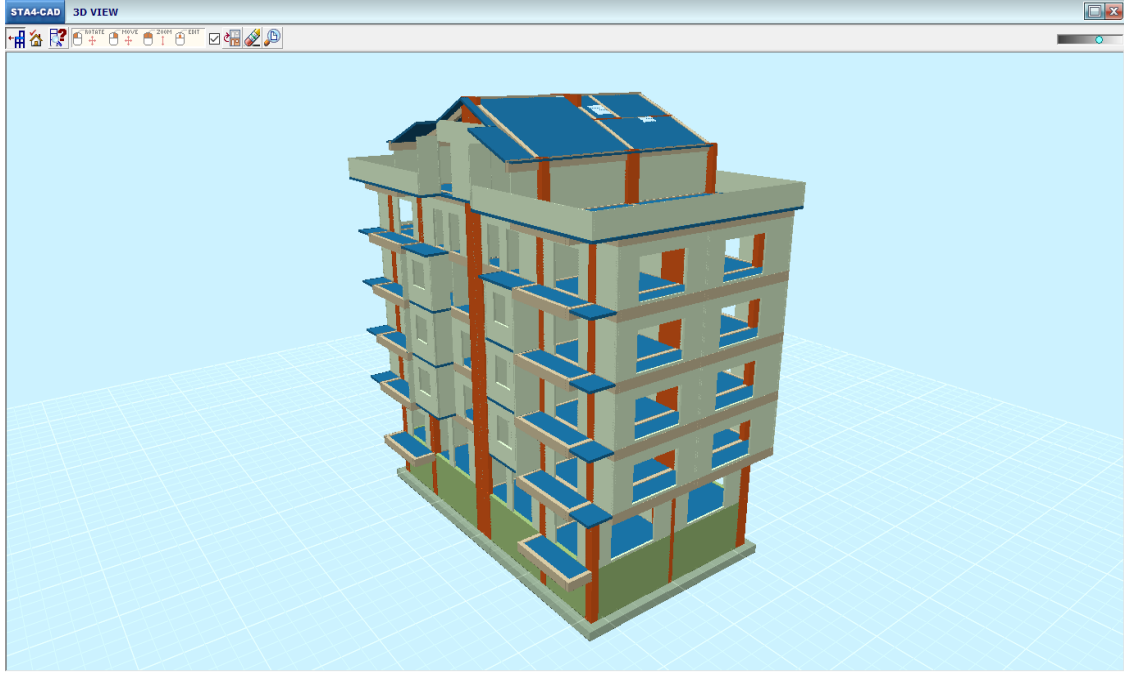
Program model sonunda yapılan analizde yapıdaki donatılandırmayı otomatik yapar ve analiz sonunda proje müellifince müdahalelere açık olarak revize edilebilir.

5.3.2. Statik Model

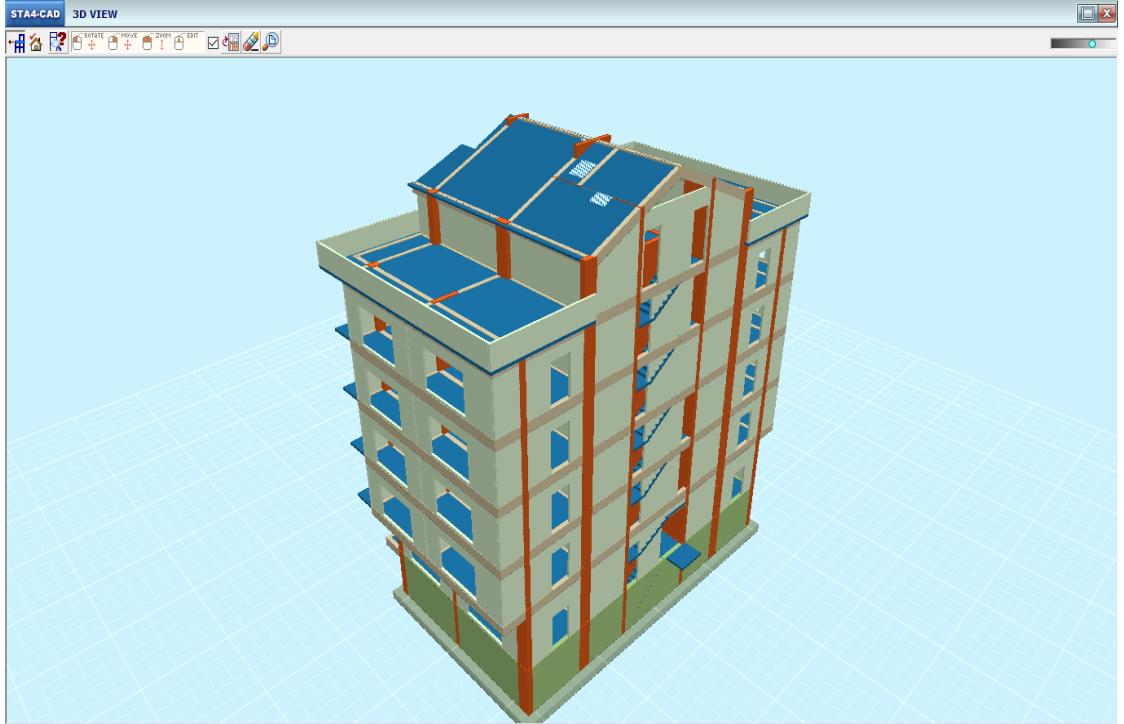
Yapılan çalışmamızda incelenecek olan betonarme konut aşağıdaki plana sahip olup zemin+4 kat 'a sahiptir.



Şekil 5.4. Statik Kalıp Planı



Şekil 5.5. Statik 3d Model



Şekil 5.6. Statik 3d Model

5.4. Temel Tiplerinin Yapı Maliyetindeki Etkisi

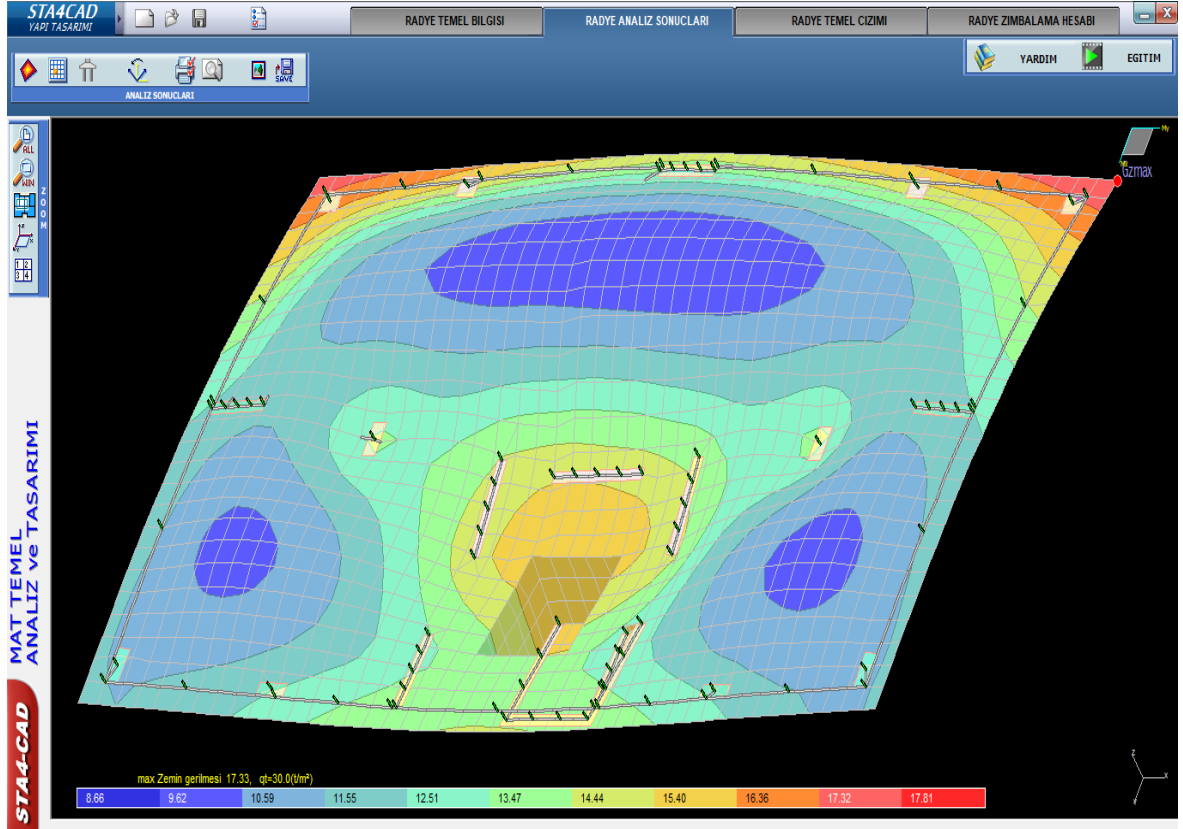
5.4.1. Radye Temel Uygulanması Ve Tasarımı

Tablo 5.1. 5 Katlı Binanın Radye Temel Olması Durumunda Kullanılan Beton ve Kalıp Metrajı

Beton/kalıp metrajı		
Kat	Beton (m³)	Kalıp (m²)
Radye Temel	147,89	200,01
1> Bodrum Kat Döşeme	33,8	225,33
1> Bodrum Kat Kiriş	8,61	67,01
1> Bodrum Kat Kolon	66,18	513,86
1> Bodrum Kat Toplam	108,59	806,2
2> Zemin Kat Döşeme	38,96	259,76
2> Zemin Kat Kiriş	19,38	155,78
2> Zemin Kat Kolon	29,05	244,89
2> Zemin Kat Toplam	87,39	660,43
3> 1. Normal Döşeme	38,97	259,81
3> 1. Normal Kiriş	19,38	155
3> 1. Normal Kolon	24,73	207,1
3> 1. Normal Toplam	83,08	621,91
4> 2. Normal Döşeme	38,97	259,81
4> 2. Normal Kiriş	19,38	155
4> 2. Normal Kolon	24,73	207,11
4> 2. Normal Toplam	83,08	621,91
5> 2. Normal Döşeme	39,25	261,64
5> 2. Normal Kiriş	19,38	155
5> 2. Normal Kolon	24,73	207,1
5> 2. Normal Toplam	83,35	623,74
6> 3. Normal Döşeme	41,79	278,61
6> 3. Normal Kiriş	18,97	146,09
6> 3. Normal Kolon	26,95	225,99
6> 3. Normal Toplam	87,71	650,69
7> Çatı Piyes Döşeme	20,68	146,01
7> Çatı Piyes Kiriş	9,06	71,06
7> Çatı Piyes Kolon	15,3	132,72
7> Çatı Piyes Toplam	45,05	349,8
Toplam	725,24	4534,68

