

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLEN BİR ZEMİNİN
TAŞIMA GÜCÜNÜN TEORİK VE SAYISAL OLARAK
KARŞILAŞTIRILMASI**

Hüsna GÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ERDEM

TUNCELİ- 2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLEN BİR ZEMİNİN TAŞIMA
GÜCÜNÜN TEORİK VE SAYISAL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Hüsna GÜL
(200150029)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ERDEM

TUNCELİ- 2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ENJEKSİYON YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLEN BİR ZEMİNİN TAŞIMA
GÜCÜNÜN TEORİK VE SAYISAL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

Hüsna GÜL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 11/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi
Abdullah İÇEN
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

İmza

Dr. Öğr. Üyesi
Özlem ERDEM
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza

Doç. Dr.
Ayşe Didem KILIÇ
(Fırat Üniversitesi)

ÜYE

Bu yüksek lisans tezi, Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

12/02/2024

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Enjeksiyon Yöntemi İle İyileştirilen Bir Zeminin Taşıma Gücünün Teorik Ve Sayısal Olarak Karşılaştırılması” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadar ki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’ da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

İmza
Hüsna GÜL

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ERDEM

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada taşıma gücü zayıf ve sıvılaşma riski yüksek olan bir zeminde yapılması planlanan bir yapı olması sebebiyle zeminde iyileştirme yapılmış, iyileştirme sonrası zeminin taşıma gücü hesaplanmış ve modellenmiştir. Çalışmayı yürütürken her türlü imkânı sağlayan değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özlem Erdem hocam ve Arş. Gör. Abdullah İçen hocama teşekkür ederim. Öğrenim hayatım boyunca her zaman beni destekleyen ve varlıklarını her daim hissettiğim başarılarımın en büyük kaynağı olan aileme çok teşekkür ederim. Özellikle yüksek lisans yapmam konusunda beni teşvik eden ve desteğini her anlamda esirgemeyen hayattaki başarılarımın en büyük destekçisi annem Remziye Gül'e çok teşekkür ederim.

Hüsna GÜL
TUNCELİ-2024



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VII
RESİMLER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Zemin İyileştirme	3
1.2. İyileştirmeyi Gerektiren Zeminler	4
1.3. Zeminleri İyileştirmenin Amaçları	5
1.4. Zemin İyileştirme Yöntemleri	6
1.4.1. Forekazıklar	8
1.4.2. Taş kolon metodu	9
1.4.3. Enjeksiyon metodu	11
1.4.4. Jet grouting	15
1.4.4.1. Jet grouting yöntemi tarihçesi	15
1.4.4.2. Jet grout tekniğini kullanma amacı.....	16
1.4.4.3. Jet grout tekniğini kullanma alanları	16
1.4.4.4. Jet grout yöntemi avantajlar ve dezavantajlar	17
2. ÇALIŞMA SAHASI HAKKINDA BİLGİLER	19
2.1. Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler.....	19
2.2. Yapı Hakkında Bilgiler.....	19
2.2.1. İmar adası ile ilgili bilgiler	20
2.2.1.1. Bölgenin depremselliği.....	20
2.2.1.2. Elazığ ili ve çevresi depremselliği ve deprem tehlike analizi	23
3. MEVCUT ZEMİN ARAŞTIRMALARI	28
3.1. Spt (standart penetrasyon deneyi) Donelerinin Düzeltmesi	29
4. YAPI İLE ZEMİN ARASINDAKİ ETKİLEŞİMİN ARAŞTIRILMASI	32
4.1. Temel Sistemine Bağlı Olarak Geoteknik Çözümleme ve Değerlendirmeler.....	32
4.2. Planlanan Temel Sistemleri.....	32
4.2.1. Yüzeysel temeller	32
4.2.1.1. Radye temel	33
4.3. Taşıma Gücü Analizi	34
4.3.1. Zeminin mevcut şartlarda oturma hesapları	38
4.3.2. Yeraltı suyu ve drenaj tedbirleri	39
5. ZEMİN ORTAMININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE GEREKÇE.....	41
5.1. Enjeksiyon Uygulaması ile Zemin İyileştirme Hesapları.....	41
5.1.1. Enjeksiyonlarda kullanılacak malzemeler	41
5.1.1.1. Çimento	41
5.1.1.2. Bentonit	42
5.1.1.3. Kum	43
5.1.1.4. Su	44
5.1.1.5. Katkı maddeleri	45

5.1.1.6. Kalafat malzemeleri.....	45
5.2. İyileştirme Sonuçlarının Değerlendirilmesi	48
6. ZEMİNİN İYİLEŞTİRME SONRASI TAŞIMA GÜCÜ HESABI	50
6.1. Zeminin Mevcut Şartlarda Oturma Hesapları	50
7. SONLU ELEMANLAR METODU VE PLAXIS 2D FOUNDATION	52
8. ANALİZ VE ÇIKTILAR.....	54
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
10. KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ	72



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Fore kazık yapım aşamaları (URL-1, 2021)	9
Şekil 1.2.	Taş kolon yapım aşamaları (URL-2, 2021)	10
Şekil 1.3.	Enjeksiyon teknikleri (Akan, 2013).....	12
Şekil 1.4.	Jet enjeksiyon işlemi (URL-5, 2020).....	16
Şekil 1.5.	Zemin cinsine göre uygulanabilecek ıslah yöntemleri (Şişman, 2013).....	18
Şekil 2.1.	Türkiye Deprem Tehlike Haritası (URL-11,2023).....	21
Şekil 2.2.	Elazığ ve çevresine ait tektonik harita (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006).....	22
Şekil 2.3.	Yatay ve düşey tasarım spektrumu (URL-8).....	27
Şekil 3.1.	SPT düzeltme katsayıları	30
Şekil 4.1.	Radye temel (URL-7, 2021)	34
Şekil 4.2.	Vesic (1973) taşıma gücü modeli	35
Şekil 4.3.	Temeller için alınması gereken drenaj önlemleri	40
Şekil 5.1.	Çimento görseli (URL-8, 2021).....	42
Şekil 5.2.	Bentonit görseli (URL- 9,2021).....	43
Şekil 5.3.	Enjeksiyon kumu (URL-10, 2020)	44
Şekil 5.4.	İnşatta kullanılan su (URL-12, 2020)	44
Şekil 5.5.	İyileştirme öncesi ve sonrası SPT vuruş sayıları değişimi	49
Şekil 7.1.	Plaxis ile Analizde Kullanılan Elemanlar, Düğüm Noktaları ve Gerilme Noktaları(Osmanoğlu, 2007).	53
Şekil 8.1.	Plaxis programı giriş ekranı.....	54
Şekil 8.2.	Plaxis programına temel yapısı tanımlanması	54
Şekil 8.3.	Plaxis programına temel yapısını özelliklerinin tanımlanması.....	55
Şekil 8.4.	Plaxis programı çizim komutu etkinleştirilmesi	55
Şekil 8.5.	Yapının oturacağı zeminin oluşturulması	56
Şekil 8.6.	Zemin tabakalarının oluşturulması	56
Şekil 8.7.	Zemin tabakalarının özelliklerinin oluşturulması	57
Şekil 8.8.	Zemin tabakalarından kil tabakasının özelliklerinin tanımlanması	57
Şekil 8.9.	Zemin tabakalarından kil tabakasının özelliklerinin tanımlanması	58
Şekil 8.10.	Zemin tabakalarından kum tabakasının özelliklerinin tanımlanması.....	58
Şekil 8.11.	Zemin tabakalarından kum tabakasının özelliklerinin tanımlanması.....	59
Şekil 8.12.	Radye temel özellikleri tanımlanır	59
Şekil 8.13.	Deplasmanın oluşacağı alanda sabitleme işlemi yapılır	60
Şekil 8.14.	Generate mesh işlemi tabakaların deplasman miktarı gözlemlenir.....	60
Şekil 8.15.	Yeraltı su seviyesi tanımlanır.....	61
Şekil 8.16.	Meydana gelen efektif gerilmeler gösterilmektedir	62
Şekil 8.17.	Deformasyonların hesaplanma aşaması	62
Şekil 8.18.	Deformasyonların hesaplama sonrası deformasyonun mesh görüntüsü	63
Şekil 8.19.	Deformasyonların hesaplama sonrası deformasyonun mean shadings görüntüsü	63
Şekil 8.20.	İyileştirme yapılan zemin tabakasına yayılı yük ve temel tabakasının tanımlanıp standart fixies işlemi yapılması.	65
Şekil 8.21.	İyileştirme yapılan zemin tabakasının özelliklerinin tanımlanması.....	65
Şekil 8.22.	İyileştirme yapılan zemin tabakasının özelliklerinin tanımlanması.....	66
Şekil 8.23.	İyileştirme yapılan zemin tabakasına yeraltı su seviyesi tanımlanması.....	66
Şekil 8.24.	Generate mesh işlemi iyileştirilen tabakalarda deplasman miktarı gözlemlenir.	67

Şekil 8.25. İyileştirme işlemi uygulanmış zemin tabakalarında meydana gelen efektif gerilmeler gösterilmektedir.....	67
Şekil 8.26. İyileştirme işlemi uygulanmış zemin tabakalarında meydana gelen total gerilmeler gösterilmektedir.....	68
Şekil 8.27. İyileştirilen zeminde deformasyonların hesaplama sonrası deformasyonun mean shadings görüntüsü.....	68



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Zemin iyileştirme yöntemleri	8
Tablo 2.1. Yapı hakkında bilgiler	20
Tablo 2.2. Yapı tasarım sınıfı bilgileri	20
Tablo 2.3. Dünya üstünde meydana gelen depremlerin büyüklükleri ile yıllık oluşum sayısı	22
Tablo 2.4. Yerel Zemin Sınıflamaları (TBDY-2018 alınmıştır).....	23
Tablo 2.5. Tehlike haritası değerleri	24
Tablo 2.6. İnceleme alanının yer hareket değerleri.....	24
Tablo 2.7. Bina Yükseklik Türleri ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (TBDY-2018 alınmıştır)	25
Tablo 2.8. Deprem Tasarım Sınıfları(TBDY 2018 den alınmıştır).....	25
Tablo 2.9. Kısa periyot alanı için yerel zemin etki katsayıları (URL-8)	26
Tablo 3.1. Veri toplama işlem ve sunumu	29
Tablo 3.2. α ve β katsayıları.....	30
Tablo 3.3. Düzeltilmiş SPT vuruş sayıları(Geçerli geoteknik rapordan alınmıştır)	31
Tablo 4.1. Yüzeysel temel türleri için dayanım katsayıları	33
Tablo 4.2. Taşıma gücü ve yatak katsayıları.....	38
Tablo 5.1. Enjeksiyon şerbetleri ve karışım miktarının oranları(Geçerli geoteknik rapordan alınmıştır)	45
Tablo 5.2. Enjeksiyon karışımları özgül ağırlıkları	47
Tablo 5.3. İyileştirme öncesi ve sonrası SPT vuruş sayıları değişimi(Geçerli geoteknik rapordan alınmıştır).	48
Tablo 8.1. İyileştirme sonrası elde edilen veriler (Geçerli geoteknik rapordan alınmıştır)64	

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1. Araştırma sondaj kuyuları imalat aşamaları (Geçerli olan geoteknik rapordan alınmıştır)	13
Resim 1.2. Delgi işlemi esnasında ve delgi işlemi sonrasında (URL-3, 2020).....	13
Resim 1.3. Enjeksiyon imalat işlemi (URL-4, 2020).....	14



KISALTMALAR LİSTESİ

CD	: Konsolidasyonlu Drenajlı
Cot	: Cotanjan
CU	: Konsolidasyonlu Drenajsız
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
SPTN	: Düzeltilmiş Standart Penetrasyon Değeri
Tan	: Tanjan
UU	: Konsolidasyonsuz Drenajsız
Y.A.S	: Yeraltı Su Seviyesi
$a_1, a_2, a_3,$	: Taşıma gücü katsayıları
B	: Temel genişliği
b_x, b_y	: Temel pabuç boyutları
c	: Kohezyon
c_u	: Direnajsız kayma direnci
D, Df	: Temel derinliği
D_i	: Deneysel taşıma gücü değerleri
F	: Sürtünme kuvveti
$K_{p\gamma}$	: Pasif toprak basıncı katsayısı
k_1, k_2	: Temel ebatlarına bağlı şekil faktörü
L	: Temel boyu
n	: Örnek sayısı
N	: Temel tabanında temel genişliği kadar derinlikteki SPT N değerinin ortalaması
N_c, N_q, N_γ	: Taşıma gücü faktörleri
P	: Örtü basıncı, sürşarj yükü
P_i	: Öngörülen taşıma gücü değerleri
P_p	: Pasif kuvvet
P_o	: Efektif örtü basıncı
S	: Oturma
V_s	: Kayma dalga hızı
q_a, q_d	: Güvenli taşıma gücü
q_u	: Tek eksenli basınç mukavemeti
sc, sq, sγ	: Şekil faktörleri
dc, dq, dγ	: Derinlik faktörleri
ic, iq, iγ	: Eğim faktörleri
bc, bq, bγ	: Taban eğim faktörleri
gc, gq, gγ	: Zemin eğim faktörleri
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
γ	: Birim hacim ağırlık
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık
γ_1	: Temel tabanı üstündeki zeminin birim hacim ağırlığı
γ_2	: Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı

ÖZET

Ülkemizde meydana gelen depremler sebebi ile yapıların genel inşaa kurallarını belirlemekle yetkili, çevre ve şehircilik ve iklim değışikliğı bakanlığı, genel olarak yapıların dizayn ve yapım için gerekli kuralları bulunduran talimatlar ile standartlarında düzenlemeler getirerek deprem yüküne karşı dayanıklı yapıların inşaa edilmesini amaçlamaktadır. Bu amaç kapsamında 2007 senesinde ‘deprem bölgelerinde inşaa edilecek binalar hakkında esaslar’ yönetmeliğinde karar kılmış ve yayınlamıştır. Yönetmelikte, inşaa yapılmış durumda bulunan binaların zemin niteliklerinin nasıl belirlenmesi gerektiğı maddeler kapsamında belirtilmektedir. Bu durumda, zeminlerin sınıfları yük taşıma kapasitesi bakımından en yüksek seviyeden en düşük seviyeye doğru sıralandığında a, b, c, d olarak kategorize edilmiştir. Yerel zemin grupları ise zemin tabakasının en üst yüzeyindeki tabakanın kalınlığına ve zemin türünde ise z1, z2, z3 ve z4 olarak açıklanmaktadır. Yönetmelik verilerinde ise hâlihazırda bulunan veya yeni inşaa edilecek yapılarda zemin tetkik raporunun hazırlanması uygun bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında yakın zamanda doğu Anadolu fayındaki harekete bağılı olarak Malatya-Elazığ merkez üssü gerçekleşen deprem sonucunda depreme dayanıksız olduğu tespit edilen binaların hızla yenilenmesine dayanıklı yapıların inşaa edilmesi hızlanmıştır. Güçlü yapıların elde edilmesi gerekliliklerinin en başında yapıların yükünü zemine aktarmakta kullandığımız temeller ve en önemlisi ise zeminlerin taşıma gücüdür.

Günümüzde meydana gelen hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme oranının artması, Türkiye’de yapı sahalarının hızlı bir şekilde bitmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, her yeni gün yeni imar alanlarının kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir (Özdemir, A. ve Özdemir, M., 2006). Nüfus oranının artması ile birlikte yıpranmakta olan doğaya olan duyarlılığında artması, durumunda imara açılabilme ihtimali olan yeni alanlar, endüstri bölgelerine göre ve çevresinde bulunması gereken yapılar için uygun sahaların var olma durumu sürekli olarak daralmaktadır. Bu durum neticesinde mühendislik hizmetini en iyi verimle kullanabilmesi açısından, özellikleri bakımından yetersiz zeminlerin bulunduğu bölgeler kullanılması zorunlu duruma gelmiştir. Bu tür zeminler üzerinde oluşacak yapılaşma, taşıma kapasitesi, oturma, yer altı su durumu ile zemin niteliklerine bakımından sınılaşma gibi mühendislik sorunlarını gündemde olmasına neden olmaktadır. Bu hususta taşıma kapasitesi yetersiz zeminlerin kullanılabilme durumuna getirilebilmesi uygun ıslah yöntemleri kullanarak sağlanması hem daha ekonomik hem de çevreye duyarlı bir seçenek olmaktadır. Bu tez kapsamında Elazığ ili merkez mahallesinde bulunan yapının yapılacağı zemin üzerinde gerekli değerlendirmeler yapılarak zemini, yapıyı güvenli bir şekilde taşıyacak ve bölgenin tektonik yapısında göz önünde bulundurarak depreme dayanıklı bir yapı, zemin oluşturulmaya çalışılmış gerekli deney ve çalışmalar yapılmış elde edilen veriler neticesinde uygun bulunan zemin iyileştirme metodu kullanılarak zemin iyileştirilmiş, taşıma gücü, sınılaşma vb. riskler göz önünde bulundurularak öncesi ve sonrasında gerekli hesaplamalar yapılmış sonlu elamanlar metodu kullanılarak modellenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirme, zemin, sonlu elemanlar, enjeksiyon, jet grout modelleme.

ABSTRACT

The Bearing Capacity of a Ground Improved By The Injection Method

The Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, which is authorized to determine the general construction rules of buildings due to earthquakes that occur in our country, aims to build structures that are resistant to earthquake loads by introducing instructions and standards that contain the necessary rules for the design and construction of buildings in general. Within the scope of this purpose, the regulation "Principles on buildings to be constructed in earthquake zones" was decided and published in 2007. In the regulation, it is stated within the scope of the articles how the soil qualities of the already constructed buildings should be determined. In this case, the classes of soils are categorized as a, b, c, d, ranked from the highest level to the lowest level in terms of load-bearing capacity. Local soil groups are defined according to the thickness of the layer on the top surface of the soil layer and the soil type as z1, z2, z3 and z4. According to the regulation data, it is appropriate to prepare a ground investigation report for existing or newly constructed structures.

Within the scope of this thesis study, the rapid renovation of buildings that were found to be earthquake-proof as a result of the earthquake that occurred recently in Malatya-Elazığ epicenter due to the movement in the Eastern Anatolian Fault, and the construction of resistant structures has accelerated. The most important requirement for obtaining strong structures is the foundations we use to transfer the load of the structures to the ground, and most importantly, the bearing capacity of the ground.

Today's rapid population growth and the increase in the rate of industrialization and urbanization cause the rapid completion of building sites in Turkey. For this reason, every new day makes it necessary to use new zoning areas (Özdemir, A. and Özdemir, M., 2006). With the increase in the population rate, the sensitivity to the worn-out nature increases, the availability of suitable areas for new areas that may be opened for development in case of development, and the structures that should be located in and around industrial zones is constantly decreasing.

As a result of this situation, in order to use engineering services with the best efficiency, it has become necessary to use regions with inadequate soils in terms of their properties. Construction on such soils causes engineering problems such as liquefaction, bearing capacity, settlement, groundwater status and soil qualities to be on the agenda. In this regard, bringing soils with insufficient bearing capacity into usable condition by using appropriate reclamation methods is both a more economical and environmentally friendly option.

Within the scope of this thesis, necessary evaluations were made on the ground on which the building in the central neighborhood of Elazığ province will be built, and an earthquake-resistant structure and ground was tried to be created, which would support the structure safely and taking into account the tectonic structure of the region. Necessary experiments and studies were carried out, and ground improvement was found appropriate as a result of the data obtained. By using the method, the soil was improved, bearing capacity, liquefaction etc. Necessary calculations were made before and after, taking into account the risks, and it was modeled using the finite element method.

Key Words: Ground improvement, soil, finite elements, injection, jet grout modeling.

1. GİRİŞ

Günümüzde; artan nüfus miktarı ve yükselen hayat standartları gereği, kentleşme miktarında artması binaların, enerji ve tüketime bağlı olan gereksinimleri daimi bir şekilde artmaktadır. Bu gereksinimlerin karşılanması amacıyla inşa edilmesi planlanan mühendislik yapıları için, arazilerin aşırı değerlendirilmesi, yeni bina alanları, büyük çaplı endüstri bölgeleri ve küçük çaplı sanayi kuruluşlarının kurulması için büyük alanların sağlanması her geçen gün zor hale gelmektedir.

Bu sebepler; insanları, bataklık arazilere, dere yatakları, dolgu ile oluşturulacak alanlar, döküm için kullanılabilir alanlar vb. mühendislik yapıları bakımından pek de uygun olmayan alanları kullanıma açmaya zorlamıştır. Sonuç olarak; özellikle 1950'lerden sonra zeminlerin iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi geoteknik mühendisliğinin en önemli çalışma sahalarından biri olmuştur. Türkiye' de zemin iyileştirmenin önemi, projelerin ekonomik açıdan etkisi anlaşılmış ve son yıllarda bu alandaki araştırmalar ve uygulamalar yaygınlaşmıştır.

Bu sebeple, mühendislik yapılarının inşasına ve mevcut olan yapıların güçlendirilmesine başlamadan önce, binanın üzerine konumlanacağı zemin iyi değerlendirilmeli ve gerekli görülmesi durumunda uygun zemin iyileştirme yöntemi ile rehabilite edilmelidir. Bu kapsamda, proje uygulama öncesi yapılan zemin etütleri, binanın ağırlığı ve çevresel etkilere karşı yetersizlik gösteriyor ise, zemini iyileştirerek mekanik dayanım değerlerinin yükseltilmesi ve güvenli hale getirilmesi hedeflenmektedir. Başka bir deyişle zeminin taşıma kapasitesi ve elastisite modülünün artırılması ve geçirgenliğinin azaltılması amaçlanmaktadır. Yapının üzerine konumlandığı zeminin, taşıma kapasitesi ve oturma açısından yeterli değilse yapılabilen en ekonomik ve kolay çare, temel sistemini taşıma gücü açısından zayıf zemin yapısına göre tasarlamaktır. Zayıf zeminler üstünde bulundurulacak yapılar için tercih edilecek temel türünün yapıdan gelecek yük miktarını zemine homojen bir şekilde dağıtılması amacıyla dayanarak Radye(jeneral) temel dizaynı tercih edilebilir. Jeneral sistemi ile yapıdan gelen yükler zemine homojen ve güvenli bir şekilde taşınması olanaklı gözüküyorsa kazıklı (derin) temel tasarımı seçilebilir. Bu tez çalışması kapsamında deprem etkisine maruz kalmış ve artık deprem yüküne karşı dayanıksız olarak tespit edilen yapı yıkılarak yerine yeniden inşa edilecek Elazığ ili merkez mahallesinde 'Konut' olarak planlanmıştır. Proje Bodrum+Zemin+4 Kat olacak şekilde tek

blok halinde betonarme olarak inşa edilecektir. Parselde temel alanı yaklaşık 450 m² olan 5 katlı yapı yapılacaktır.

Konut yapılacak zemin üzerinde zemin etütleri yapılmış ve binanın temelinin kötü derecelendirilmiş siltli kum (SM) birime oturtulması gerektiği görülmüş ve temel alt katmanlarındaki kil zeminden dolayı oturma meydana gelmesi öngörülmüştür. Yapılan arazi etütlerinden ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler derlenmiş, inceleme alanının jeolojisi ve birimlerin geoteknik parametreleri tespit edilmiştir. Tespit edilen bu veriler geçerli olan geoteknik raporda taşıma gücü, oturma analizi ve sıvılaşma analizlerinin hesaplanabilmesi için girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Zemin sınıfı yapılan laboratuvar analizleri sonucunda SM-GM-CL olarak belirlenmiş ve yer altı suyunun 3.5 metrede olduğu belirlenmiştir ve zeminde sıvılaşma potansiyeli olduğu öngörülmüştür.

Bu durumda olası alternatif çözümler araştırılmış ve şu yöntemler irdelenmiştir:

- O lokasyon dışında proje için farklı bir lokasyon seçmek.
- Yapılması düşünülen yapı değiştirilip araziye uygun olarak yeniden tasarlanabilir.
- Uygun olmayan zemin tabakası uygun olan ile değiştirilebilir.
- Var olan zemin üzerinde iyileştirme yapılabilir (Sarsılmaz,2017).

Kazıklarla desteklenmiş Radye temel sistemi kullanılabilir, oturmalara maruz kalmayacak düzeyde rijit ya da farklı hareketleri karşılayabilecek düzeyde esnek bir yapı dizayn edilebilir.

Günümüzde artan nüfus miktarı ve yükselen hayat standartları gereği zeminler üzerinde yapılaşma oranının artması ile zeminin yerinde ıslah edilmesi, güvenli ve ekonomik olması nedeni ile sıklıkla tercih edilmesine neden olmuştur.

Zeminlerin fiziksel ve geoteknik parametrelerini iyileştiren ve bu şekilde taşıma gücünün artırılması, oturma oranının da azalmasını sağlayan zemin iyileştirme yöntemlerinden uygun olanının seçilmesi ve uygulanması ile yüzeysel temellerin yeterli geleceği duruma ulaşılabilir. Bu şekilde yatırım miktarını azalttığı gibi risk düzeyini de en aza indirmektedir. Aynı zamanda birçok durumda zemin iyileştirme teknikleri ile çözüm daha ekonomik ve avantajlı hale gelmektedir.

Tez çalışması kapsamında zemin iyileştirme yöntemleri ve proje kapsamında kullanılan iyileştirme yöntemi ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak incelenmiş, taşıma gücü sıvılaşma potansiyel değerleri ve depremsellik vb. etkiler hesaplanmış sonsuz elemanlar yöntemi ile modellenmiştir.

1.1. Zemin İyileştirme

Zemin ıslah etme yada zemin güçlendirme taşıma kapasitesi açısından zayıf zeminler üstünde mevcut olan yapıları veya meydana gelmesi planlanan herhangi bir sebepten meydana gelebilecek sarsıntı ve titreşimlere daha hazır bir duruma getirmek amacıyla yapılan iyileştirmelere verilen genel tanımdır. Zemin iyileştirme çalışmaları yardımıyla özellikle deprem bölgelerinde bulunan yapılar daha güvenilir bir duruma getirilir. Çevresel etkenler sebebi ile süreç içerisinde deforme olmuş ya da taşıma gücü açısından zayıflamış zeminlerde daha verimli bir koruma elde etmek amacıyla zemin güçlendirme çalışması yapılması bir gerekçe değil ihtiyaçtır.

Zemin ıslah tekniklerinin belirli bir süresi yoktur. Zemin yapısı türü ve karakterine göre pek çok farklı zemin ıslah yöntemi mevcuttur. Var olan farklılıklar zeminde oluşturulması planlanan zemin ıslah yönteminin verim ve sürecini etkileyen ana parametrelerdir. Bu parametreler mevcut yapının kaç yaşında olduğu ve durumu ıslah sürecinde etkilidir. Zemin güçlendirme ya da zemin ıslahını gerekli kılan sebepler farklılık göstermektedir. Bahsedilen sebeplerden biri birim hacim ağırlığının artmasıdır. Yapıda ki ağırlık miktarı arttığı sürece zeminde meydana gelen gerilmeler deformasyonlar artacaktır bu sebeple zeminde güçlendirme gerekli değil zorunlu olmaktadır. Bir yapı zayıf zemin üstünde yapılmak durumunda kaldı ise taşıma kapasitesini artırmak için zeminde iyileştirme yapılabilir.

Yapıların en önemli bölümlerinden biri olan temellerin, taşındığı zeminlerin dayanıklı ve güvenilir bir duruma getirilmesidir. Bu sebepten ötürü zemin yapısını güçlendirmek bilhassa vaktiyle yapılmış ve birçok deformasyona maruz kalmış eski binalar için zorunluluktur.

Zemin iyileştirmede çok sayıda yöntem var olup, iyileştirmenin gerekliliğine göre, zeminin sahip olduğu yapısına ve türüne, yöntemlerin uygulanabileceği derinliğe, yöntem için kullanılması gereken özel teçhizat ve malzemelere, tekniklerin verimine uygun bir seçim yapabilmek en önemli konulardan biridir. Tekniklerin seçimi ve uygulama için çok iyi bir geoteknik alt yapı bilgisine sahip olmak gereklidir. Tüm yöntemler için dizayn etme tarzı ve geçerli kuramlar oldukça karmaşık ve farklı olabilmektedir, sürekli ve tek bir yöntemi yoktur. Bu konuda bilgi sahibi olan ve projelendirmeyi olması gerektiği gibi yapabilecek uzman kişilerin var olması gerekli ve önemlidir.

Bu kapsamda tez çalışmasının devam eden bölümünde zemin iyileştirme yöntemlerine değinilecektir.

1.2. İyileştirmeyi Gerektiren Zeminler

Bugün artan nüfus hızı ile birlikte, sanayileşme ve kentleşme, Türkiye'de ki yapı sahalarının süratle bitmesine sebep olmaktadır. Bu sebep ile her geçen gün yeni imar alanlarının kullanımı gerekli duruma gelmektedir. Artan nüfus miktarı ve yükselen hayat standartları gereğince yıpranmakta olan çevreye karşı olan duyarlılığında artması ile birlikte yapılaşmaya açılan yeni alanlar endüstri lokasyonları ve çevre yapıları için elverişli bölgelere erişmek sürekli olarak daralmaktadır. Bu durum neticesinde, mühendislik nitelikleri bakımından yetersiz zeminlerin var olduğu alanlarda imara açılmak durumunda kalmıştır. Bu tür zeminler üzerinde oluşacak yapılaşma, taşıma kapasitesi, oturma, yer altı su durumu ve zemin özelliklerine bakılırsa sivilaşma benzeri mühendislik sorunlarını gündeme gelmektedir. Böyle bir durumda taşıma kapasitesi bakımından yetersiz olan zemin türlerinin yapılar açısından güvenilir hale getirilmesi için uygun iyileştirme teknikleri ile yapılmalıdır (Ercan, 2017).

İyileştirme gerektiren zeminleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Turbalık yapıda ki zeminler
- Bataklık yapıda ki zeminler
- Yumuşak yapıda ki killer
- Gevşek yapıda ki kumlar
- Yer altı su seviyesinin yüksek miktarda olduğu yumuşak kalın alüvyonlar
- Tesadüfi yerleştirilen dolgular (Özdemir, A. ve Özdemir, M., 2006).

Turbalık, bataklık özellikteki zeminler içerisinde bulunan bitkisel maddelerin çürümesi sebebi ile zeminde yüksek oranda şekil değişikliğine sebep olmaktadır. Bu cins zeminlerin taşıma kapasiteleri çok zayıftır. Yumuşak killi zeminlerin taşıma kapasiteleri çok yetersizdir. Küçük kuvvetler altında bile büyük deplasmanlar meydana getirir. Yeraltı su düzeyinin yüksek olduğu, yumuşak kalın alüvyonlu ve gevşek kumlu zeminlerde orta büyüklükte yükler taşıyabilir ve bu yük maruz kaldığında deformasyon verileri de sınırlı olabilir. Bu tür zeminlerin yineleyen yükler tesiri altındaki davranışı problem teşkil edebilir. Bilhassa yeraltı su düzeyi altındaki yumuşak kumlarda yineleyen yüklere uğraması sonucu

sıvılaşma hali gözlemlenebilir. Bu hareket sonucunda şekil değiştirmeler ve deformasyonlar aşırı derecede yükselip tümüyle göçmelere sebep olabilmektedir.

Taşıma kapasitesi düşük, sıvılaşma özelliği yüksek olan zeminler, oturma ve deformasyon değerlerinin yüksek olduğu zeminler, yapıdan zemine iletilen gerilme değerlerine ve oturma kriterlerine tabi olarak uygun zemin iyileştirme teknikleriyle ıslah edilmelidir.

1.3. Zeminleri İyileştirmenin Amaçları

Zemin iyileştirme, zeminlerin endekslerinin, istenilen bir mühendislik uygulamalarına yönelik olarak, farklı türde biyolojik, kimyasal veya fiziksel teknikler kullanılarak ıslah edilmesi olarak tanımlanabilir. Zeminlerin ıslahı yerine zemin değişimi, zemin iyileştirilmesi, zemin sıkışması gibi terimlerle de ifade edilmektedir. Zemin iyileştirilmesinde temel gaye, zeminde mevcut olan boşlukların çeşitli kombinasyonlu karışımlar kullanılarak zemindeki boşlukları doldurarak zemin boşluk miktarının azaltılması işlemidir.

Zeminde iyileştirmede ki amaçlar:

- Taşıma gücü yetersiz durumda ki zeminlerin taşıma gücünü istenilen miktarda arttırmak,
- Toplam oturma miktarını istenilen değer aralığına indirmek,
- Su geçirgenlik durumunu azaltmak,
- Konsolidasyon miktarını arttırmak,
- Zemin sıvılaşma ihtimalini minimuma indirmek
- İstinat duvarlarını destek amacı ile mukavemet sağlamak,
- Dolgu ve şevlerin değişkenliğini azaltmak şeklinde sıralanabilir.