Tablo 5.2. 5 Katlı Binanın Radye Temel Olması Durumunda Kullanılan İnşaat Çeliği Metraji

Kat	ø8 (kg)	ø10 (kg)	ø12 (kg)	ø14(kg)	ø16 (kg)	TOPLAM (kg)
Radye Temel	111,7	0	1777	448,9	16250	18609,3
1> Bodrum Döşeme	1697	25,2	399	0	0	2121,3
1> Bodrum Kiriş	363,1	0	495,3	189	0	1047,4
1> Bodrum Kolon	2311,3	583,2	2174,2	0	1975,1	7043,8
1> Bodrum Toplam	4371,4	608,5	3068,5	189	1975,1	10212,4
2> Zemin Döşeme	2148,4	41,5	99,9	0	0	2289,8
2> Zemin Kiriş	760,8	25	997,3	645,1	0	2428,2
2> Zemin Kolon	1620	0	419,2	0	2107,9	4147,1
2> Zemin Toplam	4529,3	66,5	1516,4	645,1	2107,9	8865
3> 1. Normal Döşeme	2173,3	162,3	99,9	0	0	2435,5
3> 1. Normal Kiriş	750,2	25,9	988,2	776,3	0	2540,6
3> 1. Normal Kolon	1214,6	0	197	0	2138,4	3550
3> 1. Normal Toplam	4138,1	188,2	1285,1	776,3	2138,4	8526
4> 2. Normal Döşeme	1768,7	583,7	99,9	0	0	2452,3
4> 2. Normal Kiriş	750,2	26,8	957,8	804,2	0	2539,1
4> 2. Normal Kolon	1217,1	0	396,9	0	1783	3397
4> 2. Normal Toplam	3736	610,5	1454,6	804,2	1783	8388,4
5> 2. Normal Döşeme	2053,1	41,5	638,5	0	50,4	2783,5
5> 2. Normal Kiriş	753,7	26,8	984,2	767,7	0	2532,4
5> 2. Normal Kolon	1206	0	396,9	0	1733,1	3336,1
5> 2. Normal Toplam	4012,8	68,3	2019,6	767,7	1783,6	8652
6> 3. Normal Döşeme	2230	197,8	36,7	0	0	2464,4
6> 3. Normal Kiriş	703,9	70,3	1039,7	607,7	0	2421,6
6> 3. Normal Kolon	1382,7	0	453	0	1614,3	3449,9
6> 3. Normal Toplam	4316,6	268,1	1529,3	607,7	1614,3	8335,9
7> Çatı Piyas Döşeme	1108	45	19	0	0	1172,1
7> Çatı Piyas Kiriş	332,5	67,5	431,6	477,3	0	1308,9
7> Çatı Piyas Kolon	741,9	0	182,7	0	922,5	1847,1
7> Çatı Piyas Toplam	2182,5	112,5	633,4	477,3	922,5	4328,1
Toplam	27397,7	1922,5	13283,9	4719,2	28574,6	76002,9



Şekil 5.7 5 Katlı Binanın Radye Temel Yapılmasıyla Temelde Zemin Gerilme Durumu

Maksimum Zemin Gerilmesi: 17.33 t/m²

Zemin Emniyet Gerilmesi: 30 t/m²

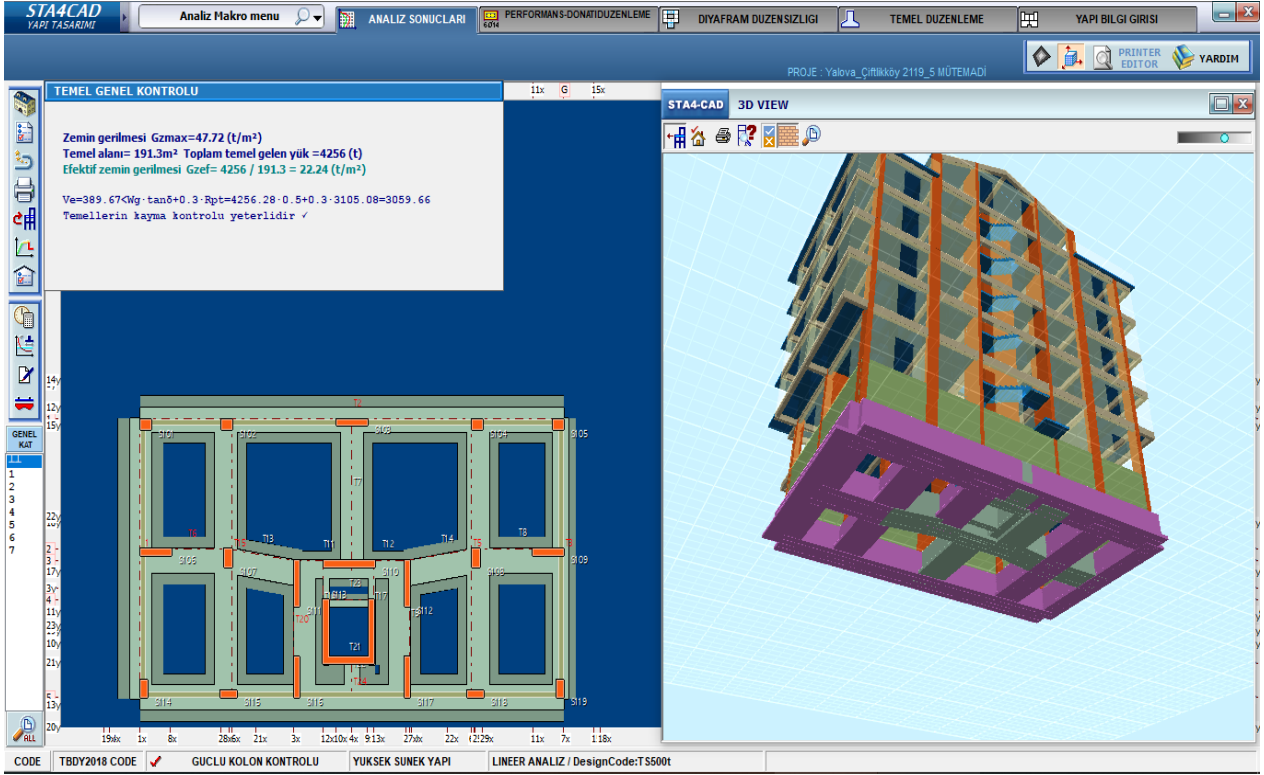
5.4.2. Mütemadi Temel Uygulanması Ve Tasarım

Tablo 5.3. 5 Katlı Binanın Sürekli (Mütemadi) Temel Olması Durumunda Kullanılan Beton Ve Kalıp Metrajı

Kat	Beton	Kalıp
	m ³	m ²
Temel	282,99	437,39
1> Bodrum Kat Döşeme	32,94	219,58
1> Bodrum Kat Kiriş	8,61	67,01
1> Bodrum Kat Kolon	62,8	484,52
1> Bodrum Kat Toplam	104,35	771,11
2> Zemin Kat Döşeme	38,96	259,76
2> Zemin Kat Kiriş	19,38	155,78
2> Zemin Kat Kolon	29,05	244,89
2> Zemin Kat Toplam	87,39	660,43
3> 1. Normal Döşeme	38,97	259,81
3> 1. Normal Kiriş	19,38	155
3> 1. Normal Kolon	24,73	207,1
3> 1. Normal Toplam	83,08	621,91
4> 2. Normal Döşeme	38,97	259,81
4> 2. Normal Kiriş	19,38	155
4> 2. Normal Kolon	24,73	207,11
4> 2. Normal Toplam	83,08	621,91
5> 2. Normal Döşeme	39,25	261,64
5> 2. Normal Kiriş	19,38	155
5> 2. Normal Kolon	24,73	207,1
5> 2. Normal Toplam	83,35	623,74
6> 3. Normal Döşeme	41,79	278,61
6> 3. Normal Kiriş	18,97	146,09
6> 3. Normal Kolon	26,95	225,99
6> 3. Normal Toplam	87,71	650,69
7> Çatı Piyes Döşeme	20,68	146,01
7> Çatı Piyes Kiriş	9,06	71,06
7> Çatı Piyes Kolon	15,3	132,72
7> Çatı Piyes Toplam	45,05	349,8
Toplam	856,99	4736,99

Tablo 5.4. 5 Katlı Binanın Sürekli (Mütemadi) Temel Olması Durumunda Kullanılan İnşaat Çeliği Metrajı

Kat	ø8	ø10	ø12	ø14	ø16	TOPLAM
Birim	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Temel	3650,2	0	2178,3	55,2	21710,8	27594,6
1> Bodrum Döşeme	1746,5	25,2	669	0	0	2440,8
1> Bodrum Kiriş	366,2	0	506,2	175,4	0	1047,9
1> Bodrum Kolon	2252,1	0	2768,2	0	1825,4	6845,7
1> Bodrum Toplam	4364,9	25,2	3943,3	175,4	1825,4	10334,4
2> Zemin Döşeme	2155,1	41,5	99,9	0	0	2296,5
2> Zemin Kiriş	766,3	25	997	647,2	0	2435,5
2> Zemin Kolon	1620	0	419,2	0	2107,9	4147,1
2> Zemin Toplam	4541,5	66,5	1516,1	647,2	2107,9	8879,1
3> 1. Normal Döşeme	2173,3	162,3	99,9	0	0	2435,5
3> 1. Normal Kiriş	758,1	25,9	987,6	777,3	0	2548,9
3> 1. Normal Kolon	1214,6	0	197	0	2150,8	3562,5
3> 1. Normal Toplam	4146	188,2	1284,5	777,3	2150,8	8546,8
4> 2. Normal Döşeme	1768,7	583,7	99,9	0	0	2452,3
4> 2. Normal Kiriş	748	40,7	959,7	799,3	0	2547,7
4> 2. Normal Kolon	1217,1	0	396,9	0	1832,9	3446,9
4> 2. Normal Toplam	3733,8	624,3	1456,5	799,3	1832,9	8446,8
5> 2. Normal Döşeme	2053,1	41,5	401,6	0	50,4	2546,7
5> 2. Normal Kiriş	758,1	26,8	1013,4	727,4	0	2525,6
5> 2. Normal Kolon	1206	0	396,9	0	1733,1	3336,1
5> 2. Normal Toplam	4017,2	68,3	1812	727,4	1783,6	8408,4
6> 3. Normal Döşeme	2241,6	178,4	36,7	0	0	2456,7
6> 3. Normal Kiriş	707,5	70,3	1055,9	589,7	0	2423,3
6> 3. Normal Kolon	1368,5	0	453	0	1614,3	3435,7
6> 3. Normal Toplam	4317,6	248,6	1545,5	589,7	1614,3	8315,7
7> Çatı Piyas Döşeme	1108	45	19	0	0	1172,1
7> Çatı Piyas Kiriş	332,5	67,5	443,8	450,3	0	1294,1
7> Çatı Piyas Kolon	741,9	0	182,7	0	922,5	1847,1
7> Çatı Piyas Toplam	2182,5	112,5	645,6	450,3	922,5	4313,3
Toplam	30953,6	1334	14685,8	4221,7	33948,2	84954,2



Şekil 5.8. 5 Katlı Binanın Sürekli (Mütemadi) Temel Yapılması Durumunda Temelin Zemin Gerilme Durumu

Maksimum Zemin Gerilmesi: 47,72 t/m²

Zemin Emniyet Gerilmesi: 30,00 t/m²

5.4.3. Tekil Temel

Tablo 5.5. 5 Katlı Binanın Tekil (Pabuç) Temel Olması Durumunda Kullanılan Beton Ve Kalıp Metrajı

Kat	Beton	Kalıp
	m ³	m ²
Temel	504,89	72,04
1> Bodrum Kat Döşeme	32,94	219,58
1> Bodrum Kat Kiriş	8,61	67,01
1> Bodrum Kat Kolon	80,85	627,92
1> Bodrum Kat Toplam	122,4	914,52
2> Zemin Kat Döşeme	38,96	259,76
2> Zemin Kat Kiriş	19,38	155,78
2> Zemin Kat Kolon	29,05	244,89
2> Zemin Kat Toplam	87,39	660,43
3> 1. Normal Döşeme	38,97	259,81
3> 1. Normal Kiriş	19,38	155
3> 1. Normal Kolon	24,73	207,1
3> 1. Normal Toplam	83,08	621,91
4> 2. Normal Döşeme	38,97	259,81
4> 2. Normal Kiriş	19,38	155
4> 2. Normal Kolon	24,73	207,11
4> 2. Normal Toplam	83,08	621,91
5> 2. Normal Döşeme	39,25	261,64
5> 2. Normal Kiriş	19,38	155
5> 2. Normal Kolon	24,73	207,1
5> 2. Normal Toplam	83,35	623,74
6> 3. Normal Döşeme	41,79	278,61
6> 3. Normal Kiriş	18,97	146,09
6> 3. Normal Kolon	26,95	225,99
6> 3. Normal Toplam	87,71	650,69
7> Çatı Piyes Döşeme	20,68	146,01
7> Çatı Piyes Kiriş	9,06	71,06
7> Çatı Piyes Kolon	15,3	132,72
7> Çatı Piyes Toplam	45,05	349,8
Toplam	1096,94	4515,03

Tablo 5.6. 5 Katlı Binanın Tekil (Pabuç) Temel Olması Durumunda Kullanılan İnşaat Çeliği Metrajı

Kat	ø8	ø10	ø12	ø14	ø16	TOPLAM
No	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Temel	2313,2	0	1830,9	634,4	18899,8	23678,4
1> Bodrum Döşeme	1687,8	49,7	934,4	0	0	2671,9
1> Bodrum Kiriş	366,2	0	501,7	184,6	0	1052,5
1> Bodrum Kolon	2479,1	196,4	2725,6	0	2237,4	7638,5
1> Bodrum Toplam	4533,1	246,1	4161,6	184,6	2237,4	11362,9
2> Zemin Döşeme	2084	152,6	99,9	0	0	2336,5
2> Zemin Kiriş	758,1	36,1	1005,1	645,4	0	2444,6
2> Zemin Kolon	1620	0	419,2	0	2107,9	4147,1
2> Zemin Toplam	4462,1	188,7	1524,1	645,4	2107,9	8928,2
3> 1. Normal Döşeme	2173,3	162,3	99,9	0	0	2435,5
3> 1. Normal Kiriş	748	39,8	987,9	775,2	0	2550,9
3> 1. Normal Kolon	1214,6	0	197	0	2150,8	3562,5
3> 1. Normal Toplam	4135,9	202	1284,9	775,2	2150,8	8548,8
4> 2. Normal Döşeme	1768,7	583,7	99,9	0	0	2452,3
4> 2. Normal Kiriş	731,4	67,5	965,3	802,2	0	2566,4
4> 2. Normal Kolon	1217,1	0	396,9	0	1807,9	3422
4> 2. Normal Toplam	3717,3	651,2	1462,1	802,2	1807,9	8440,7
5> 2. Normal Döşeme	2053,1	41,5	639,1	0	0	2733,7
5> 2. Normal Kiriş	758,1	26,8	992,2	760	0	2537,1
5> 2. Normal Kolon	1206	0	396,9	0	1733,1	3336,1
5> 2. Normal Toplam	4017,2	68,3	2028,3	760	1733,1	8606,9
6> 3. Normal Döşeme	2241,6	178,4	36,7	0	0	2456,7
6> 3. Normal Kiriş	707,5	70,3	1074,6	581,8	0	2434,1
6> 3. Normal Kolon	1382,7	0	453	0	1614,3	3449,9
6> 3. Normal Toplam	4331,8	248,6	1564,2	581,8	1614,3	8340,7
7> Çatı Piyes Döşeme	1108	45	19	0	0	1172,1
7> Çatı Piyes Kiriş	332,5	67,5	433,6	478,8	0	1312,4
7> Çatı Piyes Kolon	741,9	0	182,7	0	922,5	1847,1
7> Çatı Piyes Toplam	2182,5	112,5	635,4	478,8	922,5	4331,6
Toplam	29693,2	1717,5	14491,4	4862,4	31473,8	82238,2

5.4. Farklı Temel Tiplerinin Yapı Maliyetindeki Etkisinin Değerlendirilmesi

Tablo 5.7. 2022 Yılı Güncel Birim Fiyatları

Ürün	Tarih	Birim Fiyat
Demir (Ton)	20.04.2022	16900 ₺
Beton (m ³)	20.04.2022	1000 ₺
Kalıp (m ²)	20.04.2022	130 ₺

Tablo 5.8. Metraj Özeti

Temel Tipleri	Beton (m ³)	Demir (ton)	Kalıp (m ²)	Beton (TL)	Demir (TL)	Kalıp (TL)	Toplam (TL)
Radye	725,24	76,002	4534	725.240 ₺	1.285.0000 ₺	589.500 ₺	2.600.000 ₺
Sürekli	857	84,95	4737	857.000 ₺	1.436.500 ₺	615.680 ₺	2.909.000 ₺
Tekil	1,097	82,24	4515	1.097.000 ₺	1.390.000 ₺	586,950 ₺	3.074.000 ₺

Yukarıdaki çizelgede referans alınan konut binasının kaba inşaat yapımındaki maliyetinin, farklı temel bölgelerine bağlı değişimi statik analiz yöntemi ile incelenmiştir.

Bu çalışma sonucunda sürekli (mütemadi) temel tercihi, radye temel sistemi uygulanmasına kıyasla %12 düzeyinde bir maliyet artışına sebep olmuştur.

Aynı durum tekil temel sisteminin, radye temel sistemine kıyasla %18,50 oranında maliyet artışının gözlemlenmesinde de görülmektedir.

Tekil temel sistemi seçimi, sürekli (mütemadi) temel sistemine oran ile %5,85 oranında maliyet artışına sebep olmaktadır.

Bu kıyaslamalardaki maliyet farkı yapıdaki kat sayısının artışı, zemin sınıfının değişmesi ile değişkenlik gösterebilir. Yapıdaki kat sayısının artışı, yapıdaki birim metrekaredeki maliyeti aşağı yöne çekmektedir.

Yapı inşalarında temel seçimi yapılırken uygulanacak temel şekli, üst yapı yüklerini daha geniş bir yüzeye lineer bir şekilde yayarak temel altında oluşan gerilmeleri zemin emniyet gerilmesini aşmayarak karşılaması gerekmektedir.

1.Derece deprem bölgelerindeki konut inşalarında yapıyı depreme dayanıklı yapıp ile yapmamak arasındaki fark genel maliyete oran ile % 3-4 arasında küçük bir oranı oluşturur. Yapının kaba inşasındaki yapılacak imalat metrajlarından tasarruf etmek yapıyı can ve mal güvenliği riskine sokmaktadır.

5.5. Zemin İyileştirme Tekniklerinin Yapıdaki Maliyet Etkisi

5.5.1. Deep Soil Mixing'nin (DSM) Yapıdaki Maliyet Etkisi

Derin karıştırma yapı inşasında hazırlanan zemin etüt raporlarında yer alan parametreleri iyileştirmeye ve yapı analizinde kullanılacak olan taşıma gücü, yatak katsayısı, zemin sınıfı gibi değerlerin artmasına teorik olarak sebep olur.



Şekil 5.9. Deniz Seviyesindeki Konut İnşaatı Temelinde Uygulanan DSM Kolonları



Şekil 5.10. Deniz Seviyesindeki Konut İnşaatı Temelinde Uygulanan DSM Kolonları

Tablo 5.9. DSM Öncesi Ve Sonrası Zemindeki Parametre Değişimi

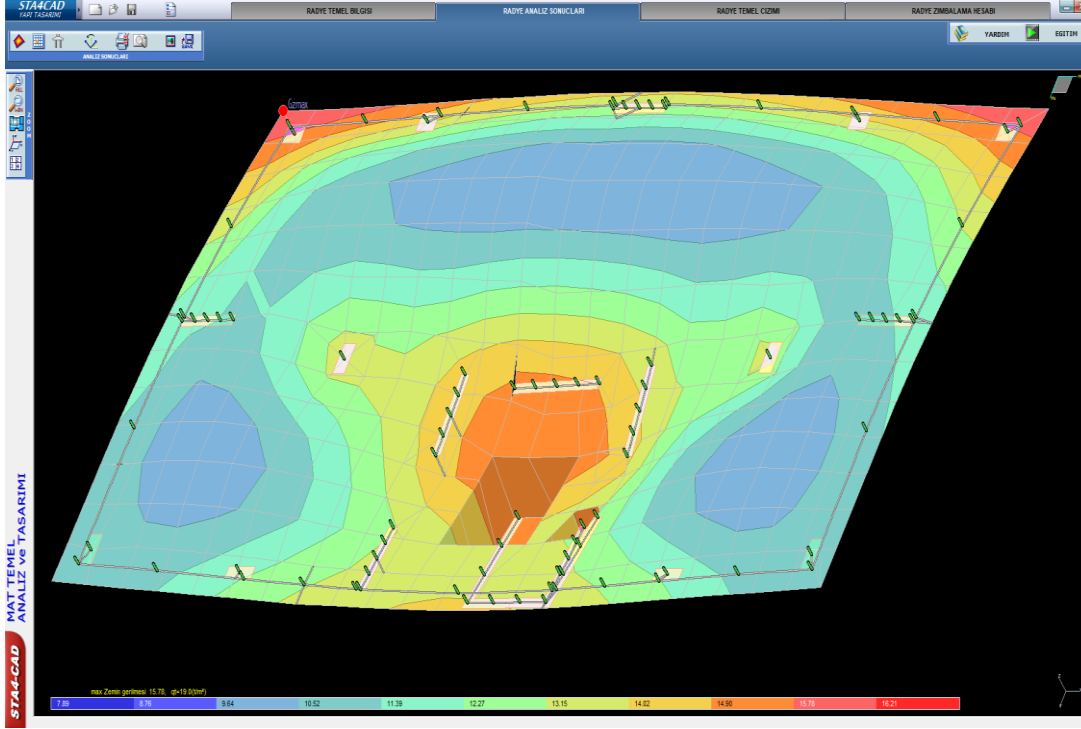
Parametre	Deep Soil Mixing Öncesi	Deep Soil Mixing Sonrası
Zemin Sınıfı	ZF	ZD
Taşıma Gücü	19 ton/m ²	30 ton/m ²
Yatak Katsayısı	1213 t/m ³	2400 t/m ³