Yukarıda belirtilen gayeler doğrultusunda uygulanan iyileştirme yöntemi uygulama sonrasında şu miktarlarda iyileşme görülmesi muhtemeldir;

- Zeminin kayma mukavemetinde artma meydana gelir,
- Killi zeminlerin kıvam olarak iyileştirilmesi sağlanmaktadır,
- Kumlu zeminlerin sıkılık oranı yükselir,
- Sıkışa bilirlik değerinde azalma gözlemlenir,
- Şişme ve büzülme potansiyeli düşmektedir,

- Permeabilite oranı azalmaktadır,
- Borulamaya karşı mukavemeti artış gösterir,
- Sıvılaşma potansiyelinde azalma olur (Sağlamer,2006).

1.4. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin ıslahında çok sayıda yöntem ve teknik var olup, ıslahın amacına, zeminin yapısına ve tipine, tekniklerin uygulanabileceği derinliğe, yöntem için kullanılan özel teçhizat ve malzemelere, yöntemlerin verimine uygun bir seçim yapabilmek en kritik konulardan biridir. Tüm teknikler için projelendirme tarzı ve geçerli kuramlar oldukça karmaşık ve çeşitli olabilmektedir, özgün bir tekniği yoktur. Bu konularda bilgi sahibi olan ve projelendirmeyi olması gerektiği gibi yapabilecek uzman kişilerin var olması gerekli ve önemlidir.

Bu tezde öncelikli amaç bu konu kapsamında gerekli araştırmaları yaparak ve geoteknik bilimselliğine dayandırarak hesaplamak, hesap sonuçlarını karşılaştırmak ve elde edilen sonuçlara dayanarak modelleyerek kümülatif birikim zincirine yeni bir halka ekleyerek geoteknik mühendisliğinin önemini ve gerekliliğinin insan hayatı üzerindeki etkisine katkıda bulunmaktır.

Bu amaç kapsamında öncelikle zemin iyileştirme yöntemlerinin sınıflandırması yapılmıştır.

Bahsedilen yöntemlerin ne tür zeminlerde uygulanabileceği, inşaat mühendisliğindeki uygulama sahaları, uygulama için gerekli özel ekipmanlar, yöntemlerin sınırları, projelendirilmesinde geçerli teoriler ve kalite kontrol yöntemleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Zemin iyileştirme yöntemleri belirlenirken birçok ıslah etme metodu kullanılmaktadır. Bu yöntemler seçilirken, tedbir alınması gerekli problemlerin yanı sıra aşağıda bulunan analizlerin de göz önünde bulundurulması gerekir:

- Projenin dizaynı, ıslah maliyet analizi,
- Amaçlanan ıslah çalışmasının çeşidi ve derecesi,
- Çevresindeki yapılara ve doğaya tesirleri,
- ıslah çalışmasının sürenin değişmezliği,
- Lüzumlu malzeme, ekipman ve iş gücünün temin edilmesi,

- Zemin sınıfı, yer altı suyu seviye derecesi,
- Zemin atıklarının değerlendirme durumu,
- İnşaat için öngörülen takvim ve ıslah süresi,
- Uzun süreli verim, durabilite kriterleri,
- Yapım kalite denetimi ve performans değerlendirmeleri.

Zemin ıslah metotları literatürde farklı ölçütlere göre kategorilendirilmektedir.

Kısaca kategorilendirme metotlarının bir kaçı aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Zemin türlerine göre sınıflandırma,
- 2) Niteliklerine göre sınıflandırma
- 3) Uygulama tekniğine göre iyileştirme

Zeminin farklı ölçütlere göre zemin ıslah yöntemleri aşağıda belirtilmiştir.

- Kompaksiyon
- Enjeksiyon yöntemleri
- Permeasyon
- Jet grout kolon
- Çatlatma
- Taş kolon
- Mini kazık ve fore kazık

Zemin ıslahında temel gaye, kullanılan yöntemlerle zeminin boşluk oranının minilimize edilmesi ve bu boşluklarının, çeşitli kombinasyondaki karışımla ihtiva edip olması gereken taşıma gücüne ulaştırılması durumudur (Parlak, 2017).

Üstelik su götürmez bir gerçek Türkiye'nin bir deprem ülkesi olması ve bu gerçeğe yaşamakla birlikte gerekli önlemlerin almak zorunda olduğumuzdur. Deprem sırasında açığa çıkan enerji ile oluşan hareketlerden sonra etki eden deprem dalgaları neticesinde zeminde meydana gelebilen, sıvılaşma vb. dinamik problemler büyük tehlikeleri beraberinde getirmektedir. Bu tehlike göz önünde bulundurularak depreme dayanaklı yapılar inşa etmeli ve yetersiz zemin koşulları için gerekli ıslah çalışmaları yapılmalıdır. Bu durumlar neticesinde zemin iyileştirmesinin bir gereksinim değil, ülkemizde ki bütün yapılar için zorunlu bir çalışma olduğu görülmektedir (Ercan, 2017).

Zemin iyileştirme ile hacimsel olarak stabilite, drenaj, ilave yük yüklenmesi ile geçirimsiz tabaka imalatı katkıları ile zeminin büzülme-şişme davranışının denetim altına

alınması, zemin dayanımı ile ilgili sorunlar sıkışa bilirlilik ve kompaksiyon, ön yükleme, drenaj yöntemleri ile zeminin geçirimliliği katkılar ile sağlanabilmektedir.

Bu yöntemleri çok farklı yapıda ki zeminlere tatbik ederken bazen de sadece tek tip zemin türüne uygun olur.

Bu metotlar tercih edilirken göz önünde bulundurulması gereken öğeler de bulunmaktadır. Bunlar;

- a) Zeminin jeolojik yapısı, yer altı su düzey durumu,
- b) iyileştirme yapılması düşünülen lokasyon ki yapıların mevcut durumları ve bu yapıların çevre ile meydana getirdiği etkileşim,
- c) iyileştirme işlemi uygulanırken kullanılacak gerekli ekipmanlar ve yeterli iş gücünün sağlanabilmesi ve
- d) yapılacak iyileştirmenin maliyeti olarak sıralanabilmektedir.

Bu uygulamalar sonrasında hali hazırdaki gerilme-deformasyon modülü zeminde kayma dayanımı artarken, şişme ve büzülme potansiyeli, sıkışabilirliği, sıvılaşma potansiyeli ve geçirimliliği azalmaktadır. (Parlak, 2017).

İyileştirme metodu seçilirken özen gösterilecek hususlardan bir tanesi de hangi sebeple iyileştirme yapıldığıdır. Tablo 1.1 Zemin iyileştirme yöntemleri gösterilmektedir.

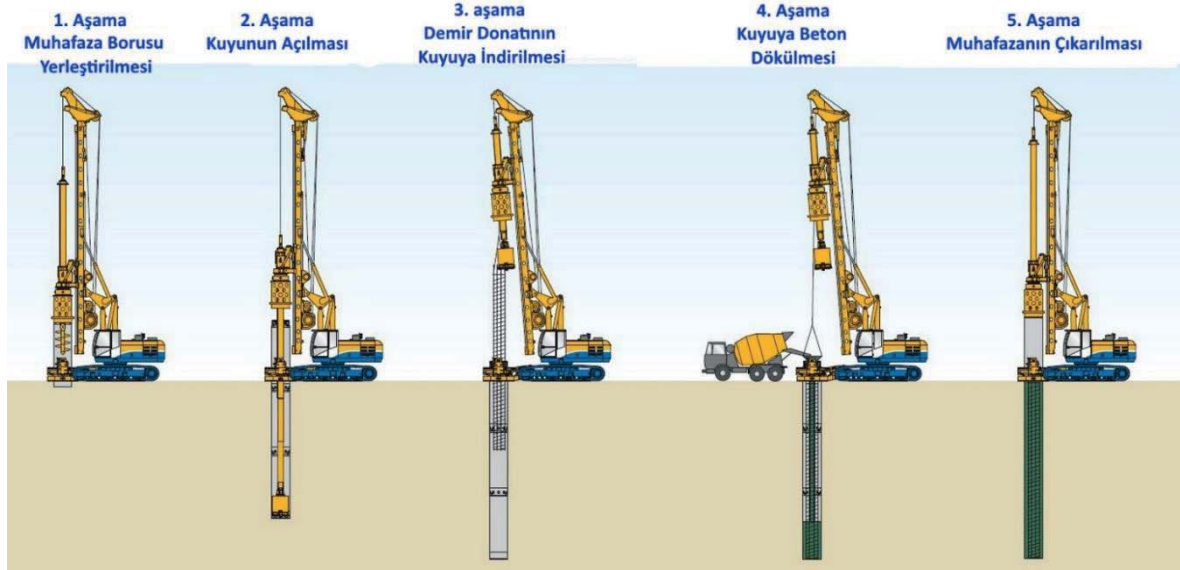
Tablo 1.1. Zemin iyileştirme yöntemleri

Zemin İyileştirme Yöntemleri		
1. Ground Reinforcement	2. Ground Improvement	3. Ground Treatment
Taş Kolon	Ön yükleme/ düşey drenler	Zemin-Çimento Enjeksiyonu
Derin Karışım	Yüzeysel Kompaksiyon	Kireçle Stabilizasyon
Donatılı Zeminler	Derin Kompaksiyon	Bitümle Stabilizasyon
Zemin Akrajları	Kompaksiyon Enjeksiyonu	Uçucu Kül

1.4.1. Forekazıklar

Gevşek veya bozuk yapıda bulunan zeminler, üzerinde inşa edilecek yapı temelinin, zeminde oluşturabileceği hareketlerden en az biçimde etkilenmesi amacıyla üretilen kazıklara, fore kazık olarak adlandırılmaktadır. Deprem gibi etkin hareketlerin etkime alanını azaltan bu yöntem, spiral sarımlı donatılardan meydana gelen betonarme bir yapıya sahiptir. Bu metot ile zeminde meydana getirilen kuyu çapları 45-150 cm arasında

oluşturulmaktadır.. Açılan bu kuyu içerisine ilk olarak spiral sarımlı donatı konumlandırılır ve daha sonra bu kuyu beton malzeme ile doldurulur. Fore kazıklar; zeminde yatay yer değiştirme meydana getirmezler bu sebep ile de komşu zeminlerde sıkışma oluşturmamaktadır.



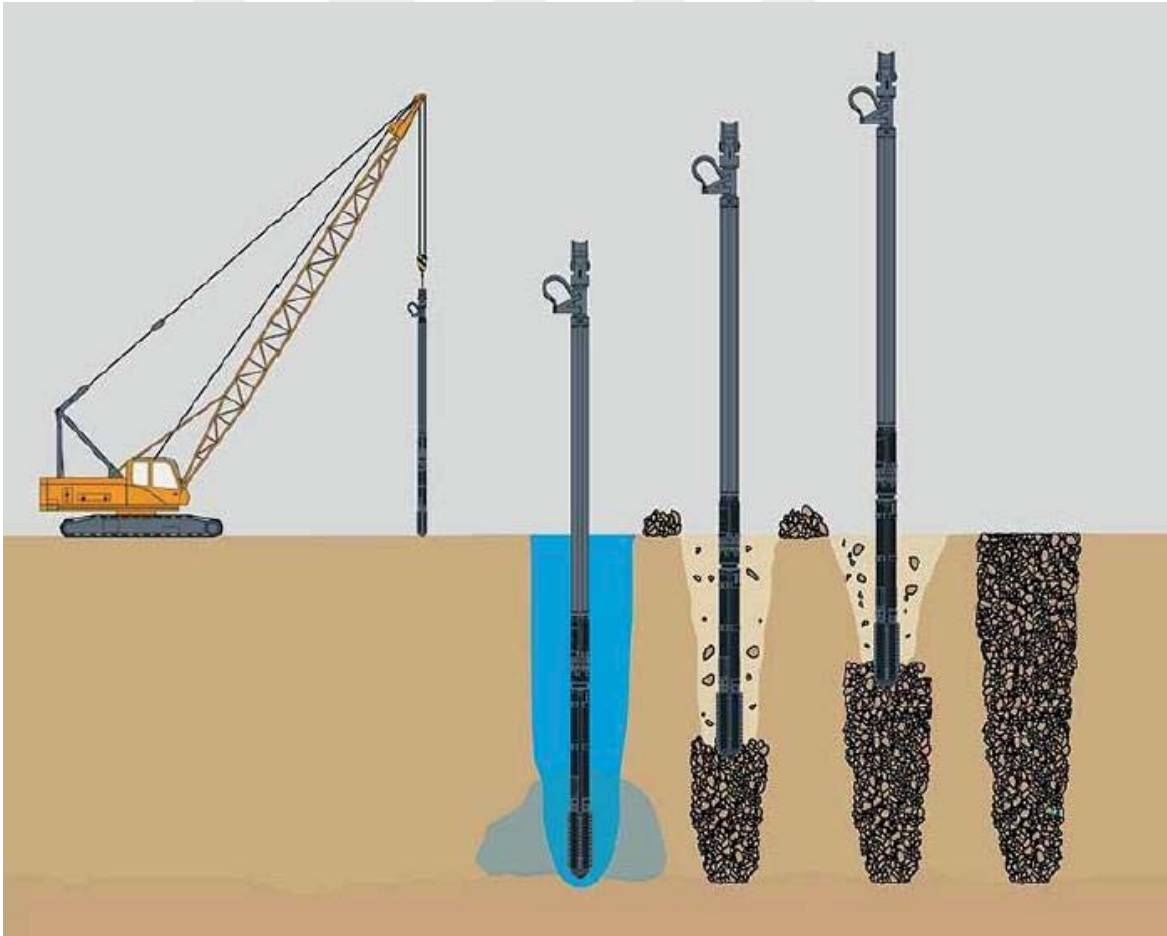
Şekil 1.1. Fore kazık yapım aşamaları (URL-1, 2021)

1.4.2. Taş kolon metodu

Genellikle tercihen yumuşak killi zeminlerde tercih edilen bu yöntemde; zemine inşa edilen taş kolonların amacı hali hazırda ki zemine etki eden yükü zemin ile beraber taşımasıdır. Taş kolonlar zeminin taşıma gücüne iyileşmeye yardımcı olurken zeminde oluşabilecek oturmaları da minimuma indirmektedir. Üstelik taş kolonlar killi-siltli yapıda ki zeminlerde sıvılaşmayı sorununu önlemek içinde kullanılabilir. Bu yöntem uygulanır iken 60 cm ile 100 cm arasında değişebilen çaplara sahip 20 m ye kadar derinlikte kuyular açılır. Daha sonra 20 ile 75 mm arasında kırma taş, doğal agrega veya kum-çakıl malzemelerinden uygun görüleni dik bir biçimde zemin içerisine konumlandırılır. Taş kolonun derinliğini saptarken sağlam zemine ulaşıyor olmasına dikkate edilir. Bunun yanında sıvılaşma ihtimali fazla olan zeminlerde bu ihtimalin azaltılması için kayma gerilmelerini azaltmak gerekmektedir.

Bu sebep ile çevre basıncını arttırılmalı ve zeminde gerekli görülen iyileştirme yapılmalıdır. Taş kolon yöntemi ile deprem sırasında hareket ile oluşacak gerilmeler, yükler karşısında sıvılaşma ihtimaline karşı güvenlik katsayısı arttırılmış olur (Parlak, 2017).