Tablo 5.10. Deep Soil Mixing Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Beton Metraji

Kat	Beton	Kalıp
	m ³	m ²
Temel	147,89	63,82
1> Bodrum Kat Döşeme	33,24	221,58
1> Bodrum Kat Kiriş	8,61	67,01
1> Bodrum Kat Kolon	66,18	513,33
1> Bodrum Kat Toplam	108,03	801,93
2> Zemin Kat Döşeme	38,96	259,76
2> Zemin Kat Kiriş	19,38	155,78
2> Zemin Kat Kolon	29,05	244,89
2> Zemin Kat Toplam	87,39	660,43
3> 1. Normal Döşeme	38,97	259,81
3> 1. Normal Kiriş	19,38	155
3> 1. Normal Kolon	24,73	207,1
3> 1. Normal Toplam	83,08	621,91
4> 2. Normal Döşeme	38,97	259,81
4> 2. Normal Kiriş	19,38	155
4> 2. Normal Kolon	24,73	207,11
4> 2. Normal Toplam	83,08	621,91
5> 2. Normal Döşeme	39,25	261,64
5> 2. Normal Kiriş	19,38	155
5> 2. Normal Kolon	24,73	207,1
5> 2. Normal Toplam	83,35	623,74
6> 3. Normal Döşeme	41,79	278,61
6> 3. Normal Kiriş	18,97	146,09
6> 3. Normal Kolon	26,95	225,99
6> 3. Normal Toplam	87,71	650,69
7> Çatı Piyas Döşeme	20,68	146,01
7> Çatı Piyas Kiriş	9,06	71,06
7> Çatı Piyas Kolon	15,3	132,72
7> Çatı Piyas Toplam	45,05	349,8
Toplam	725,56	4394,23

Tablo 5.11. Deep Soil Mixing Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Donatı Metrajı

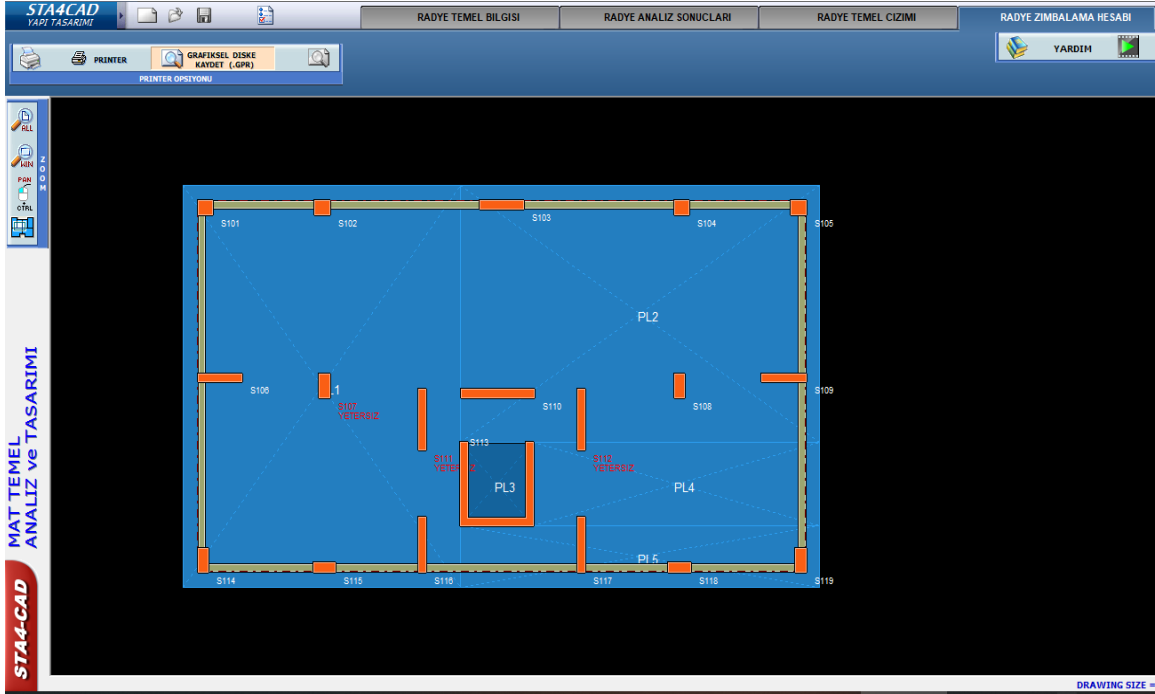
Kat	ø8	ø10	ø12	ø14	ø16	TOPLAM
No	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Mat Temel	90,4	0	1769	436,8	18409,2	20705,4
1> Bodrum Döşeme	1663,7	171,1	286,7	0	0	2121,4
1> Bodrum Kiriş	366,2	0	488	207,3	0	1061,6
1> Bodrum Kolon	2255,7	0	2955,4	0	2391	7602,1
1> Bodrum Toplam	4285,6	171,1	3730,1	207,3	2391	10785,2
2> Zemin Döşeme	2084	41,5	259,9	0	0	2385,4
2> Zemin Kiriş	710,1	106	995,1	845	0	2656,3
2> Zemin Kolon	1657,6	164	419,2	0	2484,2	4725
2> Zemin Toplam	4451,7	311,5	1674,1	845	2484,2	9766,6
3> 1. Normal Döşeme	2062,7	335,2	99,9	0	0	2497,7
3> 1. Normal Kiriş	643,8	155,4	989,3	1111,9	0	2900,4
3> 1. Normal Kolon	1202,1	148	197	0	2397,7	3944,8
3> 1. Normal Toplam	3908,6	638,5	1286,2	1111,9	2397,7	9342,9
4> 2. Normal Döşeme	1768,7	583,7	99,9	0	0	2452,3
4> 2. Normal Kiriş	643,8	156,3	995	1091	0	2886,2
4> 2. Normal Kolon	1204,5	74	197	0	2184,2	3659,8
4> 2. Normal Toplam	3617,1	813,9	1292	1091	2184,2	8998,2
5> 2. Normal Döşeme	2053,1	41,5	251	0	0	2345,6
5> 2. Normal Kiriş	660,4	133,2	1106,3	952,4	0	2852,2
5> 2. Normal Kolon	1230,2	0	396,9	0	1828,8	3750
5> 2. Normal Toplam	3943,7	174,7	1754,2	952,4	1828,8	8653,8
6> 3. Normal Döşeme	2126,6	348,1	170,9	0	62	2707,7
6> 3. Normal Kiriş	635,9	178,5	1000,4	805,2	0	2619,9
6> 3. Normal Kolon	1377,1	123,1	453	0	1704,3	3657,5
6> 3. Normal Toplam	4139,5	649,7	1624,2	805,2	1766,4	8985,1
7> Çatı Piyas Döşeme	1108	45	19	0	0	1172,1
7> Çatı Piyas Kiriş	299,4	123,9	464	501	0	1388,3
7> Çatı Piyas Kolon	746,2	0	182,7	0	976	1904,9
7> Çatı Piyas Toplam	2153,6	168,9	665,8	501	976	4465,3
Toplam	26590,3	2928,4	13795,6	5950,6	32437,6	82008,6



Şekil 5.11. Deep Soil Mixing Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temel Fea Analizi

Max zemin gerilmesi: $15,78 \text{ t/m}^2$

Max zemin gerilmesi: 19 t/m^2



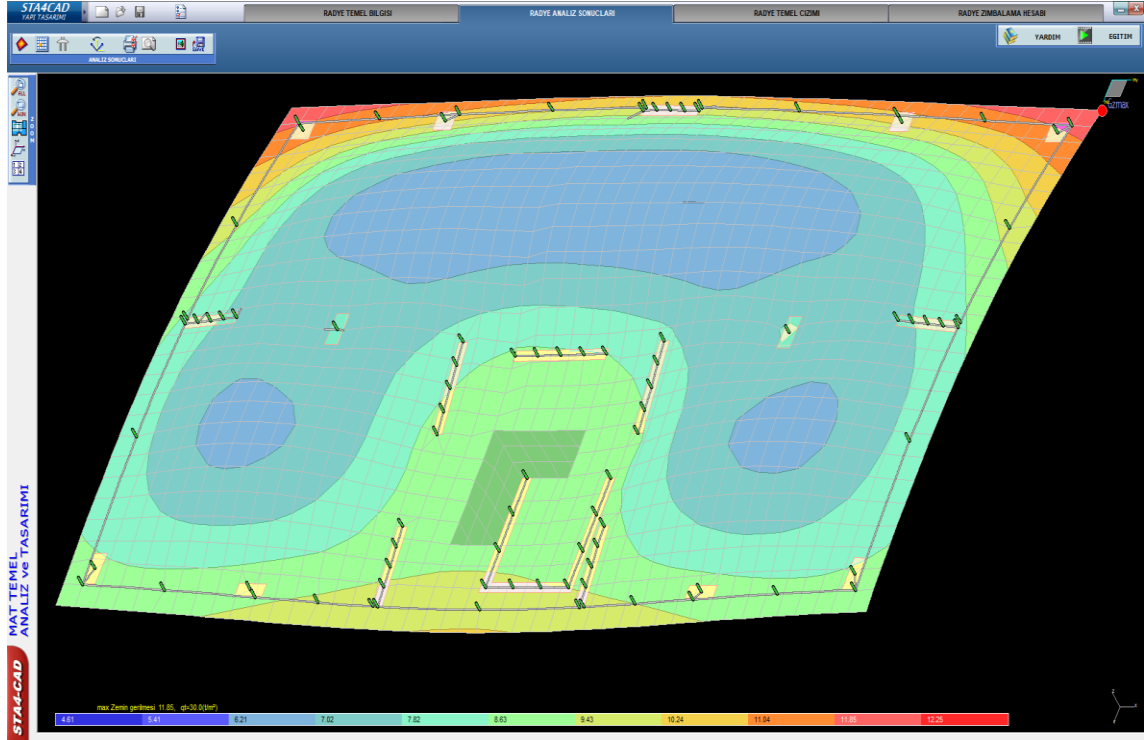
Şekil 5.12. Deep Soil Mixing Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temeldeki Zımbalama Sonucu