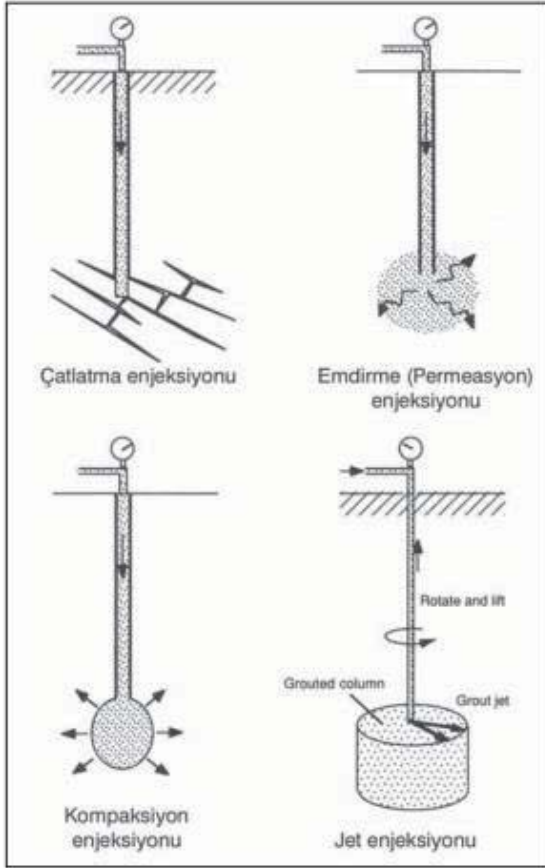
Uygulama sırasında taş kolonun malzemesi ile mevcut zemin arasında bir karışım meydana gelir bu durumda taş kolonun permeabilitesini etkilemektedir. Dolayısıyla taş kolonların permeabilitelerinin teorik olarak hesaplanması tam olarak mümkün olamamaktadır. Taş kolon permeabilitesinin saptanabilmesi için arazide pompaj testleri uygulanmalı ya da imal edilmiş taş kolonlardan alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmalıdır. Taş kolonlar geçmişte ilk olarak, 1830'lu yıllarda Fransa'da yapı temellerinin altındaki zeminin güçlendirilebilmesi için yapılmıştır. Sonrasında 1940'lı yıllarda ise Keller Grup tarafından yeniden kullanılmış ve bilhassa son yirmi yılda tüm dünyada yeniden uygulanmaya başlamıştır (Parlak,2017).



Şekil 1.2. Taş kolon yapım aşamaları (URL-2, 2021)

1.4.3. Enjeksiyon metodu

Zemin enjeksiyonu, temel anlamda akışkan ekipmanların basınç altında zeminin yapısında bulunan boşluklara enjekte edilmesi yolu ile elde edilir. Buradaki temel amaç zeminin ya da kaya kütlelerinin mühendislik niteliklerini arttırmaktır. Nitekim bu iyileştirme zeminin gerilme deformasyonu ve dayanımı gibi mekanik nitelikleri ile geçirimsizlik, hidrojeolojik özellikleri farklılaştırılarak elde edilmektedir. Enjeksiyon yöntemini ve destekleyen teknolojisi tarihi diğer zemin ıslah yöntemleri gibi eskiye dayanmakla birlikte bu teknoloji hem yeni enjeksiyon malzemeleri hem de bu malzemelerin zemin mevcut boşluklarına işlemesi yönünden devamlı bir ilerleme halindedir (Gül, 2015). Enjeksiyon metodu, ilk olarak meydana gelen su kaçaklarını engellemek ve mukavemet denetimini sağlamak için maden sektöründe ve barajların gövde, temellerinde sızdırmazlık perdesi meydana getirilmesi amacıyla uygulanmaya başlanmış, daha sonra inşaat mühendisliğinde de tünel kazımı sırasında zayıf zeminlerin ve bölüm bölüm kayaların dengelenmesinde, numune ve sondaj alma sırasında su sorunlarının ihtiva edilmesinde zemindeki boşlukların beslenmesinde, meydana gelebilecek büyük miktarda ki oturmaların önüne geçilmesinde, hem mevcut hem de inşası yeni oluşturulacak olan yapıların zemin güvenlik gerilmelerinin çoğaltılmasında ve bilhassa son 10-16 senelik bir zaman diliminde tünel kazımı sebebiyle yakın çevredeki veya yüzeydeki yapılarda meydana gelebilecek yıkıcı oturmaların problemlerin engellenmesinde ve deprem sırasında taşıma gücünü kaybedecek zayıf, suya doygun granüller zeminlerin sıvılaşma olasılığının azaltılması için kullanılmaktadır (Ayan, 2009).



Şekil 1.3. Enjeksiyon teknikleri (Akan, 2013)

Söz konusu inceleme alanında sıvılaştırılabilir tabakanın sınırlı ve küçük olması, altında sıkı kil tabakasının bulunması ve permeabilitesinin az olduğu arazide gözlenmesi sebebi ile 3-15m arasındaki kumlu gevşek tabakaya yönelik akışkanlığı düşük çimento enjeksiyonu yapılarak iyileştirme yapılması uygun görülmektedir.

Çimento-su karışımından meydana gelen enjeksiyon malzemesi tijler aracılığıyla zemin içerisine püskürtülerek etrafındaki zemin ile karışımı sağlanmaktadır. Bu metot işlem sırası olarak

- Delme işlemi,
- Zemini kesme işlemi ve
- Dolgu işlemi olarak meydana getirilmektedir.

Aşamaları basamak basamak açıklamak gerekirse;

- a) Delme işlemi: Makineye ait delici ekipmanların basınçlı su ile beraber uygun görülen genellikle sağlam zemin tabakasına kadar inme işlemine delme denir “Resim 1.1” “Resim 1.2 “de gösterilmektedir.



Resim 1.1. Araştırma sondaj kuyuları imalat aşamaları (Geçerli olan geoteknik rapordan alınmıştır)



Resim 2.2. Delgi işlemi esnasında ve delgi işlemi sonrasında (URL-3, 2020)

b) Enjeksiyon işlemi:

Su ile çimento karışımından oluşan enjeksiyon malzemesi maksimum basınç ile birlikte tijler yardımı ile zemine enjekte edilerek delgi ekipmanının belirli bir hızla yukarıya

taşıınabilmesi olayıdır. Bu işlemin uygulanması esnasında enjeksiyon malzemesi yüksek basıncında tesiri ile zeminin içerisinde buluna boşluklarda doldurarak dairesel bir kolon meydana getirir. Üstelik oluşturulan bu kolonlar zemini sıkılaştırarak mevcut zeminin konsolide olmasına ise katkıda bulunmuş olur “ Resim 1.3”.



Resim 3.3. Enjeksiyon imalat işlemi (URL-4, 2020)

Jet grout metodu meydana getirilirken delinme işlemi uygulanacak zeminin niteliklerine göre seçilmektedir. Delme işlemi su ile gerçekleştirilir su basınçlı bir şekilde kullanılmaktadır. Uygulanan projeye göre uzman kişinin uygun bulduğu derinliğe ulaşıldığında su basma işlemi durur ve jet grout akış kanallarından yüksek basınçta grouting uygulanmasına başlanır. Bu uygulamada jet grout delme ucu dönüş durumundadır. İşlem bittikten sonra jet grout mekanik sistemi yüzeye alınarak diğer uygulama bölgelerine yönlendirilir.

1.4.4. Jet grouting

1.4.4.1. Jet grouting yöntemi tarihçesi

Temel anlamda jet grouting metodu, belirli bir süratle dönen enjeksiyon borusundan yatay olarak basıncı yüksek hava ya da su jetinin tesiriyle kuyu açılması ve bu kuyuya yine yüksek basınç altında paralel bir durumda çimento şerbetini eklenmesi uygulamasıdır (Erdoğan, 2018). Kuyunun en alt kısmından yukarıya doğru ihtiva edilen bu metot meydana getirdiğimiz kolon priz almadan arada boşluk kalmayacak bir biçimde yanına tatbik edilen diğer jet grout kolonları ile beraber yeraltında duvarlar ve diyaframaların inşası yapılabilmektedir.

Jet grout kolonlarını genel olarak geçirimsizlik perdeleri, temellerin kuvvetlendirilmesi, tünel inşaatlarında, şevlerin stabilizesinde ve kazı çukurlarında tercih edilmektedir. Jet grout yöntemi ile zeminin mekanik mukavemetini arttırmak amaçlanmaktadır. Bu metot ile zeminin taşıma gücü ve elastisite modülü miktarı artarken geçirgenlik katsayısı azalmaktadır. Jet grout kolonları zemin ve oluşturulacak yapı için uygun görülen, çap ve boyutlarda yapımı sağlanabilir (Parlak, 2017).

Zemin içerisinde bulunan boşluklara ve enjeksiyonun etki etmesi istenilen amaca yönelik uygun enjeksiyon malzemesinin belirlenmesi gerekli ve önemlidir. Enjeksiyon malzemesinin zemin boşluklarına enjekte edilme biçimine ve zemin niteliklerine göre enjeksiyon uygulamaları geliştirilmiştir. Enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon parametreleri zemin durumlarına ve uygulama amacına özgü biçimde tasarlanmalıdır (Bakım, 2007).

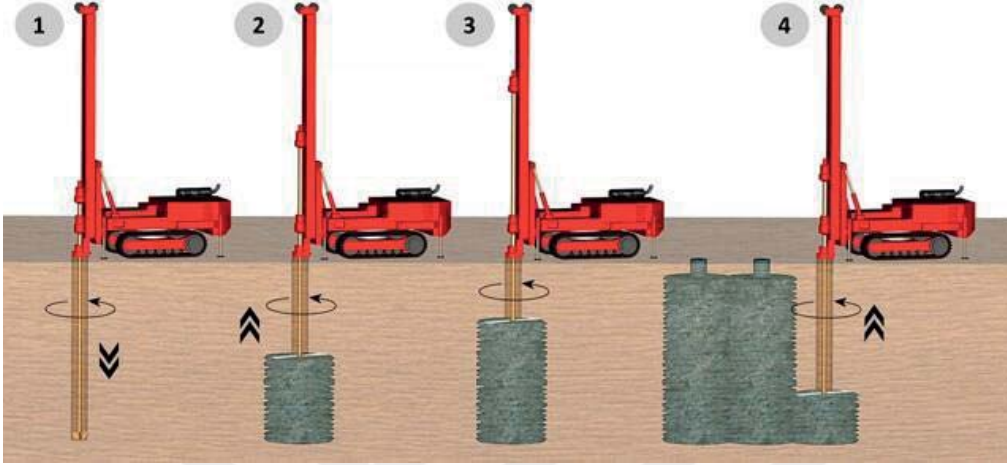
Jet grout'un niteliklerini saptayan parametreler; zemin türü, jet enjeksiyon tiji içerisindeki akışkan basıncı, jet enjeksiyon tiji içerisindeki akışkan debisi (nozzle çapı), enjeksiyon şerbetinin karışım özellikleri, jet enjeksiyon tjinin çekme ve dönme süratidir. Küçük çaptaki nozzlelerden jet için lüzumlu olan kinetik enerjiyi ihtiva etmek amacı ile yüksek basınç uygulanır. Jet grout kolunu 300 bar- 600 bar arasında, çoğunlukla 400-450 barla püskürtülme vasıtası ile meydana getirilir (Şekil 1.5.).

Jet grout tekniğinde kullanılan makine - ekipman

Jet grout inşası sırasında kullanılan makine ve ekipman listesi şu şekilde sıralanabilir;

- Tali Makineler
- Delgi Makinesi
- Jet Grout Ekipmanları

- Kompresör
- Su Pompası
- Silo, vs. teçhizatları kullanılmaktadır (Ertürk,2012).



Şekil 1.4. Jet enjeksiyon işlemi (URL-5, 2020)

1.4.4.2. Jet grout tekniğini kullanma amacı

Jet grout tekniğinin kullanma amaçları

- Aşırı miktarda oluşacak oturmaları engellemek amacı ile boşlukların doldurması,
- Yapıların boyutunun büyütülmesi durumunda zeminin emniyet gerilmesinin artırılması,
- Yer altı suyu akımını denetim altına almak,
- Zeminde oluşacak oturmayı engellemek,
- Şişen zeminin stabilizasyonu vb. biçiminde sıralayabiliriz (Ercan, 2017).

1.4.4.3. Jet grout tekniğini kullanma alanları

Jet grout tatbikleri değişik mühendislik sorunlarının çözümlenmesinde farklı gayeler için kullanılabilir. Mısıır (2020), jet grout tekniklerini aşağıdaki şekilde kategorilendirebiliriz.

- Kazı yüzeylerinin desteklemek,
- Temel takviyesi,

- Tünel inşaatı, tünel aynasını ve tünel tavanını desteklenmek,
- Zeminin ıslah edilmesi,
- Kazı çukurlarına dolan yer altı sularını azaltmak,
- Hacim değişikliği gösterebilecek zeminlerde oluşabilecek şişme ve büzülme oranının azaltılmak(Ercan, 2017).

Biçiminde sınıflandırılmaktadır. Jet grout yönteminin avantaj ve dezavantajlarına değinecek olursak.

1.4.4.4. Jet grout yöntemi avantajlar ve dezavantajlar

Jet grout tekniğinin avantajları ve dezavantajları ise şu şekilde sırlanabilir.

Avantajlar:

- Klasik enjeksiyonun tekniğine istinaden daha seri ve ekonomiktir.
- Çoğunlukla bütün zemin türlerinde uygulanabilmektedir.
- Basınçla püskürtme yolu ile kendi yarıçapı doğrultusunda tesir etmesinden yandaki yapılara zarar vermemektedir.
- Donanım boyutlarından dolayı dar ve sıkışık alanlarda konforlu çalışılabilmektedir.
- Enjeksiyon gerekli görülen derinlikte başlayabilir ve uygun görülen derinlikte son bulabilir.
- Titreşim oluşturmadığından hâlihazırdaki yapı yakınında uygulanabilmektedir ve bir hasara sebebiyet vermez.
- Jet grout tekniği ile iyileştirilen hacim, hemen yanında bulunan, herhangi bir işleme maruz kalmamış zeminin niteliklerinde de iyileşme sağlamaktadır. Jet grout yönteminin bu reaksiyonu nedeniyle iyileştirme uygulanmamış zeminin SPT verileri doğal halde bulunan zemin türünde %20-25 düzeylerine yükselmektedir (Erdil, 2008).

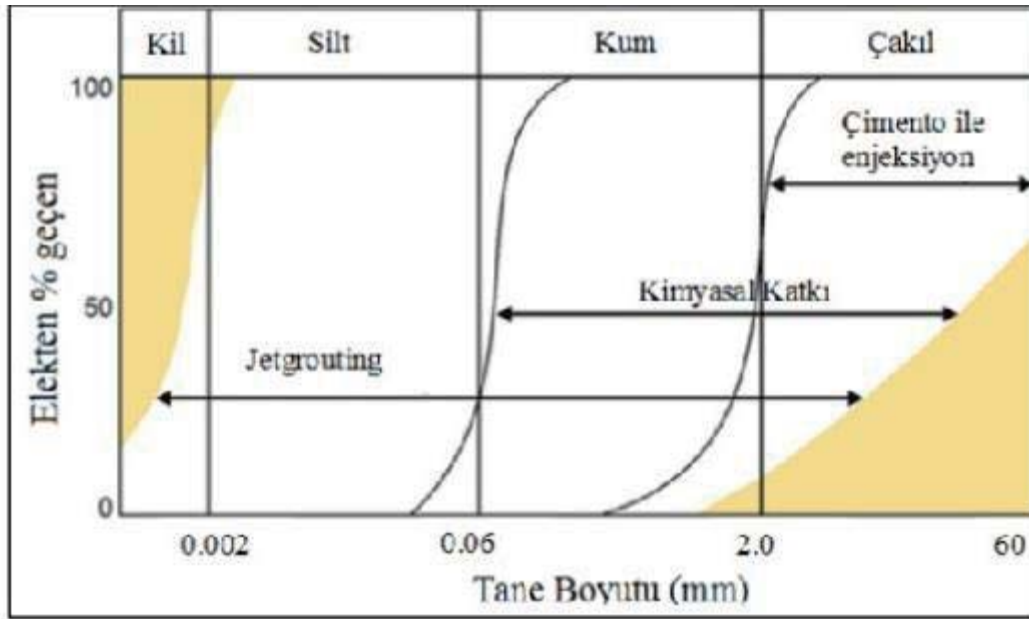
• Uygulanması ön görülen tekniğin geometrisi ve ebatları daha öncesinde belli olmasından ötürü malzeme tutarları ile maliyet işlem öncesinde tahmini olarak hesaplanabilmektedir.

Dezavantajlar:

- Yöntem hâlihazırda gelişme aşamasındadır.
- Yöntemin yeni olmasından dolayı dizaynda yararlanılabilecek kurallar henüz tam anlamıyla netleşmemiştir.

- Zemin türüne uygun kolon çapları farklı olabilmektedir.
- Bazı zamanlar kolon çapları istenilen orandan büyük olabilmekte bu da ekonomik olarak problemler oluşturmaktadır (Erdil,2008).

Jet grout tekniğinin dizayn esasları Jet grout tekniği yumuşak, ince taneli, gevşek, kaba taneli, organik ve turba zemin uygulamalarında çok iyi sonuçlar oluşturmaktadır. Jet grout tekniğinin uygulanabildiği zemin aralıkları Şekil 1.6.'de ifade edilmiştir (Ercan, 2017).



Şekil 1.5. Zemin cinsine göre uygulanabilecek ıslah yöntemleri (Şişman, 2013)

Tez çalışmasının devamında gerekli verilerin temin edildiği ve çalışmaların yapıldığı yapımızın konumlandırılacağı zemin hakkında genel bilgiler, deney ve hesaplamalar için kullanılan verilerden bahsedilecektir.

2. ÇALIŞMA SAHASI HAKKINDA BİLGİLER

İncelenen parsel, Elazığ Belediyesi Etüd Proje Müdürlüğü “Konut” olarak onaylanmıştır. İnşa alanına 5 katlı mesken yapılması planlanmıştır. Parselde temel alanı yaklaşık 450 m² olan 5 katlı yapı yapılacaktır (geçerli geoteknik rapordan alınmıştır.)

2.1. Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler

İnceleme alanı Elazığ ilinde yer almaktadır.

Arsa üzerinde yapılan çalışmalarda bina bulunmamaktadır. Tünel, yol, elektrik hattı, doğalgaz hattı, arkeolojik kalıntı vb. hiçbir durum ile karşılaşılmamıştır. Parsel yatay konumdadır.

2.2. Yapı Hakkında Bilgiler

İnceleme alanına ait yapılması düşünülen yapıya ait diğer bilgiler aşağıdaki şekil ve tablolarda verilmiştir. Proje müelliflerince statik ve dinamik (G+Q+E) yükler neticesinde oluşacak gerilme değerleri, yapı yüksekliği, temel derinliği, bina yükseklik sınıfı ve bina kullanım sınıfı vb. inşa edilecek yapıya ait bilgiler Tablo 2.1 ve 2.2’de gösterilmiştir.

İncelenen parselde bodrum, zemin, dört kat olacak şekilde tek blok beş katlı konut tipi bina yapılması planlanmaktadır. Yapıların malzemesi betonarme olup, yapı temelinin yaklaşık 2.7 m derinliğe oturtulması planlanmaktadır. İnşaat nizamı “Konut” alanı içerisine girmektedir. Yapılan statik ve dinamik analizler sonucunda yapıdan zemine aktarılacak maksimum gerilme ve statik bilgiler proje müellifleri tarafından sağlanmış olup Tablo 2.1’de ve Tablo 2.2’de görülmektedir.

Binanın temelinin kötü derecelendirilmiş siltli kum (SM) birime oturtulması planlanmaktadır. Temel alt katmanlarındaki kil zeminden dolayı oturma meydana gelmesi beklenmektedir.

Tablo 2.1. Yapı hakkında bilgiler

Blok Adı	Kullanım Amacı	Kat Adedi	Temel Tipi	Plan Boyutları (m)	Temel Alanı	Kazı Derinliği ortalama (m)	Maksimum Gerilme (G+Q+E)
A	Konut+Ticari	B+Z+4	Radye	19.35x23.40	452.8	2.9	20

Tablo 2.2 Yapı tasarım sınıfı bilgileri

Blok Adı	BKS	I	DTS	BYS
1	3	1.0	1	6

2.2.1. İmar adası ile ilgili bilgiler

İnceleme alanında yapı bulunmamaktadır. İnceleme alanının yanında 2-3 -5 katlı bina bulunmaktadır.

İnceleme alanı Elazığ Belediyesi'nin uzun süredir imara açtığı alanlardan biridir. İnceleme alanı % 0-10 eğimli olup yapılan sondaj çalışmalarında yer altı su seviyesine 3,50 m seviyesinde rastlanılmıştır. Gözlemsel incelemeler ile yapılan değerlendirmeler sonucu, alanın tamamında aktif veya potansiyel heyelan, krip, bataklık vb. duraysızlık belirtisi yoktur. Aşırı yağışlara bağlı olarak su baskını riskine karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

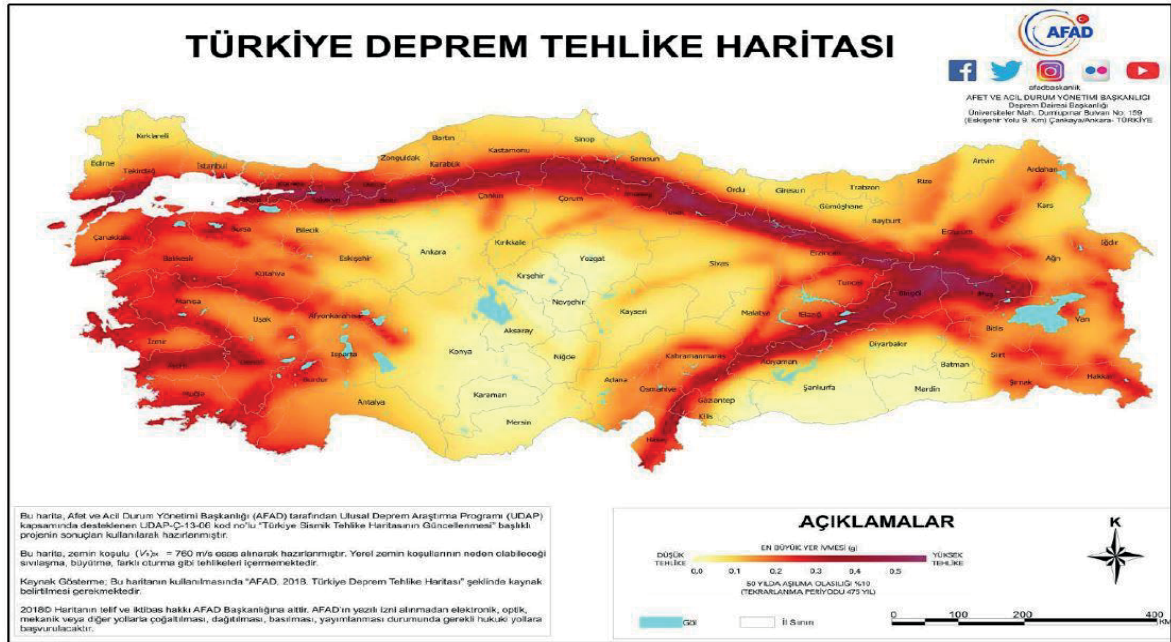
2.2.1.2. Bölgenin depremselliği

Depremler, iç dinamik süreçler ile yerkabuğu içerisinde oluşan bozulmaların oluşturduğu ve jeoloji biliminde fay olarak isimlendirilen kırılmalar neticesinde meydana gelen yerkabuğunda oluşan sarsıntılardır. Depremin magnitüdü, faylanma esnasında meydana gelen enerjinin büyüklüğüne göre değişmektedir. Kırılma sebep ile ortaya çıkan enerji, kırılma odağından uzak mesafelere ilerledikçe yaygın biçimde sistemli bir şekilde azalmaktadır. Yalnız, bazen lokal jeolojik niteliklerden kaynaklanan olumsuz zemin şartları bu durumu tam aksine arttırabilen öğeleri oluşturur ve odaktan uzak olunmasına karşın depremin yıkıcı tesirinin ön görülenden fazla olmasına sebep olur. Bu sebep ile herhangi bir lokasyonun deprem üretme potansiyeli yorumlanırken depreme sebep olan aktif fay ve lokal zemin niteliklerinin iyi tanınması gereklidir Şekil 2.1.' de gösterilmektedir.

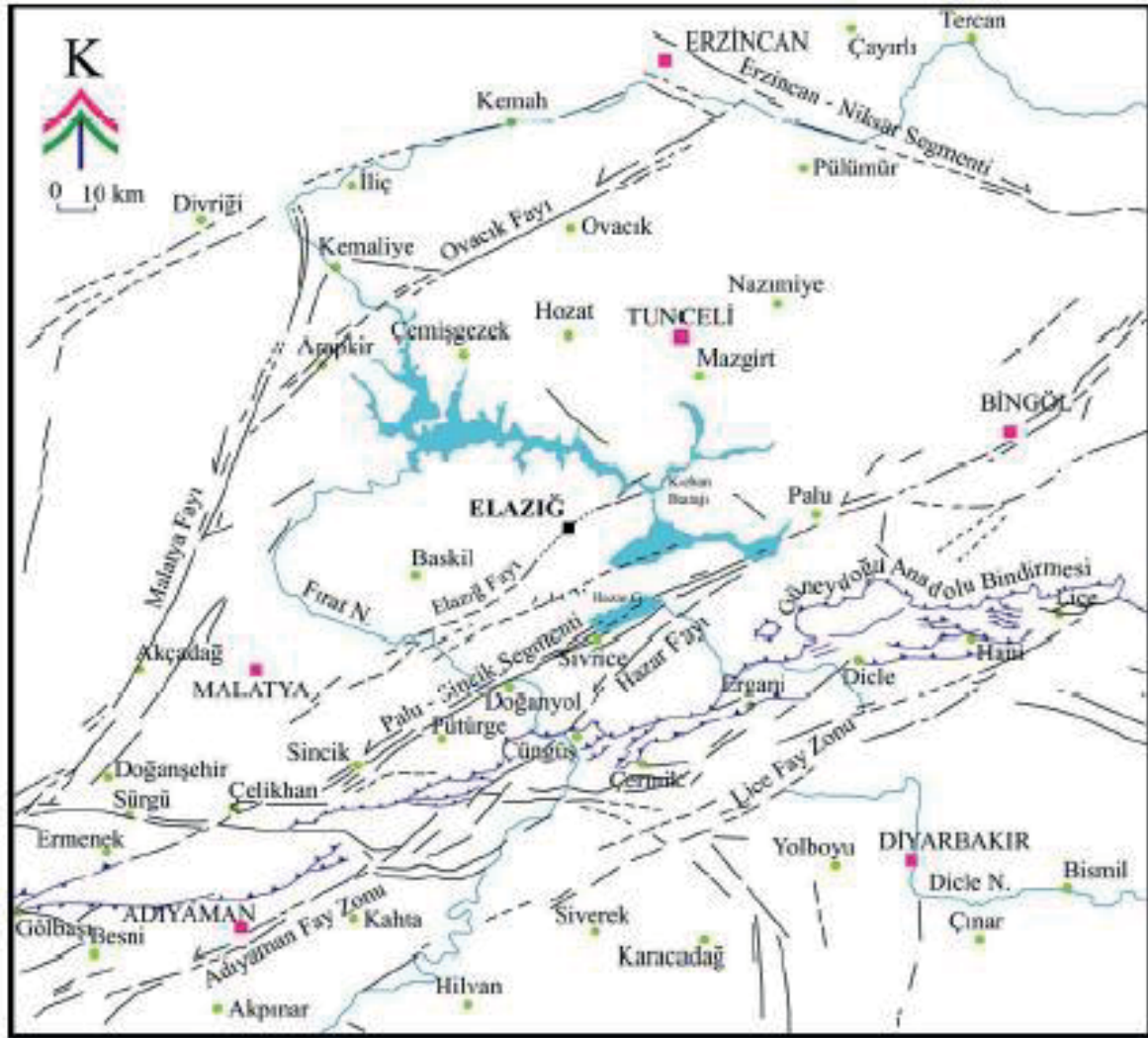
Elazığ İli, deprem hareket düzeyi DD-2. derecede tehlikeli deprem bölgesindedir.

Tez kapsamında inceleme alanımızın depremselliğine etki etmesi muhtemel en önemli ve en yakın fay; Elazığ Fayı olup, inceleme alanının yakın kuzeyinden geçmektedir. Elazığ Fayı kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanarak Ulu Ova olarak adlandırılan ovanın yaklaşık kuzey sınırını teşkil etmektedir. Yapılacak geoteknik ve statik çalışmalarda bu fay üzerinde meydana gelebilecek depremlerin yapılaşma üzerine olumsuz etkilerini sıfıra indirmek amaçlanmalı ve bu hususta gerekli önlemler alınmalıdır.

Ancak Elazığ için en büyük 24.01.2020 tarihinde Sivrice depreminden de gördüğümüz üzere DAFZ'dur Şekil 2.1.'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (URL-11,2023)



Şekil 2.2. Elazığ ve çevresine ait tektonik harita (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006).

Tablo 2.2. Dünya üstünde meydana gelen depremlerin büyüklükleri ile yıllık oluşum sayısı

Richter Büyüklüğü	Dünya'daki Yıllık Oluşum Sayısı
2, Sadece Hissedilir	100.000'den Fazla
4,5 Hasar Meydana Gelebilir	Bir Kaç Bin
7,Büyük	16-18
8,Çok Büyük	1-2.
8.6, En Büyük	0

2.2.1.3. Elazığ ili ve çevresi depremselliği ve deprem tehlike analizi

Bölgenin depremsel risklerinin genel incelemesi sonucunda deprem riskinin fazla olduğu sonucuna varılmış ve yapılacak yapının depreme dayanıklı olması için çeşitli deney ve analizler yapılmıştır. Çalışmamızın bu kısmında bu deney ve analizlere ve sonuçlarına değineceğiz.

İnşa alanında SPT deneyi yapılmamış MASW deneyleri ile zemine ait V_s (Kesme Dalgası, S dalgası, Hızı) değerleri elde edilerek $(V)_{30}$ (Yüzeydeki 30 metrenin ortalama kesme dalgası, S dalgası, hızı) hesaplanmıştır. Tablo 2.3’de V_s değerleri zemin için verilmekle birlikte 270-356 m/sn arasında değiştiği görülmektedir. VS_{30} değeri bu tablodaki değerlere göre 331-340 m/sn olarak hesaplanmıştır.

Arazide yapılan SPT deneyi sonuçlarına 16-17 olan SPT N_{60} ortalamalarına göre göre zemin sınıfının deprem yönetmeliğine göre “ZD” sınıfında olduğu Tablo 2.3’de gözlemlenmektedir.

Tablo 2.3. Yerel Zemin Sınıflamaları (TBDY-2018 alınmıştır)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ (m/s)	$(N_{60})_{30}$ (darbe/30 cm)	$(C_u)_{30}$ (kPa)
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı- sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak –katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller	<180	<15	<15
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektirmeyen zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler(sıvılaşabilir zeminler, Yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (>35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Yukarıda hesaplanan veriler neticesinde deprem yönetmeliğine göre zemin sınıfı tespit edilmiştir.

AFAD tarafından hazırlanan ve e-Devlet üzerinden ulaşılabilen Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web uygulamasına inşaat alanına ait koordinat ve zemin sınıfı bilgileri girilerek yerel zemin etki katsayıları (F_s , F_1) ile spektral ivme katsayıları (S_s , S_1) elde edilerek dizayn spektral ivme katsayıları (S_{DS} , S_{D1}) hesaplanmıştır. Verilen koordinatlara ait alınan bilgiler Tablo 2.4’da görülmektedir.

Tablo 2.4. Tehlike haritası değerleri

	İvme Değerleri	PGA	PGV
S_s	0.940		
F_s	1.148		
S_1	0.265		
F_1	2.975	0.394	24.689
S_{DS}	1.079		
S_{D1}	0.788		

S_{DS} = Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} = 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

F_s = Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

F_1 = 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı

S_s = Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 = 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Tablo 1.5. İnceleme alanının yer hareket değerleri

$S_s=0,940$	$S_1=0,265$	$S_{DS}=1,057$
$S_{D1}=0,549$	$PGA=0,394$	$PGV=24.68$

İnceleme alanında bina inşa edilecek olup bina kullanım sınıfı (BKS) 3 olarak seçilmelidir. Bina Kullanım Sınıflamalarına ve DD-2 deprem yer hareket seviyesi için Kısa Periyot Tasarımı Spektral İvme Katsayısına ekli bir şekilde, bu Yönetmelik’te deprem tesiri durumunda dizaynda temel alınması gereken Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), tablosuna göre belirlenecektir.

Bina yükseklik sınıfı: Deprem tesiri altında dizaynı yapılan binalar yükseklik durumları itibari ile sekiz Bina Yükseklik Sınıflamasına (BYS) ayrılmaktadır. Yükseklik

açıklıkları, Tablo 2.6'deki Deprem Dizayn Sınıflarını baz alarak Tablo 2.8.'te gösterilmektedir.