Tablo 5.12. DSM Sonrası Beton Metrajı

Kat	Beton	Kalıp
	m ³	m ²
Temel	147,89	63,82
1> Bodrum Kat Döşeme	33,24	221,58
1> Bodrum Kat Kiriş	8,61	67,01
1> Bodrum Kat Kolon	66,18	513,33
1> Bodrum Kat Toplam	108,03	801,93
2> Zemin Kat Döşeme	38,96	259,76
2> Zemin Kat Kiriş	19,38	155,78
2> Zemin Kat Kolon	29,05	244,89
2> Zemin Kat Toplam	87,39	660,43
3> 1. Normal Döşeme	38,97	259,81
3> 1. Normal Kiriş	19,38	155
3> 1. Normal Kolon	24,73	207,1
3> 1. Normal Toplam	83,08	621,91
4> 2. Normal Döşeme	38,97	259,81
4> 2. Normal Kiriş	19,38	155
4> 2. Normal Kolon	24,73	207,11
4> 2. Normal Toplam	83,08	621,91
5> 2. Normal Döşeme	39,25	261,64
5> 2. Normal Kiriş	19,38	155
5> 2. Normal Kolon	24,73	207,1
5> 2. Normal Toplam	83,35	623,74
6> 3. Normal Döşeme	41,79	278,61
6> 3. Normal Kiriş	18,97	146,09
6> 3. Normal Kolon	26,95	225,99
6> 3. Normal Toplam	87,71	650,69
7> Çatı Piyes Döşeme	20,68	146,01
7> Çatı Piyes Kiriş	9,06	71,06
7> Çatı Piyes Kolon	15,3	132,72
7> Çatı Piyes Toplam	45,05	349,8
Toplam	725,56	4394,23

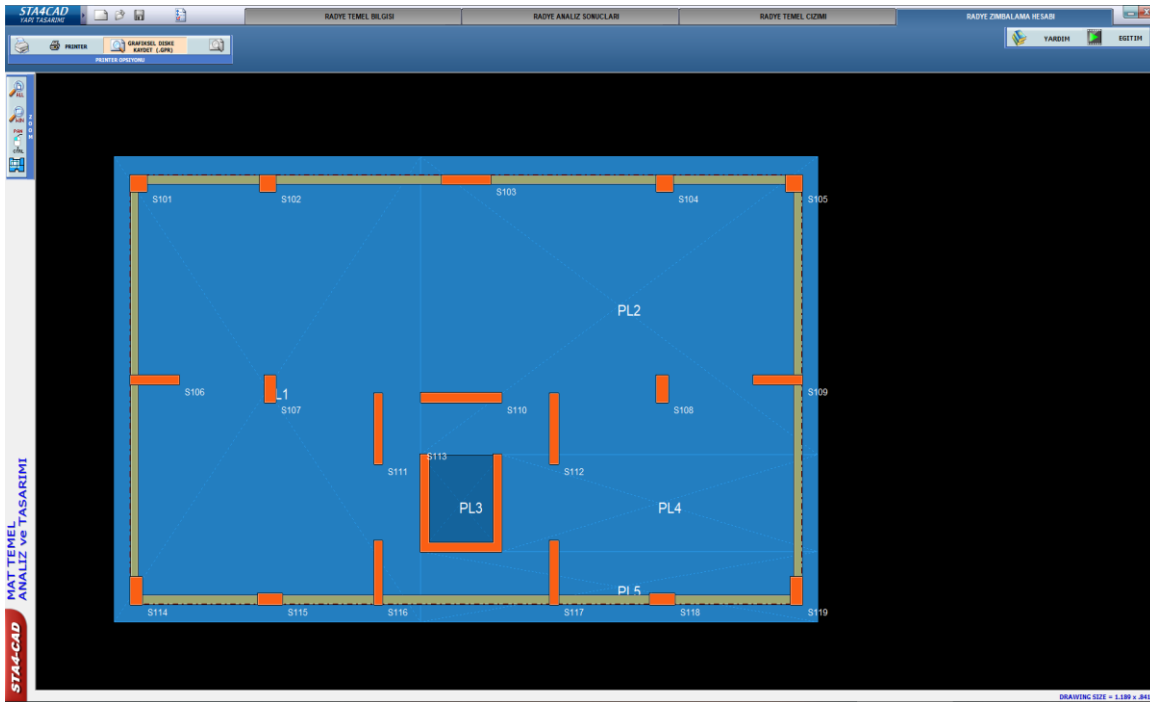
Tablo 5.13. Deep Soil Mixing Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Donatı Metrajı

Kat	ø8	ø10	ø12	ø14	ø16	TOPLAM
No	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Mat Temel	111,7	0	1786,4	464,5	16302,1	15664,7
1> Bodrum Döşeme	1911,1	25,2	13,7	0	0	1950
1> Bodrum Kiriş	366,2	0	495,3	189	0	1050,5
1> Bodrum Kolon	2311,3	583,2	2174,2	0	1975,1	7043,8
1> Bodrum Toplam	4588,7	608,5	2683,1	189	1975,1	10044,3
2> Zemin Döşeme	2148,4	41,5	99,9	0	0	2289,8
2> Zemin Kiriş	766,3	25	997,3	645,1	0	2433,7
2> Zemin Kolon	1620	0	419,2	0	2107,9	4147,1
2> Zemin Toplam	4534,8	66,5	1516,4	645,1	2107,9	8870,6
3> 1. Normal Döşeme	2173,3	162,3	99,9	0	0	2435,5
3> 1. Normal Kiriş	758,1	25,9	988,2	776,3	0	2548,4
3> 1. Normal Kolon	1214,6	0	197	0	2138,4	3550
3> 1. Normal Toplam	4146	188,2	1285,1	776,3	2138,4	8533,9
4> 2. Normal Döşeme	1768,7	583,7	99,9	0	0	2452,3
4> 2. Normal Kiriş	758,1	26,8	957,8	804,2	0	2547
4> 2. Normal Kolon	1217,1	0	396,9	0	1783	3397
4> 2. Normal Toplam	3743,9	610,5	1454,6	804,2	1783	8396,3
5> 2. Normal Döşeme	2174,2	41,5	0	0	50,4	2266,1
5> 2. Normal Kiriş	758,1	26,8	985,3	763,4	0	2533,6
5> 2. Normal Kolon	1206	0	396,9	0	1733,1	3336,1
5> 2. Normal Toplam	4138,3	68,3	1382,2	763,4	1783,6	8135,8
6> 3. Normal Döşeme	2230	178,4	36,7	0	0	2445
6> 3. Normal Kiriş	707,5	70,3	1051,5	596,3	0	2425,6
6> 3. Normal Kolon	1382,7	0	453	0	1614,3	3449,9
6> 3. Normal Toplam	4320,1	248,6	1541,2	596,3	1614,3	8320,6
7> Çatı Piyes döşeme	1108	45	19	0	0	1172,1
7> Çatı Piyes kiriş	332,5	67,5	431,6	477,3	0	1308,9
7> Çatı Piyes kolon	741,9	0	182,7	0	922,5	1847,1
7> Çatı Piyes Toplam	2182,5	112,5	633,4	477,3	922,5	4328,1
Toplam	27766	1903,1	12282,4	4716,1	28626,7	72174,3



Şekil 5.13. Deep Soil Mixing Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temel Fea Analizi

Max zemin gerilmesi: 11,85 t/m² Zemin Emniyet Gerilmesi: 30 t/m²



Şekil 5.14. Deep Soil Mixing Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temeldeki Zımbalama Sonucu

Tablo 5.14. 2022 Yılı Nisan Ayı Güncel Birim Fiyatları

Ürün	Tarih	Birim Fiyat
Demir (Ton)	20.04.2022	16900 ₺
Beton (m ³)	20.04.2022	1000 ₺
Kalıp (m ²)	20.04.2022	130 ₺

Tablo 5.15. DSM Öncesi Ve Sonrası Metraj Değişimi

Uygulama Adı	Demir (ton)	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)	DSM (TL)	Demir (TL)	Beton (TL)	Kalıp (TL)	Toplam (TL)
DSM Uygulaması Öncesi	82008,4	725,56	4395	0 ₺	1.385.935 ₺	725.560 ₺	571.350 ₺	2.682.845 ₺
DSM Uygulaması Sonrası	72170	725,56	4395	105.100 ₺	1.219.767 ₺	725.560 ₺	571.350 ₺	2.621.775 ₺

Yukarıda verilen tablolar doğrultusunda referans alınan yapıdaki kaba inşaat maliyetindeki değişim metraj tabloları ile verilmiştir. Yapılan statik analiz, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılmış olup yapı-temel etkileşimli analiz şekli ile çözümlenmiştir.

Yapılan çalışmada Deep Soil Mixing uygulanmasının, uygulama öncesine kıyasla %6,25 oranında maliyete aşağı yönde etkilediği görülmektedir. Fakat bu maliyet değerlendirmesi yapılır iken DSM kazıklarının yapım maliyeti hariç tutulmuştur. Aşağıdaki tabloda verilen DSM kazıklarının total toplam yapım maliyeti verilmiştir. DSM kazıkları 8 m. uzunluğunda ve 0.4 m çaptadır.

Tablo 5.16. DSM Metrajı

DSM Kazık Sayısı	Çimento (Adet)	Beton (m ³)	Total (TL)
23 Adet	220	92	105.100 ₺

Tablo 5.17. 2022 Yılı Nisan Ayı Güncel Birim Fiyatları

Ürün	Tarih	Birim Fiyat
Çimento (Paket)	20.04.2022	55 ₺
Beton (m ³)	20.04.2022	1000 ₺

DSM imalatı yapılmamış olan yapı maliyeti ve DSM uygulanmış olan yapı maliyeti ile DSM uygulamasının maliyeti toplamının önceki metraja göre yaklaşık farkı 61.000 TL (% 3) daha düşük olduğu hesaplanmıştır. DSM uygulaması zeminlerin ıslah edilmesi gereken yerlerde yapı inşa etme olanakları sağlar. Bu mertebede yapılan değerlendirmeler ile DSM uygulamasının maddi olarak sağladığı büyük avantajlar ve olanaklar doğar.

Genellikle Yalova ilinde sıvılaşma riskinin görüldüğü zeminlerde uygulanan bu yöntem bunun yanında DSM uygulamasının temel altında oluşan gerilmelerde azalmaya sebep olduğu ve bunun yanında düşey taşıyıcı elemanların temele bağlandığı noktalarda zımbalama kontrolünün yetersiz olduğu yukarıdaki görsellerde görülmüştür. Bu durum, neticesinde bu düşey elemanların temel ile kesişen yerlerinde ilave ve aktarma donatılarının oluşmasına sebep olur. Bu husus maliyeti arttıran etkenlerden bir tanesidir.

DSM uygulamasının inşa faaliyetlerinde yönetmeliğine ve projesine uygun olarak inşasının gerçekleştirilmesi yukarıda bahsedilen değerlendirmelerin geçerliliği için önem arz etmektedir.

5.5.2. Fore Kazık Uygulamasının Yapıdaki Maliyet Etkisi

Tablo 5.18. Fore Kazık Öncesi Ve Sonrası Zemindeki Parametre Değişimi

Parametre	Fore Kazık Öncesi	Fore Kazık Sonrası
Zemin Sınıfı	ZE	ZD
Taşıma Gücü	20 ton/m ²	34 ton/m ²
Yatak Katsayısı	1213 t/m ³	2400 t/m ³

İnceleme konusu inşaat alanında yapımı planlanan Bodrum + Zemin + 4. Kat bina için taşıma gücü açısından yeterli temel zemini özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir.

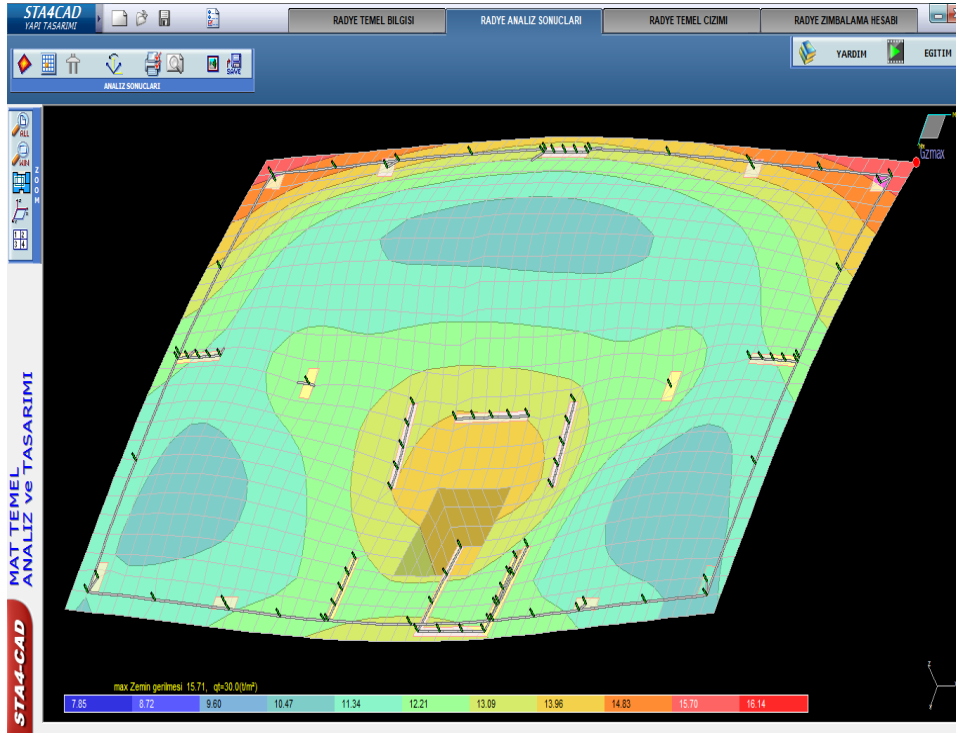
- Kazıklı temel öncesi > $q_t=20\text{t/m}^2$ Kazıklı temel sonrası > $q_t=34\text{ t/m}^2$

İnşa sonrası yapıdan aktarılacak yükler toplam yükler altında temel zemininde meydana gelebilecek oturma miktarının yapıda soruna yol açmayacak düzeyde olduğu belirlenmiştir.

- Toplam Oturma miktarı $=0,044+0,018=0,062 < 0.125$ Yeterli
- Uygulaması sonrası oturma miktarı $=3,27\text{cm}$

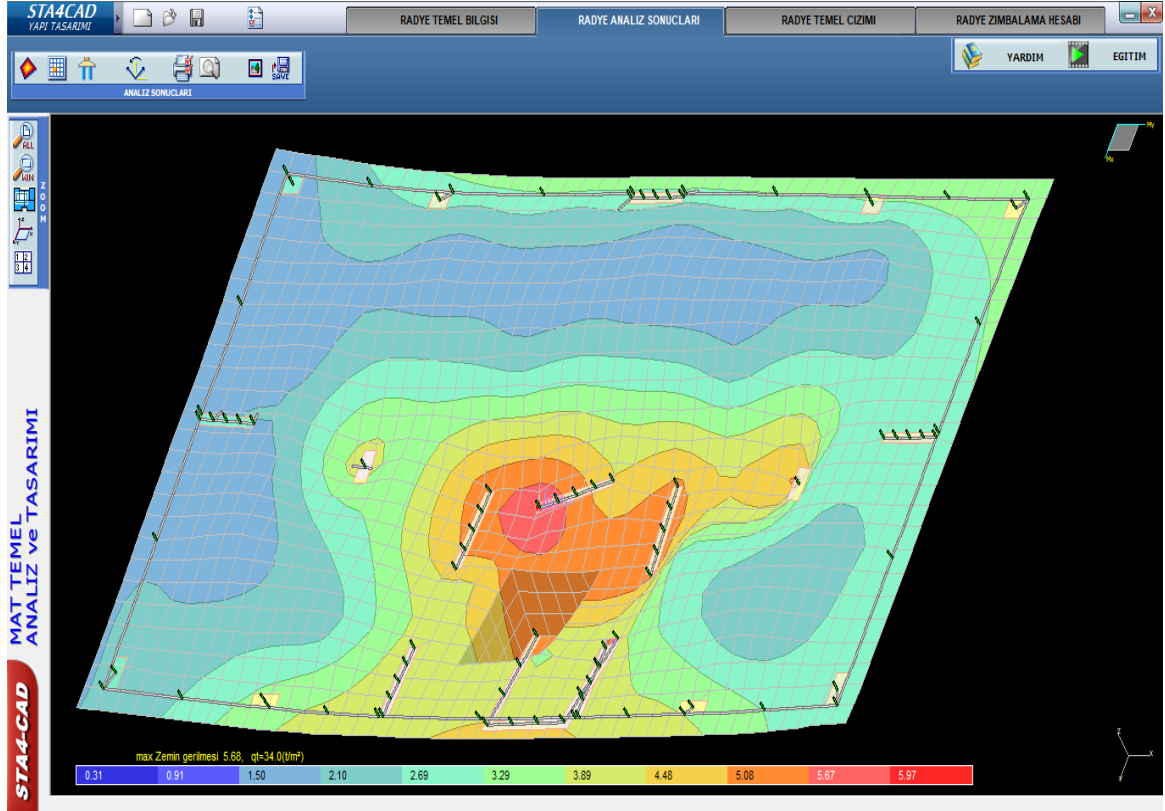


Şekil 5.15. Sta4cad Temel Altı Fore Kazık Modellemesi Görşeli



Şekil 5.16. Fore Kazık Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temel Fea Analizi

Max zemin gerilmesi: 15,71 t/m² ve Max zemin gerilmesi: 30 t/m²



Şekil 5.17. Fore Kazık Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Radye Temel Fea Analizi

Max zemin gerilmesi: 5.68 t/m^2

Zemin Emniyet Gerilmesi: 34 t/m^2

Tablo 5.19. Fore Kazık Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Beton Metrajı

Kat	Beton	Kalıp
	m ³	m ²
Temel	147,89	63,82
1> Bodrum Kat Döşeme	33,24	221,58
1> Bodrum Kat Kiriş	8,61	67,01
1> Bodrum Kat Kolon	66,18	513,33
1> Bodrum Kat Toplam	108,03	801,93
2> Zemin Kat Döşeme	38,96	259,76
2> Zemin Kat Kiriş	19,38	155,78
2> Zemin Kat Kolon	29,05	244,89
2> Zemin Kat Toplam	87,39	660,43
3> 1. Normal Döşeme	38,97	259,81
3> 1. Normal Kiriş	19,38	155
3> 1. Normal Kolon	24,73	207,1
3> 1. Normal Toplam	83,08	621,91
4> 2. Normal Döşeme	38,97	259,81
4> 2. Normal Kiriş	19,38	155
4> 2. Normal Kolon	24,73	207,11
4> 2. Normal Toplam	83,08	621,91
5> 2. Normal Döşeme	39,25	261,64
5> 2. Normal Kiriş	19,38	155
5> 2. Normal Kolon	24,73	207,1
5> 2. Normal Toplam	83,35	623,74
6> 3. Normal Döşeme	41,79	278,61
6> 3. Normal Kiriş	18,97	146,09
6> 3. Normal Kolon	26,95	225,99
6> 3. Normal Toplam	87,71	650,69
7> Çatı Piyes Döşeme	20,68	146,01
7> Çatı Piyes Kiriş	9,06	71,06
7> Çatı Piyes Kolon	15,3	132,72
7> Çatı Piyes Toplam	45,05	349,8
Toplam	725,56	4394,23

Fore kazık uygulaması öncesinde ve sonrasında referans alınan konut binası değişmediğinden dolayı beton metrajında değişiklik meydana gelmeyecektir.