Tablo 2.6. Bina Yükseklik Türleri ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (TBDY-2018 alınmıştır)

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Çalışma kapsamında incelenen alanda inşa edilecek olan 5 katlı yapı için bina yüksekliği=15,50m Bina Yükseklik Sınıflamaları ve Deprem Tasarım Sınıflamalarına Bakarak Tanımlanan Bina Yüksekliği $10,5 < H_N \leq 17,5$ Aralığında kalmakta olup buna göre Bina Yükseklik Sınıfları **BYS:6** olarak bulunmuştur.

Tablo 2.7. Deprem Tasarım Sınıfları(TBDY 2018 den alınmıştır)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyod	Bina Kullanım Sınıfı	
Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	BKS=1	BKS= 2,3
$SDS < 0.33$	DTS=4a	DTS=4
$0.33 \leq SDS < 0.50$	DTS=3a	DTS=3
$0.50 \leq SDS < 0.75$	DTS=2a	DTS=2
$0.75 \leq SDS$	DTS=1a	DTS=1

İnceleme alanı için Türkiye Deprem Tehlike Haritasından alınan En Büyük Yer İvmesi $S_{DS}=1.057$ olarak belirlenmiş olup Deprem Yer Hareketi Düzeyi “DD-2” ve BKS 3 olarak tespit edildiği için, Deprem Tasarım Sınıfı “DTS=1” olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.8. Kısa periyot alanı için yerel zemin etki katsayıları (URL-8)

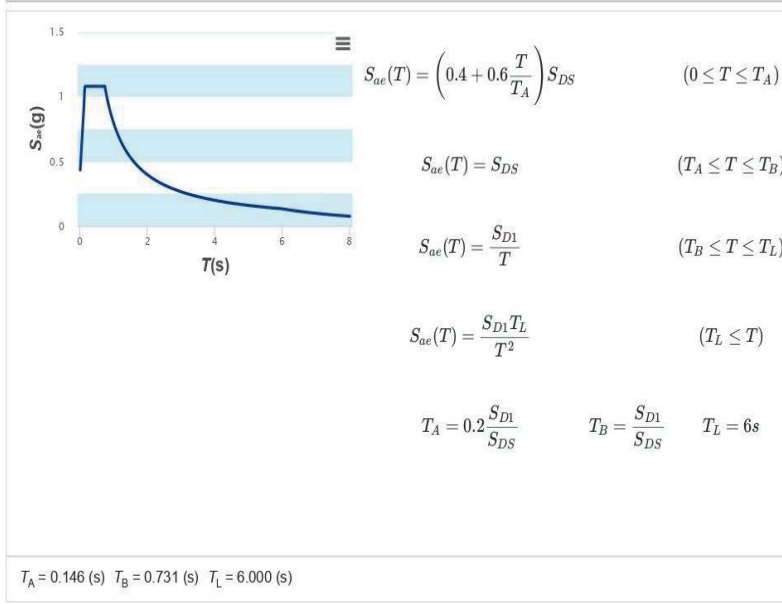
Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

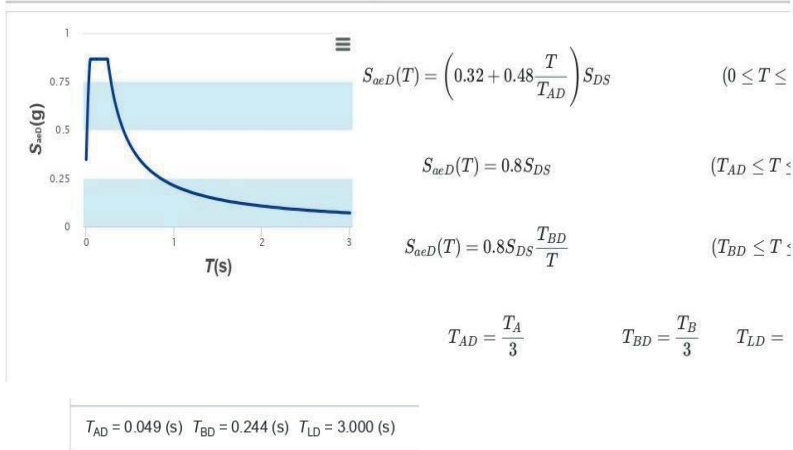
Yerel Zemin Sınıfı ZE ve $S_S = 0.940$ için $F_S = 1.148$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Düşey Elastik Tasarım Spektrumu



Şekil 2.3. Yatay ve düşey tasarım spektrumu (URL-8)

Resmi Gazetede 18/03/2018 tarihinde No: 30364 yayınlanan 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe konulan Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığına ait Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre Afad işleri genel müdürlüğü web sayfasından yapılan sismik tehlike analizi ve depremsellik verileri raporu yukarıda verilmiştir.

3. MEVCUT ZEMİN ARAŞTIRMALARI

İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları kapsamında ve geçerli olan geoteknik raporda mevcut bulunan 3 adet her biri 20 metre toplamda 60 metre ve daha ilave 20 metre temel inceleme sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan kuyularda augerle ilerleme yapılmış ve her 1,50 metrede SPT (standart penetrasyon deneyi) deneyi uygulanmıştır. Jeofizik çalışmalar ve deneyler kapsamında 1 adet MASW (çok kanallı yüzey dalgası analizi) gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanında inşa edilecek yapıların ortalama temel seviyesi göz önünde bulundurularak, açılan kuyular içerisinden SK-1 1.50-2.00 SK-2 2.00-2.50, SK-3 2.50-3.00 metre seviyeleri arasından Shelby tüpü kullanılarak hidrolik baskı yöntemi ile örselenmemiş zemin numunesi (UD) alınmıştır. Bunun yanı sıra açılan kuyuların tamamında her 1.5 metrelik aralıklar ile TS 5744 e uygun standart penetrasyon deneyi (SPT) yapılarak örselenmiş numune alınmıştır.

Binanın temelinin düşük plastisiteli kil (SM-GM) birime oturtulması planlanmaktadır. Temel alt katmanlarındaki kil zeminden dolayı oturma meydana gelmesi beklenmektedir. Olası bir oturma probleminde temel boyutlarının veya kazı derinliğinin artırılması geoteknik uzmanınca istenebilir.

Geçerli olan geoteknik raporda tespit edilen verilere göre;

Sahada yapılan deneylerle belirlenen VS_{30} kesme hızı dalgasının 333-342 m/s olduğu belirlenmiştir fakat arazide yapılan SPT deneyi sonuçlarına göre N60 ortalamalarının 10 civarında olması sebebi ile bu değere göre 18.03.2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Deprem Yönetmeliği Tablo 16.1'e göre ZD grubunda olduğu belirlenmiştir.

İnceleme alanında jeofizik çalışma kapsamında 1 profil Sismik Kırılma- MASW (çok kanallı yüzey dalgası yöntemi) etüdü gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, etkin temel yöntem Çok Kanallı Yüzey Dalgası Yöntemi (MASW) uygulanarak S dalga hızları tespit edilerek gerekli parametreler toplanmış toplanan jeofizik bilgiler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Arazide presiyometre deneyi yapılmamıştır.

Tablo 3.1. Veri toplama işlem ve sunumu

Serim no	Tbk.	V _p (m/s)	V _s (m/s)	h (m)	(V _s) ₃₀	V _p /V _s	ρ (gr/cm ³)	G _{max} (kg/cm ²)	E _d (kg/cm ²)	μ	K (kg/cm ²)
Mw-1	1	483	278	5	340	1.74	1.45	1121	2809	0.25	1889
	2	1014	356	-		285	1.75	2213	6330	0.43	15007
Mw-2	1	526	270	6	331	1.95	1.48	1080	2855	0.32	2660
	2	905	350	-		2.58	1.70	2080	5873	0.41	11131

3.1. Spt (standart penetrasyon deneyi) Donelerinin Düzeltmesi

Sahadan alınmış değiştirilmemiş SPT değerleri, N , aşağıdaki denklem (TBDY Denk. (16B.1)) kullanılarak $N_{1,60}$ değerine bakılarak düzeltilmesi gerekmektedir.

$$N_{1,60} = NC_N C_R C_S C_B C_E$$

Burada C_N kohezyonsuz zeminde ihtiva edilen jeolojik derinlik düzenleme katsayısını, C_R tij boyu düzenleme katsayısı, C_S numune alıcı türü düzeltim katsayısını, C_B sondaj delgi çapı düzeltme katsayısını, C_E enerji oranı düzeltme katsayısını ifade etmektedir. Derinlik düzeltim katsayısı C_N aşağıdaki denklemde (TBDY 2018 Denk.(16B.2)) verilen denklem ile hesaplanmalıdır.

$$C_N = 9.78 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{vo}}} \leq 1.70$$

Yukarıdaki bağıntıda verilen deney derinliğinde efektif düşey gerilme σ'_{vo} (kN/m²), Standart Penetrasyon Deneyinde (SPT) uygulandığı haldeki saha şartlarına göre hesaplamaları yapılmalıdır. Deney akabinde yapılan ek dolgu, temel gerilme durumu ya da zemin kazımı ve benzeşim sebeplerden ibaret efektif gerilme değişimleri göz ardı edilecektir.

İnce dane içeriğine (IDI) göre düzenleme yapılmış darbe sayıları $N_{1,60f}$ (TBDY 2018 Denk.(16B.3a)) aşağıda gösterilen denklem göre hesaplamalar yapılmıştır:

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

Bağıntıda bulunan α ve β katsayıları aşağıda verilmiştir:

Tablo 3.1. α ve β katsayıları

α	β	Kriter
0	1.0	($IDI \leq \%5$)
$\exp[1.76 - (190/IDI^2)]$	$0.99 + IDI^{1.5}/1000$	($\%5 < IDI \leq \%35$)
5	1.Şub	($IDI \geq \%35$)

Diğer katsayılar Şekil 3.1.'de verilmiştir.

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3m ile 4m aralığında	0.75
	4m ile 6m aralığında	0.85
	6m ile 10m aralığında	0.95
	10m'den derin	1.00
C_S	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1.00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1.10-1.30
C_B	Çap 65mm-115mm arasında	1.00
	Çap 150mm	1.05
	Çap 200mm	1.15
C_E	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60

Şekil 3.1. SPT düzeltme katsayıları

Tablo 3.2'de araziden alınan ve yukarıda belirlenen kriterlere göre düzeltme yapılan SPT sayıları verilmiş olup, bundan sonraki hesaplarda bu değerler kullanılacaktır. Arazide SPT sayıları ilk 15cm'de refü ($N > 50$) olması sebebi ile 50'den büyük olan vuruşlar sabit olarak ($N=50$) alınmıştır.

Tablo 3.3. Düzeltilmiş SPT vuruş sayıları (Geçerli geoteknik rapordan alınmıştır)

SK	Derinlik (m)	SPT-N	C _E	C _R	C _S	C _B	C _N	N ₆₀	N _{1,60}
1	1.5	8	0.9	0.75	1.2	1	1.70	6	11
1	3	9	0.9	0.75	1.2	1	1.37	7	10
1	4.5	11	0.9	0.85	1.2	1	1.19	10	12
1	6	8	0.9	0.95	1.2	1	1.09	8	9
1	7.5	8	0.9	0.95	1.2	1	1.02	8	8
1	9	9	0.9	0.95	1.2	1	0.95	9	9
1	12	14	0.9	1	1.2	1	0.86	15	13
1	15	10	0.9	1	1.2	1	0.79	11	8
1	18	16	0.9	1	1.2	1	0.73	17	13
1	20	17	0.9	1	1.2	1	0.70	18	13
2	1.5	9	0.9	0.75	1.2	1	1.70	7	12
2	3	13	0.9	0.75	1.2	1	1.37	11	14
2	4.5	7	0.9	0.85	1.2	1	1.19	6	8
2	6	8	0.9	0.95	1.2	1	1.09	8	9
2	7.5	11	0.9	0.95	1.2	1	1.02	11	11
2	9	6	0.9	0.95	1.2	1	0.95	6	6
2	12	12	0.9	1	1.2	1	0.86	13	11
2	15	11	0.9	1	1.2	1	0.79	12	9
2	18	10	0.9	1	1.2	1	0.73	11	8
2	20	15	0.9	1	1.2	1	0.70	16	11
3	1.5	11	0.9	0.75	1.2	1	1.70	9	15
3	3	8	0.9	0.75	1.2	1	1.37	6	9
3	4.5	9	0.9	0.85	1.2	1	1.19	8	10
3	6	7	0.9	0.95	1.2	1	1.09	7	8
3	7.5	4	0.9	0.95	1.2	1	1.02	4	4
3	9	14	0.9	0.95	1.2	1	0.95	14	14
3	12	10	0.9	1	1.2	1	0.86	11	9
3	15	11	0.9	1	1.2	1	0.79	12	9
3	18	7	0.9	1	1.2	1	0.73	8	6
3	20	16	0.9	1	1.2	1	0.70	17	12
4	3	15	0.9	0.75	1.2	1	1.37	12	17
4	6	3	0.9	0.95	1.2	1	1.09	3	3
4	7.5	12	0.9	0.95	1.2	1	1.02	12	13
4	9	19	0.9	0.95	1.2	1	0.95	19	19
4	12	12	0.9	1	1.2	1	0.86	13	11
4	15	41	0.9	1	1.2	1	0.79	44	35
4	18	14	0.9	1	1.2	1	0.73	15	11

4. YAPI İLE ZEMİN ARASINDAKİ ETKİLEŞİMİN ARAŞTIRILMASI

4.1. Temel Sistemine Bağlı Olarak Geoteknik Çözümleme ve Değerlendirmeler

Deprem tesiri altında yapı temel dizaynının amacı, temelin taşıma kapasitesinin geçmemesi ve zemin yer değişimlerinin uygun görülebilir limitler altında olmasının sağlamaktır. Temel dizaynında aşağıdaki genel kurallara uyulmuştur.

Bu raporda, yüzeysel ve derin temel yapılarının geoteknik tasarımları için *taşıma gücü ilkesi* baz alınmaktadır. Temel tabanının, muhtemel göçme oluşmalarına karşı duran *tasarım taşıma gücü* 'nün yeterliliği aşağıda gösterilen genel ifade ile sağlanmaktadır.

$$E_t \leq R_t$$

Statik yük bileşimleri ile ilgili yönetmeliklerden temin edilecektir. Deprem tesirini kapsayan yük birleşimleri hesaba katılmıştır. Temelin oturacağı zemininde meydana gelen etkileşimler, E_t , düşey yük etkileşimleri ile beraber depremde binanın taşıyıcı sisteminde temele iletilen kuvvetler temel alınacak biçimde hesap edilecektir.

Statik ve deprem etkisini kapsayan yükleme hususlarına bağlı tasarım dayanımı R_t , karakteristik dayanım R_k 'nın dayanım katsayısı olan γ_R 'ye bölünerek hesaplanmaktadır.

$$R_t = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

Yapının yükünü zemine homojen bir şekilde zemine aktarmak amacıyla yapımızın temelini radye temel olarak tercih edilmiştir.

4.2. Planlanan Temel Sistemleri

İnşası tasarlanan yapının kat yüksekliği ve bölgenin depremselliğini göz önünde bulundurduğumuzda, yapıların 2.7m derinliğinde bodrum kazısı yapılarak bina temeli siltli kum birim üzerine oturtulacaktır, oluşabilecek farklı oturmalar nedeniyle temel sisteminin radye olarak seçilmesi gerekmektedir.

4.2.1. Yüzeysel temeller

Yük katsayılarıyla çarpılacak bütün yükler için tasarım dayanımı R_t , Şekil 4.1'de ifade edilen dayanım katsayısı γ_R değerleri alınarak hesaplamaları yapılmıştır.

Tablo 4.1. Yüzeysel temel türleri için dayanım katsayıları

Dayanımın Türü	Dayanımı Katsayısı	Dayanımın katsayı değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1,4
Sürtünme Direnci	γ_{Rh}	1,1
Pasif Direnç	γ_{Rp}	1,4

4.2.1.1. Radye temel

Yapının taşındığı zemin katmanının fazla miktarda oturma olabilmesi için, yapının temeli tekil ve ya sürekli temel tiplerinin sakıncalı durumda olmasına sebep olur. Bu tür yapılarda temel türü olarak Radye temel kullanımı tercih edilir. Radye temel, yapının temel kısmını tam olarak kaplayan bir temel türüdür. Bu nedenden ötürü yapı zeminin her tarafına yükünü özdeş oranda iletir ve üniform şekilde bir oturma yapmasına sebep olur. Bu sistemin adı Radye (jeneral) temel türü olarak isimlendirilmektedir (Aydın, 2014).