Tablo 5.20. Fore Kazık Öncesi Yapılan Statik Analiz Sonucu Donatı Metrajı

Kat	ø8	ø10	ø12	ø14	ø16	TOPLAM
No	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Mat Temel	90,4	0	1769	436,8	18409,2	20705,4
1> Bodrum Döşeme	1663,7	171,1	286,7	0	0	2121,4
1> Bodrum Kiriş	366,2	0	488	207,3	0	1061,6
1> Bodrum Kolon	2255,7	0	2955,4	0	2391	7602,1
1> Bodrum Toplam	4285,6	171,1	3730,1	207,3	2391	10785,2
2> Zemin Döşeme	2084	41,5	259,9	0	0	2385,4
2> Zemin Kiriş	710,1	106	995,1	845	0	2656,3
2> Zemin Kolon	1657,6	164	419,2	0	2484,2	4725
2> Zemin Toplam	4451,7	311,5	1674,1	845	2484,2	9766,6
3> 1. Normal Döşeme	2062,7	335,2	99,9	0	0	2497,7
3> 1. Normal Kiriş	643,8	155,4	989,3	1111,9	0	2900,4
3> 1. Normal Kolon	1202,1	148	197	0	2397,7	3944,8
3> 1. Normal Toplam	3908,6	638,5	1286,2	1111,9	2397,7	9342,9
4> 2. Normal Döşeme	1768,7	583,7	99,9	0	0	2452,3
4> 2. Normal Kiriş	643,8	156,3	995	1091	0	2886,2
4> 2. Normal Kolon	1204,5	74	197	0	2184,2	3659,8
4> 2. Normal Toplam	3617,1	813,9	1292	1091	2184,2	8998,2
5> 2. Normal Döşeme	2053,1	41,5	251	0	0	2345,6
5> 2. Normal Kiriş	660,4	133,2	1106,3	952,4	0	2852,2
5> 2. Normal Kolon	1230,2	0	396,9	0	1828,8	3750
5> 2. Normal Toplam	3943,7	174,7	1754,2	952,4	1828,8	8653,8
6> 3. Normal Döşeme	2126,6	348,1	170,9	0	62	2707,7
6> 3. Normal Kiriş	635,9	178,5	1000,4	805,2	0	2619,9
6> 3. Normal Kolon	1377,1	123,1	453	0	1704,3	3657,5
6> 3. Normal Toplam	4139,5	649,7	1624,2	805,2	1766,4	8985,1
7> Çatı Piyas Döşeme	1108	45	19	0	0	1172,1
7> Çatı Piyas Kiriş	299,4	123,9	464	501	0	1388,3
7> Çatı Piyas Kolon	746,2	0	182,7	0	976	1904,9
7> Çatı Piyas Toplam	2153,6	168,9	665,8	501	976	4465,3
Toplam	26590,3	2928,4	13795,6	5950,6	32437,6	82008,6

Tablo 5.21. Fore Kazık Sonrası Yapılan Statik Analiz Sonucu Donatı Metrajı

Kat	ø8	ø10	ø12	ø14	ø16	TOPLAM
No	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Mat Temel	83,3	0	1962,9	480,9	14032,4	16559,4
1> Bodrum Döşeme	1681,1	25,2	684	0	0	2390,4
1> Bodrum Kiriş	366,2	0	517,2	154,5	0	1038
1> Bodrum Kolon	2424,8	0	2297,7	0	1761	6483,5
1> Bodrum Toplam	4472,2	25,2	3499	154,5	1761	9911,8
2> Zemin Döşeme	2084	41,5	99,9	0	0	2225,4
2> Zemin Kiriş	766,3	25	1064,8	477,7	0	2333,9
2> Zemin Kolon	1423,5	0	419,2	0	1994,2	3836,9
2> Zemin Toplam	4273,9	66,5	1583,9	477,7	1994,2	8396,1
3> 1. Normal Döşeme	2121,6	162,3	99,9	0	0	2383,8
3> 1. Normal Kiriş	766,3	26,8	915,2	728,6	0	2436,9
3> 1. Normal Kolon	1092,5	0	197	0	2088,5	3378
3> 1. Normal Toplam	3980,5	189,1	1212,1	728,6	2088,5	8198,7
4> 2. Normal Döşeme	1768,7	583,7	99,9	0	0	2452,3
4> 2. Normal Kiriş	758,1	25,9	964,1	706,1	0	2454,1
4> 2. Normal Kolon	1095	0	396,9	0	1733,1	3225,1
4> 2. Normal Toplam	3621,8	609,5	1460,9	706,1	1733,1	8131,5
5> 2. Normal Döşeme	2053,1	41,5	533,5	0	0	2628,1
5> 2. Normal Kiriş	758,1	25,9	1140,3	485,3	0	2409,5
5> 2. Normal Kolon	1083,9	0	396,9	0	1733,1	3214
5> 2. Normal Toplam	3895,1	67,4	2070,7	485,3	1733,1	8251,6
6> 3. Normal Döşeme	2181,8	104,6	36,7	0	89,5	2412,5
6> 3. Normal Kiriş	740,6	25	1037,9	504,6	0	2308,2
6> 3. Normal Kolon	1159,5	0	453	0	1614,3	3226,7
6> 3. Normal Toplam	4081,9	129,5	1527,6	504,6	1703,8	7947,4
7> Çatı Piyes Döşeme	1108	45	19	0	0	1172,1
7> Çatı Piyes Kiriş	332,5	62	436	394,8	0	1225,3
7> Çatı Piyes Kolon	631,5	0	182,7	0	922,5	1736,7
7> Çatı Piyes Toplam	2072,1	107	637,8	394,8	922,5	4134,1
Toplam	26480,6	1194,3	13954,8	3932,4	25968,6	71530,6

Tablo 5.22. 2022 Yılı Nisan Ayı Güncel Birim Fiyatları

Ürün	Tarih	Birim Fiyat
Demir (ton)	20.04.2022	16900 ₺
Beton (m ³)	20.04.2022	1000 ₺
Kalıp (m ²)	20.04.2022	130 ₺

Tablo 5.23. Fore Kazık Uygulaması Öncesi Ve Sonrası Maliyet Değişimi

Uygulama Adı	Demir (ton)	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)	Fore Kazık (TL)	Demir (TL)	Beton (TL)	Kalıp (TL)	Toplam (TL)
Fore Kazık Uygulaması Öncesi	82008,4	725,56	4395	0 ₺	1.385.800₺	725.000 ₺	571.350 ₺	2.680.454 ₺
Fore Kazık Uygulaması Sonrası	71530,6	725,56	4395	338.000 ₺	1.208.867₺	725.000 ₺	571.350 ₺	2.842.350 ₺

Metraj tablolarında görüldüğü gibi referans alınan konut binasındaki fore kazık uygulaması neticesindeki değişimler verilmiştir. Yapılan statik analiz sonucunda fore kazık imalatı öncesinde ve sonrasında temelde meydana gelen emniyet gerilmeleri ve deplasmanlarda önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bunun sonucunda düşey taşıyıcı elemanlarda meydana gelen gerilmeleri azaltıp zımbalama donatıları ve radye temeldeki ilave donatıların azaltılmasında rol oynamıştır.

Yapılan analiz sonucu çizelgelerinde fore kazık uygulamasının %6,57 oranında maliyet avantajı sağladığı görülmüştür. Fakat fore kazık uygulamasında kullanılacak demir ve beton maliyetleri de eklenip değerlendirme yapıldığı aşamada maliyet konusunda değişim gözlenmeyebilir veya iki durum arasındaki fark skalası daralabilir.

Bu durumun yanında yapılan değerlendirme sadece maliyet perspektifinde değil, bu yöntem yapının süre gelen yıllar boyu yaşanması muhtemel olan yer sarsıntılarına karşı stabilitesinin (sıvılaşma riski vb.) devamlılığını sağlaması hususunda önemli bir etkisi olacaktır. Ayrıca Türkiye'deki mevcut imar müdürlüklerinde her il ve ilçenin plan notları farklılıklarından oluşan avantajlar doğabilir. Yalova/Çiftlikköy ilçesinde bulunan konut için fore kazık uygulanma şartı ile yapıda bodrum kat yapılması şartı kaldırılabilir. Bu sayede yapı maliyeti düşürülerek bir ekonomik avantaj görülebilir.

- Fore kazıklarda kullanılan donatı 15.000 t ve beton 24 kazık için 80 m³’ tür.
- Fore kazıklar 40 cm çapa ve 8 m. uzunluğa sahiptir.

Tablo 5.24. Fore Kazık Metrajı

Uygulama Adı	Demir (ton)	Beton (ton)	Demir (TL)	Beton (TL)	Toplam (TL)
Fore Kazık Maliyeti	14,97 ton	85 m3	253.000 ₺	85.000 ₺	338.000 ₺

Fore kazık imalatının yapılmamış olduğu durumdaki yapı maliyeti ve fore kazık yapıldıktan sonraki kazık ve yapı maliyeti toplamının maliyet farkı 161.900 ₺ (%6.05) daha fazla olduğu hesaplanmıştır.

Fore kazık uygulaması zeminlerin ıslah edilmesi gereken yerlerde yapı inşa etme olanakları sağlar.

İnşaat yapılmasına elverişli olmayan zemin tür ve gruplarında yapı yüklerini kolaylıkla ana kayaya aktarmada önemli bir rol oynayarak inşa faaliyetlerinin devamlılığını ve araziden faydalanılmasına imkan sağlar. Bu durum yıllar içerisinde gelişen inşaat teknolojisinin bir ürünüdür.

Fore kazık imalatı sonucunda yapı maliyetindeki etkisi ve kazık imalatı için oluşturulan maliyet tablolarında görüldüğü üzere, yapıda oluşturduğu donatı etkisinin haricinde kazık maliyeti olarak da maliyeti yukarı çekme eğiliminde olduğu görülmektedir. Fore kazık, zemin iyileştirme yöntemi olarak değerlendirilmeyip bir derin temel uygulaması olarak göz önüne alınabilir. Bu yöntem sonucu yapılan değerlendirmeler sadece statik analiz sonucundaki etkisine bakılmayıp, arazi şartlarındaki elverişsizliklere nüfus yoğunluğu sonucu inşa faaliyetinde gerçekleşebilecek lokasyon sıkıntıları ve bunun gibi birçok engeli aşmak için kullanılan temel çeşitidir. Bu sayede dolaylı olarak bunun etkisi maddi olarak geri dönüş sağlayabilmektedir.

5.6. Zemin İyileştirme Tekniği ve Derin Temel eşidinin Yapı Maliyetindeki Etkisinin Değerlendirilmesi

Tablo 5.25. DSM ve Fore Kazık Uygulamalarıyla Yapı Maliyetlerinin Toplam Tablosu

Uygulama Adı	Beton Toplam (m ³)	Demir Toplam (ton)	Kalıp (m ²)	Uygulama Maliyeti (TL)	Beton (TL)	Demir (TL)	Kalıp (TL)	Toplam (TL)
DSM	725,56	72,17	4395	105.100 ₺	725.560 ₺	1.219.767 ₺	571.350 ₺	2.621.775 ₺
Fore Kazık	725,56	71.530	4395	338.000 ₺	725.000 ₺	1.208.867 ₺	571.350 ₺	2.842.350 ₺

Yukarıdaki çizelgede görölen zemin ıslahında kullanılan iki yöntemin yapı inşasında etkisini görölmeye için metraj ve maliyet tablosu oluşturulmuştur.

Bu değerlendirmede referans alınan konut üzerinde yapılan değerlendirmeye göre fore kazık imalatı DSM imalatına kıyasla %7,76 oranında daha maliyetli göröse de fore kazıkların inşa faaliyetlere uygun olmayan zemin koşullarında elverişli olduğunu söylemek mümkün olacaktır. Çünkü yapıdaki statik ve dinamik yük etkilerini ana kayaya aktararak araziden fayda sağlama hususunda etkisi büyük olacaktır. Bu durum dolaylı olarak maddi olanaklar sağlayarak maliyet ve ekonomik olarak inşaat bütçesine fayda sağlayacaktır.

Özellikle Yalova gibi eğimin yüksek olduğu engebeli arazilerde fore kazık imalatı yapının saha stabil kalmasını ve rijit zemin tabakasına yapı yüklerini etkilemek te ana rol oynasa da dsm uygulaması genellikle deniz seviyesine yakın olan yerlerde sıvılaşma risklerini minimum seviyeye indirmekte rol oynayabilir. Bu verilen örnekten de göröldüğü üzere yapı maliyetine dolaylı olarak etkilemekte birçok alanın olduğu söylenebilir.

6. SONUÇ

Yapılan çalışmalar neticesinde Yalova ili Çiftlikköy ilçesinde 2022 yılında uygulanmış olan betonarme konut projesi üzerinde, temel tipleri olan; radye temel, mütemadi temel, tekil temel uygulaması ve bunun yanında zemin iyileştirmesi; Deep Soil Mixing ve derin temel uygulaması olan fore kazık işlemi yapılarak yapıda oluşturduğu maliyet değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme yapılırken maliyet etkisinin yanında bu yöntem ve işlemlerin maliyet olarak tek bir sebep bağlanmayıp başka alanlarda avantaj ve dezavantajlarına sebep olabileceği hususuna da değinilmiştir. Bina taşıyıcı sisteminde kullanılan malzemelerin yıllara göre fiyat değişkenliğine sahip olduğu göz önünde bulundurularak, ele alınan veriler sonucundaki değerlendirilmeler yıllara göre değişkenlik gösterir.

-Sta4cad statik analiz programı ile betonarme konutta statik analizi ile maliyet analizi yapılmıştır. Farklı temel tiplerinde yapılan değerlendirmelerde sürekli (mütemadi) temel tercihi, radye temel sistemi uygulanmasına kıyasla %12 seviyelerinde bir maliyet artışına sebep olmuştur. Bununla birlikte tekil temel sisteminin, radye temel sistemine kıyasla %18,50 oranında, tekil temel sistemi seçimi, sürekli (mütemadi) temel sistemine oran ile ise %5,85 oranında maliyet artışına sebep olmaktadır. Bu maliyet farkları oluşumunda, temelde oluşan gerilmelerin ve metrekareye düşen yük miktarının lineer bir şekilde zemine aktarılıp aktarılmaması etkili olmuştur.

-Yapılan çalışmada Deep Soil Mixing uygulanmasının, uygulama öncesine kıyasla %6,25 oranında maliyet aşağı yönde etkilediği görülmektedir. Fakat bu maliyet değerlendirmesi yapılır iken Dsm kazıklarının yapım maliyeti hariç tutulmuştur. Dsm imalatı yapılmamış olan yapı maliyeti ve Dsm uygulanmış olan yapı maliyeti ile dsm uygulamasının maliyeti toplamının önceki metraja göre farkı 61.000 TL (% 3) daha düşük olduğu hesaplanmıştır.

-Fore kazık imalatının yapılmamış olduğu yapı maliyeti ve fore kazık yapıldıktan sonraki kazık ve yapı maliyeti toplamının maliyet farkı 161.900 ₺ (%6.05) daha fazla olduğu hesaplanmıştır.

-Değerlendirilen çalışmalar sonucunda fore kazık imalatı ve DSM uygulaması arasında yaklaşık %7,76 oranında maliyet farkı açığa çıkmıştır. Bu durum daha maliyetli görünse de fore kazıkların inşa faaliyetlere uygun olmayan zemin koşullarında elverişli olduğunu söylemek mümkün olacaktır. Yapı ve deprem yüklerini rijit ve stabilitesi yüksek olan ana kayaya aktaran fore kazık sistemi araziden fayda sağlama hususunda etkisi büyük olacaktır.

-Uygulama yapılması sonrası değişen zemin değerleriyle birlikte yapıda kullanılan olacak olan donatı miktarı azalmakla beraber, yöntemin uygulama ve günümüz şartlarındaki uygulama maliyetleri göz önüne alındığında uygulama öncesine kıyas ile yakın sonuçlar elde edilebilir. Fakat inşa edilen yapıda optimum tasarım kurallarını ve şartlarının oluşması için projelendirilen alandaki zemin parametrelerinin belirli bir sınır değerlerinin üzerinde olması gerekir.

Bu durum çizim aşamasında yapıdaki düşey ve yatay elemanlardaki kesit yetersizliklerin ortadan kaldırarak kesitlerin aşırılığa kaçmamasını sağlayacak ve yapıyı kullanım alanı ve kullanılabilirlik açısından da öne taşımakta etkili olacaktır.

Günümüzde gelişen inşaat teknolojisi ile birlikte yapı inşasında kullanılan çimento ve betondaki yüksek maliyet, çevreye olumsuz etkileri göz önünde bulundurulduğunda alternatif olabilecek malzeme seçimleri ihtiyacı açığa çıkmaktadır. Dünyadaki CO₂ gazı salımının %5-10'luk payı elinde bulunduran çimento endüstrisi çevresel protokoller ve anlaşmalarda gündeme gelmiştir.

KAYNAKÇA

Afet Ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, [Erişim: 19.04.2022 <https://www.turkiye.gov.tr/>]

Ayan E. (2009). *Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri Ve Uygulamadan Örnekler*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aydın E., Uygur E. (2005). Kongre Sempozyum Bildiriler Kitabı Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi. “*Zemin Etüdünün Önemi Ve Zemin-Yapı Etkileşimi Üzerine Bir Ön Araştırma*” 2005.

Bengt B.Broms (1991) *Symposium On Geotechnical Engineering*, editör: Kai Sin Wong, Jian Zhao, Anthony Goh, 1991 Sardis Barajı Dolgusunun Memba Yüzeyine Çakılan Kompaksiyon Kazıkları.

Braja, M., D., 1999, “*Principles of Foundation Engineering*” 4th Edition, PWS Publishing, USA.

Coduto Donald. P. (2001) *Foundation Design Principles And Practices*, İn Prentice-Hall İnc. Upper Saddle River, New Jersey.

Çimen Ö., Türkmen M. Urhan A. (2015) “3 Az Katlı Bir Yapıdaki Farklı Oturma Problemine Ait Vaka Analizi” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Araştırma Makalesi AKÜ FEMÜBİD 15 015601 (1-10)

Dikmen Ü., Özek S. (2011) İMO Teknik Dergi, “*Deprem Bölgelerinde Zemin Sınıfının Sanayi Yapılarının Maliyetine Etkisi*” 2011

Genç Y. (2014) Ulusal Tez Merkezi, “*Farklı Deprem Bölgeleri’nde İnşa Edilecek Konut Binalarının Maliyet Analizi*” [Erişim:12.11.2021 <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>]

GHABAE (2015). *Kireç İle Stabilize Edilmiş Bentonitin Kür Süresinin Mukavemet Üzerindeki Etkisi* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Görgün B. (2018) “*Kil Zeminlerde Dinamik Davranışın Belirlenmesi*” Ulusal Tez Merkezi [Erişim: 24.03.2022 <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>]

Gündüz Z., Arman H. (2005) “*Zemin Davranışına Uygun Yapı Tasarımı İlkeleri Ve Uygulanabilirliği*” [Erişim: 01.02.2022 Deprem Sempozyumu 2005, www.researchgate.net] , Kocaeli

- Kramer Steven L.** (2003) *Geoteknik Deprem Mühendisliği* Fersa Matbaası, Temmuz.
- Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)** MTA Jeoloji Araştırmaları *Diri Fay Ve Paleosismoloji Araştırmaları* (2022) [Erişim: 05.05.2022 <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>]
- Önalp A.** (1983) İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi: Cilt II (2) , *Isıtma Metodu İle Mukavemet Artışı*, Karadeniz Üniversitesi, 1983.
- Önalp, A.**, 1983, “*Geoteknik Bilgisi*”, Cilt 2, K.T.Ü., Trabzon.
- Özaydın K.** (2005) *Zemin Mekaniği* ,Birsen Yayınevi.
- Özaydın, K.**, (2012), “*Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği*”, On dördüncü Ulusal Kongresi(ZM14) 4-5 Ekim 2012, İstanbul.
- Prof. Dr. Hasan ÇETİN** (2016) , Çukurova Üniversitesi, “*Zemin Islah Yöntemleri*”, [Erişim: <https://abs.cu.edu.tr/Dokumanlar> ,19.12.2021]
- Robert W. Day.** (2004) “*Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı*” (Çev.) Mollamahmutoğlu, Kayabalı. Ankara. Gazi Kitapevi.
- Selçukhan O., Ekinci A.** (Nisan 2021) “*Zemin İyileştirme Yöntemleri Ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi*” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 23, S. 481-496
- Utkan U.** (2014) Ulusal Tez Merkezi “*Tarihi Yapılarda Karşılaşılan Geoteknik Problemler Ve Uygulanan Zemin İyileştirme Yöntemleri*” [Erişim: 04.01.2022, <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>]
- Uzuner B.A.** (2007) *Temel Zemin Mekaniği*, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Tunç, A.**, (2002), “*Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları*” Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Turhan M.** (2018) “*Farklı Temel Tipleri İçin Betonarme Siloların Zemininde Oluşturduğu Etkilerin Plaxis Programı İle Belirlenmesi*” YÖK Açık Bilim, Iğdır Üniv. , Fen Bilimleri Enstitüsü 2018
- Türk Standartları Enstitüsü (TS500)**, *Betonarme Temeller-Duvar Altı Temeller*, Şubat 2020.
- Yalova Valiliği** (2022), *İlin Coğrafi Konumu, Bitki Örtüsü ve İklimi* [Erişim: 05.05.2022 <http://www.yalova.gov.tr/>]