Bu temel sistemini yeğleme nedenleri ise şu şekilde sıralanmaktadır:

1. Yapı yüklerinin fazla miktarda olma hali: Zeminin mukavemetini geçebilecek biçimde oluşması beklenen yapı yükleri fazla veya yapı kat sayısı fazla miktarda olması

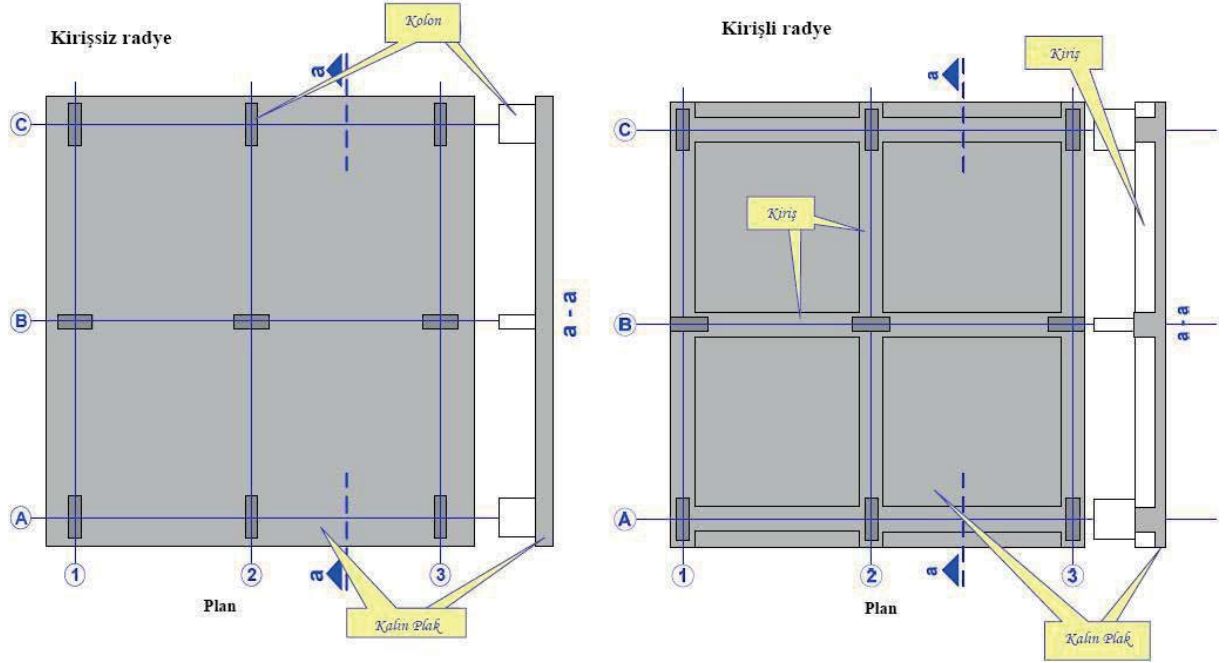
2. Zeminin yük taşıyabilme kapasitesinin yeterli olmaması: Zeminin yüzeyindeki yapı yükü ile bağımsız ya da oranlı biçimde yapının zeminin taşıma kapasitesi yetersiz olması sebebi ile yapının temel sisteminin Radye temel türünün tercih edilmesi durumunu gerekli hale getirmektedir. Bazı zeminlerin taşıma gücü a o kadar yetersizdir ki Radye temel yapılması da yeterli olmamaktadır. Bu özellikle zeminde sıvılaşma olma olasılığı olan zeminlerde görülmektedir. Bu çeşit zeminlerde kazıklı temel sistemi tercih edilmektedir.

3. Yapı yüklerinin zeminde üniform bir biçimde yayılmaması hali: Yapı yüklerinin zemine üniform şekilde iletilememesi, yani yapının yüklerini temel zeminin de bir bölümde birikmesi ya da yapının belli bölümlerinin yapı içinde birbiri ile yük yönünden değişiklik gösterdiği durumunda radye temel inşa etme yolu tercih edilir. Bazen de derzler ile bu farklı miktarda ki oturmaların yapıya zarar vermesi önlenmiş olur.

4. Temel zemininin kendi içinde farklılık oluşturması: Zemin yapı temeli alt bölgesi boyunca benzer özellik gösterme olasılığı yok denecek kadar az miktardadır. Yalnız mesele bu farklılığın ne miktarda olduğudur. Şayet bu farklılık az oranda ise şerit temeller ile bunları birleştirmek mümkün olabilmektedir. Ancak bu fark fazla ise, bu farkın meydana getireceği

farklı miktardaki oturma miktarlarını önlemek amacıyla Radye temel yapılması gerekli olmaktadır.

5. Yapı zemininin yeraltı su durumunun altında bulunma hali: Böyle durumlarda ise en önemli problem geçirimsizlik ve yeraltı suyunun kaldırma kuvvetine karşı koyabilmektir. Radye temel inşa edilerek geçirimsizlik daha basit edinmiş olacak ve yapı yükü artması sebebiyle kaldırma kuvvetine dayanma olasılığı artmaktadır(Aydın, 2014).



Şekil 4.2. Radye temel (URL-7, 2021)

4.3. Taşıma Gücü Analizi

Statik ve deprem tesirini kapsayan yükleme durumlarının hepsinde Denklem 9.1'deki eşitsizlikle hesaplanacaktır:

$$q_0 \leq q_t$$

(4.1)

Burada q_0 temel düzeyinde etkiyen düşey yük, kesme ve moment etkilerinin meydana getirdiği temel taban basıncıdır. q_t ise tasarım dayanımı R_t 'nin temel taşıma gücüne ait karşılığıdır ve Denklem 4.2 ile ifade edilir:

$$q_t = \frac{q_k}{\gamma_{Rv}} \quad (4.2)$$

Temel taşıma gücünün *karakteristik dayanımı drenajlı ve drenajsız durum için sırası ile* q_k aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır.

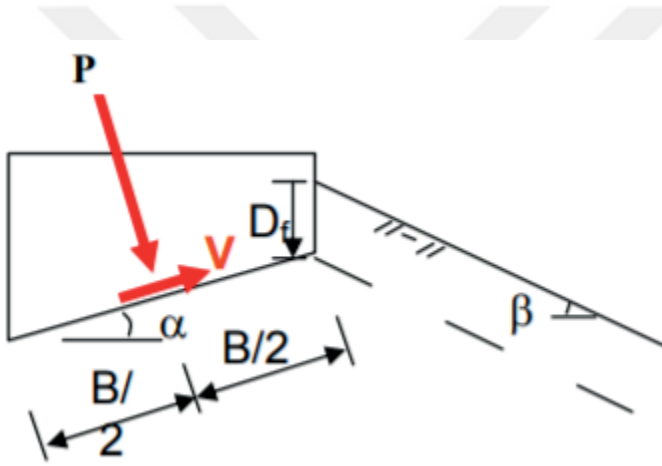
$$q_k = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B'N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (4.3a)$$

$$q_k = (2+\pi)c_u s_c d_c i_c g_c b_c + q \quad (4.3b)$$

Denklem 9.3'de boyutsuz iyileştirme katsayıları olarak yer alan temel şekli katsayıları

s_c, s_q, s_γ ; derinlik katsayıları d_c, d_q, d_γ ; yükleme eğikliği katsayıları i_c, i_q, i_γ ; temel zemini eğimi katsayıları g_c, g_q, g_γ ve temel taban eğimi katsayıları b_c, b_q, b_γ hesabında Vesic (1973) modeli kullanılacak olup modele ait temel sistemi ve katsayıların bulunmasında gerekli olan girdiler geçerli geoteknik rapordan alınmıştır. Temelin tabanı düz ise, b faktörlerinin tümü 1'e eşit kabul edilir ve kullanılmayabilir.

Eğer temelin oturacağı yüzey düz ise Denklem 9.3 aşağıdaki haline dönüşür.



Şekil 4.3 Vesic (1973) taşıma gücü modeli

Denklem 9.3'de gösterilen boyutsuz taşıma gücü katsayıları aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2}) \quad ; \quad N_c = (N_q - 1) \cot(\phi') \quad ; \quad N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan(\phi')$$

Vesic (1975), temel geometrilerinin çok açıklıklı bir aralığın göz önüne alınması ve temel geometrisi katsayılarını aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilmektedir;

$$S_c = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$$

$$S_q = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan \phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4(B/L)$$

B / L'nin 0 olduğu durumlarda s değişkenleri 1'e eşittir.

Vesic (1975), temel derinlik katsayılarını bağıntılarla aşağıdaki gibi ifade etmiştir;

$$\begin{aligned}d_c &= 1 + 0.4 \times k \\d_q &= 1 + 2k \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \\d_\gamma &= 1\end{aligned}$$

k= Df / B kullanılacaktır.

Yük eğim katsayıları bağıntıları şu şekilde tanımlamıştır;

$$\begin{aligned}i_c &= 1 - (V/A)cN_c \geq 0 \\i_q &= \left[1 - \left(\frac{V}{P} \right) + Ac/\tan \phi \right]^m \geq 0 \\i_\gamma &= \left[1 - \left(\frac{V}{P} \right) + Ac/\tan \phi \right]^{m+1} \geq 0\end{aligned}$$

B yönünde eğimli yükler için; $m = (2 + B / L) / (1 + B / L)$

L yönünde eğimli yükler için; $m = (2 + L / B) / (1 + L / B)$

A: Temelin taban alanı,

V: Uygulanan kesme yükü,

P: Uygulanan normal yük Yükün temel tabanına dik etkimesi durumunda i faktörleri 1'e eşittir ve ihmal edilebilir. $\phi=0$ iken de i faktörleri 1'e eşittir.

Temel zemini eğim katsayıları aşağıda tanımlamıştır;

$$\begin{aligned}g_c &= 1 - \beta/147^\circ \\g_q &= g_\gamma = (1 - \tan \beta)\end{aligned}$$

Zemin yüzeyi düz ise ($\beta=0$), g faktörleri 1'e eşit olur ve ihmal edilebilir.

Taban eğimi katsayıları aşağıdaki bağıntılarda tanımlamıştır;

$$\begin{aligned}b_c &= 1 - (\alpha/147^\circ) \\b_q &= b_\gamma = (1 - \alpha \tan \phi/57^\circ)\end{aligned}$$

α : Temel taban eğimi

Temelin tabanı düz ise b faktörlerinin tümü 1'e eşit olur ve kullanılmayabilir.

Yukarıda verilen bağıntılar (drenajsız koşul) kullanılarak;

$N_q = 1$, $N_c = 5.14$, $N_\gamma = 0$, $s_c = 1.16$, $s_q = 1.0$, $s_\gamma = 1$, $d_c = 1.06$, $d_q = 1.0$, $d_\gamma = 1$, olarak hesaplanmıştır. Yük, temel ve zemin eğim katsayıları (i_c , i_q , i_γ , g_c , g_q , g_γ , b_c , b_q , b_γ) eğim olmadığı için 1 olarak alınır. Bu kohezyon değeri 30.7 kN/m^2 alınmakla birlikte Denklem 9.3'te yerine yazılırsa temelin karakteristik taşıma gücü (q_k) 243.78 kN/m^2 (24.38 t/m^2) ve dayanım katsayısı değer Sekil 9.1'den 1.4 olarak alınır, temelin tasarım taşıma gücü

174.13, kN/m² (17.41 t/m²) olarak bulunur. Bu değer proje müellifleri tarafından verilen, statik ve dinamik yüklerin toplamı olan temel gerilmesinden (20.0, t/m²) daha büyük olduğu için taşıma gücü problemi beklenmektedir. Yapılan hesaplar proje müellifleri tarafından bildirilen değerlere göre yapılmış olup, projede değişiklik yapılması durumunda hesapların revize edilmesi gerekmektedir.

Zemine koyulan yükün meydana getirebileceği oturma miktarı, yük miktarına ve zemin niteliğine tabi olduğu kadar aynı zamanda yük stresinin etki bölgesinin dağılım şekline de bağlı olmaktadır. Sismik metotta yük-oturma eğrisinin değişim şekli aşağıda belirtildiği gibi sağlanmaktadır. Elastik bölgelerde basınç sonucu meydana gelen esnek deformasyon miktarı Hooke Kanununa göre;

$$E = \frac{\text{Gerilme}}{\text{Şekil değiştirme}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4.3)$$

ile hesaplanmaktadır.

Geoteknik mühendisliği kapsamında zemine herhangi bir yük bırakıldığında zeminin elastik deformasyon karakter analizi tekniklerinden bir tanesi olan yatak katsayısı, k_s , ile belli bir stres altında zeminde oluşan hareket, oturma olarak tanımlar. Yatak katsayısı (k_s) Hooke kanunu tanımına uyumlu şekilde aşağıdaki gibi hesaplanır. Bu eşitlikte q sınır taşıma gücünü δ ise şekil değiştirmeyi ifade etmektedir

$$k_s = \frac{q}{\delta} \quad (4.4)$$

Nitekim Bowles (1984) yatak katsayısı, k_s , deneysel bağıntısını denklem 9.4'teki gibi tanımlamıştır (q_k : karakteristik taşıma gücü)

$$K_s = 40 \times q_k \quad (4.5)$$

Buradan q_k Denklem 4.2'den hesaplandığı gibi 17.4 t/m² olarak alınırsa, yatak katsayısı, k_s ;

$$K_s = 40 \times 17.4 = 975 \text{ t/m}^3$$

Olarak bulunur.

Yapılan tüm hesaplamalar sonucunda;

$$q_t \text{ (Tasarım taşıma gücü)} = 17.4 \text{ t/m}^2$$

Yatak katsayısının yaklaşık olarak $k_s = 975 \text{ t/m}^2$ olarak alınması uygun görülmüştür. Benzer şekilde hesaplar yapılarak üç blok için taşıma gücü ve yatak katsayıları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Taşıma gücü ve yatak katsayıları

Blok	Yapı Ağırlığı (ton)	mv (m ² /ton)	Gerilme (ton/m ²)	Elastik Oturma (cm)	Konsolidasyon Oturması (cm)	Toplam Oturma (cm)
A	6000	0.0011	2.65	0.4	4.6	5

Mühendislik yapıları taşıdıkları yükü sırası ile önce döşeme sonra kirişler ve kolonlar vasıtası ile temele buradan da yapıdan gelecek yükleri temel altındaki zemine aktarırlar. Yapıdan gelecek yükler sadece statik yüklerle sınırlı kalmamakla birlikte dinamik yükler de etkili olmaktadır bu nedenle yapılan taşıma gücü ve oturma analizlerine ek olarak sıvılaşma analizi de göz önünde bulundurularak temel boyutları veya sisteminin değiştirilmesi ya da zemin iyileştirme yöntemleri önerilmektedir. İnceleme alanında oturma problemi beklenmemektedir fakat söz konusu zeminin sıvılaşmaya karşı direncinin yetersiz olması ve taşıma gücünün düşük olması sebebi ile 6 metre (temel tabanından itibaren) derinliğinde sıvılaşabilir tabaka bulunması sebebi ile bu tabakaya yönelik iyileştirme yapılması tavsiye edilmektedir.

4.3.1. Zeminin mevcut şartlarda oturma hesapları

İnşaat sahasında sondaj loglarından elde edilen bilgiler ışığında temeller; SPT-N değerlerine göre orta kıvamda kil birimlere oturacaktır. Kil birimlerde genel olarak konsolidasyon oturması beklenir. Bu çalışmada 10.5-20m arasındaki killi zemin ve temelden 10.5 metreye kadar olan zeminin ince dane oranının yüksek olması nedeni ile homojen olarak modellenip tek bir tabaka halinde hesap yapılmıştır. Buna göre 17 metre ve orta noktası 8.5m’de olan tabaka için gerilme ve oturma değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır (M_v değeri geoteknik rapordan alınmıştır).

Yapılacak inşaat sonrası zeminde 4000 tonluk bir yük artışı olmakla birlikte yapılacak 2.9m kazı ve 19.35x23.4m temel boyutlarındaki ile beraber

$19.35 \times 23.4 \times 2.9 = 1313.1 \text{ m}^3$ hacminde zemin hafriyatı yapılacak olup çıkarılan zeminin ağırlığı;

$1313.1 \times 17.1 = 22453.9 \text{ kN}$ (2245.39 ton)’dur (17.1 kN/m^3 zeminin doğal birim hacim ağırlığını temsil etmektedir). Proje müellifleri tarafından bildirilen yapı ağırlığı yaklaşık 4000 ton olmakla birlikte, çıkarılan zeminle beraber

net ağırlık; $4000 - 2245.39 = 1754.61 \text{ ton}$ olmaktadır.

20m'den sonra sonra zemindeki sıkışmanın ihmal edilebileceği kabul edilerek üstündeki tabaka kil olarak düşünülürse, 2.9m temel kazısı ile birlikte 17.1m kil tabakası inşa sonrası sıkışabilir durumda olacaktır ve bu tabakanın orta noktası yaklaşık 8.55m'ye denk gelmektedir.

Temel tabanından itibaren 8.55m derinlikte yapıdan dolayı oluşacak gerilme farkı;
 $(1754.61)[(19.35+8.55)(23.4+8.55)] = 1.97 \text{ t/m}^2$ değerine düşecektir.

Tüm bu bilgiler ve Tablo 7.3'te belirlenen Mv değeri ($0.017 \text{ cm}^2/\text{kg} = 0.0017 \text{ m}^2/\text{t}$) için oturma;

$$\delta c = 1.97 \times 0.0017 \times 17.1 = 5.7 \text{ cm}$$

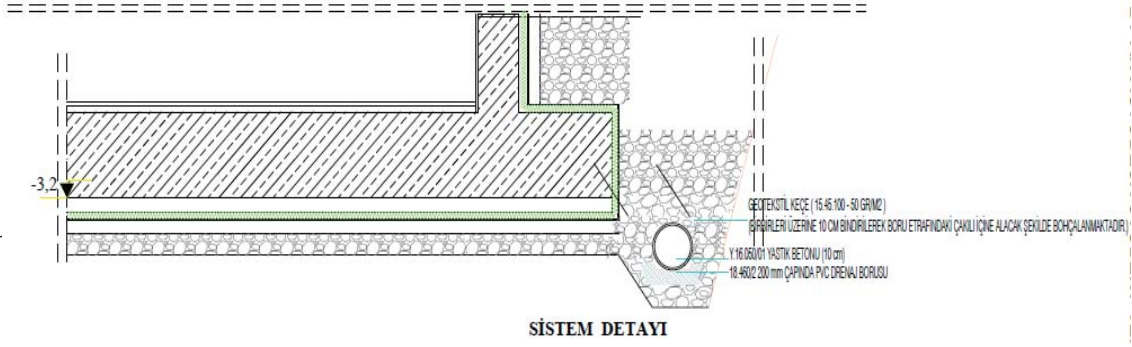
Elastik oturma yukarıda belirtilen Mayerhof yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak yapılan konsolidasyon (5.7) ve elastik oturma (0.6) hesabı sonucunda bulunan oturma (6.3) değeri radye temel için belirtilen sınırların içinde olduğundan oturma problemi beklenmemektedir.

4.3.2. Yeraltı suyu ve drenaj tedbirleri

Zemin etüdünde, sondajlar sırasında zeminde 3,50m den itibaren yeraltı suyu ile karşılaşıldığı belirtilmiştir. Bu su seviyesi, yağışlı periyot sonunda daha üst seviyelere çıkabilir. Bu nedenle yapı temellerinin suyla temasının önlenmesi için drenaj önlemleri düşünülmelidir. Temel alt kotunda yapılacak drenajla suyun boşaltılması için, drenajın su seviyesinin en düşük olduğu noktadan başlaması gerekmektedir.

Ayrıca çalışma alanında bina temel seviyesinin yağışa bağlı yüzey sularından etkilenmemesi için, yüzey suyu drenaj önlemleri alınarak uygun drenaj kanallarına yönlendirilmeli ve bina su basman kotu yüksek tutulmalıdır.

Temeller uzun süre açıkta bırakılmamalı ve yüzey suları ile teması engellenmelidir. Temelde uygun izolasyon önlemlerinin alınması (bohçalama vb. yöntemler) ve yalıtımın toprakla temas halinde bulunan diğer yüzeylerde de (perde vs.) sürdürülmesi önerilir. Temel kalıbı kurulmadan önce tabana geomebran serilmesi ve üzerine 10 cm grobeton dökülmesi alınacak tedbirler arasında sayılabilir. Kazı esnasında kazı çukurunda su birikmesi durumunda, birikecek suların bir köşede biriktirilip, pompaj sistemleri ile toplanarak atık su şebekesine ulaştırılması gereklidir.



Şekil 4.4. Temeller için alınması gereken drenaj önlemleri

5. ZEMİN ORTAMININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE GEREKÇE

Yapılan hesaplamalar, deney sonuçları ve arazi koşulları bir arada değerlendirildiğinde yüzeyden 15m derinliğe kadar taşıma gücü düşük sıvılaşma potansiyeli yüksek olan zemin tabakaları yer aldığı ve bu tabaklarda sıvılaşma sorunu olduğu belirlenmiştir. Yapının zemin gerilmesi sorunları açıkça görülmektedir. Dolayısı ile hem taşıma gücünü arttıracak hem de sıvılaşma olayını ortadan kaldıracak bir çözüme ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut problemler, de göz önünde bulundurularak bu tabakanın küçük olması ve taşıma gücü ile oturma problemleri olmaması sebebi ile en uygun ve ekonomik yöntemin zemin enjeksiyon olduğu düşünülmektedir.

5.1. Enjeksiyon Uygulaması ile Zemin İyileştirme Hesapları

Enjeksiyon uygulama aralığı 3.00 m x 3.00 m karelaj olarak seçilmiştir. Temel kazıları 2.70 metre derinliğinde planlanmıştır ancak enjeksiyon çalışmaları için temel oturum alanına 30 cm kalınlığında grobeton döküleceği için kazıların 3.40 metre kotuna kadar yapılması gerekmektedir. Böylelikle sondajlar -3.50 metre kotundan başlayıp -13.40 metre kotuna inecek şekilde her biri 10,0 metre derinliğinde tatbik edilmesi uygun görülmüştür. İncelemeye konu parselde yapılacak zemin iyileştirme uygulamasına ait plan kesit ekte yer almakta olup, proje kapsamında 50 adet kuyu delinerek konsolidasyon (sağlamlaştırma) enjeksiyonu yapılacaktır.

5.1.1. Enjeksiyonlarda kullanılacak malzemeler

5.1.1.1. Çimento

Suyun analizinde belirtildiği gibi YASS veya beton ve enjeksiyon şerbeti karma suyunda 600 mg/L ve daha fazla SO_4 varsa sülfata dayanıklı çimento kullanılacaktır. Cl^{-1} iyonu 0,015'ten fazla ise çimento için tedbir alınmalıdır. Sülfata karşı dayanıklı kullanılması gereken alanların dışında bulunan tüm enjeksiyon işlemlerinde kullanılacak olan portlant çimentosu TS-19 standartlarında bulunan PÇ-32,5 e uygun olması beklenmektedir. Yalnız çimentonun katkı türü uzmanlar tarafından belirlenmektedir. Bu çimentonun özgül yüzeyi en az 2800 cm^2/gr , 200 mikronluk elekte en fazla %1; 90 mikronluk elekte, en fazla %12

kalıntı materyal olması beklenmektedir. Yönetimin talebi göz önüne alındığında lüzumlu alanlarda kullanılması için özgül yüzeyi en az 4000 cm²/gr olan daha ince ebatlarda çimento sağlanmaktadır. Çimento TSE ve ASTM standartlarına uygun granülometrik analiz, priz başlangıç ve tamamlanma zamanı, hacimsel stabilite, basınç mukavemeti ve sedimentasyon deneylerinin yapılması gereklidir (Şekil 5.1.) gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Çimento görseli (URL-8, 2021)

5.1.1.2. Bentonit

Enjeksiyon karışımlarında bentonit kullanılması uygun bulunmuştur. Bentonitin nitelikleri TS 977 standartlarına elverişli olması gerekir. Dolayısıyla; bentonit katkısız olacak likit-limit değeri 400'den az olmayacaktır. Filtrasyonu 12,5 m' den az olmayacaktır. Nem oranı ağırlıkça en çok %10 olacaktır. Yaş elek analizinde 200 no'lu ekte (74 mikron açıklıklı), elek üstünde artan kalıntı en çok %1,5 olmaktadır. Susuz elek analizinde 149 mikron açıklıklı elek üstünde kalan kısım en çok %1 olacaktır. Direk viskozite ölçen aletle 600 dev/dk' daki viskozite değeri (25gr. Bentonit, 350 ml su ile) en az 30 saniye olacaktır. Bentonit en az 24 saat ayrı bir tankta 1/10 (bentonit/su) oranında karıştırılıp dinlendirildikten sonra kullanılacaktır (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. Bentonit görseli (URL- 9,2021)

5.1.1.3. Kum

Manometre yükselmeden 7/5 karışımlı şerbetten, 20 mikser (5m^3) verildikten sonra manometre basıncında artış olmuyorsa çimento ağırlığının %25 ve %50 oranında kumlu karışımlara geçilecektir. Kumlu karışım kullanılması gerektiğinde, kullanılacak kum, sert ve dayanıklı kaya kumu olacaktır. Bu kumlar kübik, ince daneli olmaktadır. İçinde doğal madde ile sodyum sülfat ve kil olmamalıdır. Bu sakıncalı madde oranı %5 ten fazla ise yıkanacaktır. Özgül ağırlığı 2 gr/cm^3 ten büyük, sodyum sülfat deneyi sonucundaki kayıpların ortalama ağırlığı ise %10 un altında olacaktır. Kumun ağırlıkça %95'i 16 numaralı (1,19 mm aralıklı elekten), %5'i 50 numaralı (0,297 mm aralıklı) elekten geçmelidir (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Enjeksiyon kumu (URL-10, 2020)

5.1.1.4. Su

Enjeksiyon şerbetlerinde kullanılacak su temiz ve berrak olmalıdır. İçerisinde yağ, asit ve alkali maddeler ile diğer yabancı materyallerden arındırılmalıdır.



Şekil 5.4. İnşatta kullanılan su (URL-12, 2020)

5.1.1.5. Katkı maddeleri

Kullanılması ön görülen katkı maddeleri ise; prizlenme sürecini uzatan geciktirmeye yarayan veya kısaltan hızlandırmaya yarayan, akış kabiliyetini arttıran akışkanlaştırıcılar, ayırmayı azaltan koruyan kolloidler, kasılmayı azaltan genişletici maddeler, su-çimento yüzdesini azaltan su indirgeyici vs. malzemeler yerine çelik aşındırmasına sebep olmayan, karışımın katılaşmasına ve dayanımının artmasına olumsuz tesirde bulunmayacaktır. Yüklenici katkıların yeterli ve uygun olması konusunda tam anlamı ile sorumludur. Kullanılması ön görülen katkı oranı gerekli olan minimum değerde tutulması gerekir. Çalışmaya başlamadan önce, gözlem ile kullanılması düşünülen her bir katkı karışımının niteliklerini nasıl etkileyebileceği uygun arazi ve laboratuvar deneyleri ile gösterilmektedir. Çevreye zararlı tesirleri mevcut olan katkı maddeleri çalışmada kullanılmayacaktır.

5.1.1.6. Kalafat malzemeleri

Yüzeyden veya yer altı enjeksiyon uygulaması esnasında enjeksiyon karışımının etkileşimde bulunduğu çatlak, eklem ve derz benzeri alanlar alçı, üstüğü, kama, takoz ve çimento gibi malzemeler ile kapatılmaktadır.

Tablo 5.1. Enjeksiyon şerbetleri ve karışım miktarının oranları(Geçerli geoteknik rapordan alınmıştır)

No	Karışım oranı	Çimento	Su	Bentonit	Kum	Mikser
1	1/3	50	150	2.5 (%5)	-	168
2	2/3	100	150	4.0 (%4)	-	186
3	1/1	150	150	4.5 (%3)	-	203
4	7/5	175	125	3.5 (%2)	-	185
5		175	125	3.5 (%2)	43,75	205
6		175	125	3.5 (%2)	87,5	225
7		175	125	3.5 (%2)	131,25	245
8		175	125	3.5 (%2)	175	265
9	7/5+%100 den fazla kumlu	175	125	3.5 (%2)	Karışım oranına göre hesaplanacak	Karışım oranına göre hesaplanacak

İlk önce 1/3 oranlı karışımdan başlanacak 1m³ verilecek, manometre basıncında yükselme yoksa 2/3 oranlı şerbete geçilip bundan da 1m³ verilmesine karşın basınçta yükselme yoksa 1/1 oranlıdan 1m³ verilecek, basınçta yükselme yoksa 7/5 'ten 5m³ verilecek, yine artış yoksa kumlu karışımlara geçilecektir (% 25, % 50 çimento miktarının). Gerekirse % 100 kumlu karışımlar verilecektir.

Harç enjeksiyonlarında başta ağırlıkça 7/5 oranında çimento/su karışımına çimento ağırlığının %25 i oranında ince kum ekleyerek, bu harçlı karışımdan 5m³ enjekte edilecektir. Alış olması durumunda, basınç yükselmedi ise çimento ağırlığının %50 si oranındaki kumlu harçtan 5m³ daha basılacaktır. Yine basınçta bir yükselme olmazsa, enjeksiyon pompası büyük oranlı harçları basabilecek kapasitede ise çimento ağırlığının % 100 ve % 200 lük kumlu karışımlara geçilecektir. %100'lük karışımdan 20 mikser ve daha sonrada %200'üne eşit kum ilave edilmiş şerbete geçilerek refü elde edilinceye kadar enjeksiyona devam edilecektir. Bu aşamada da basılan harç miktarları yukarıda belirtildiği gibi 5m³ olacaktır. Uygulama aşamasında gerektiğinde perde enjeksiyonlarında İdare isterse aşağıdaki karışımlar da kullanılabilir.

1. Karışım 1/1 + % 1 Bentonit + % ? SA (Süper akışkanlaştırıcı) 1m³ ile başlanacak;
2. Karışım 7/5 + % 1 Bentonit + % ? SA (Süper akışkanlaştırıcı) ve kumlu karışımlar Süper akışkanlaştırıcının cinsi ve miktarı yapılacak arazi ve laboratuvar deneylerinden sonra belirlenecektir.

Enjeksiyon alışlarının durumuna göre akışkanlaştırıcı ve priz hızlandırıcı katkı maddeleri kullanılacaktır. Priz hızlandırıcılar CL (klorür) içermeyecek cins ve miktarları laboratuvar deneyleri ile belirlenecektir.

Bir şerbet ile çalışırken manometre basıncında artış olursa, aynı karışımdan refüye gidilecektir. Bu karışım oranları ile hazırlanan şerbetler, hazırlanışından itibaren 2 saat içerisinde kullanılmalıdır.

Bir kademeye 25 ton çimento basılmasına karşın refü sağlanamamışsa prize bırakılıp sonra tekrar enjeksiyona devam edilecektir.

Yukarıda belirtilen karışım oranlarındaki şerbetlerde aşağıda belirtilen deneyler yapıp ona göre karar verilecektir.

Bu deneyler;

- a) Stabilité Deneyi.
- b) Priz Başlangıç ve Bitim Zamanı.
- c) Viskozite; Çim / Su = 1/3 + %2-5 bentonit karışımın viskozite değeri (Marş

hunisinde) maksimum 32 saniye olmalıdır.

d) Yoğunluk, sıcaklık

e) 7 ve 28 günlük dayanım

Bu deneylerin yapılabilmesi için aşağıda yazılan malzemeler şantiyede bulundurulmalıdır.

1-Marş hunisi

2-Gram hassasiyetinde terazi

3- Çamur kiti

a- 10 adet 1000 ml'lik mezür (beher) (değişik karışımlarda çökme deneylerini yapabilmek için)

b-Çamur terazisi (yoğunluk ölçer)

c- 1 adet 1 litrelik, 1 adet 3 litrelik kap

Buna göre İdarenin izni ile gerekli incelticiler kullanılıp kullanılmayacağı, hangilerine kimyasal akışkanlaştırıcı veya priz hızlandırıcı kullanılacağına karar verilecektir.

Yukarıda belirtilen şerbetlerin yoğunlukları mutlaka bilinmelidir. Zira manometre basıncı tayinlerinde bu yoğunlukların bilinmesi gereklidir.

Toplam basınçtan yoğunlukları belli olan bu şerbetlerin oluşturduğu statik yükler toplam basınçtan çıkarılıp veya ilavesi ile manometre basınçları tespit edilecektir (Geçerli geoteknik rapordan alınmıştır).

Tablo 5.2. Enjeksiyon karışımları özgül ağırlıkları

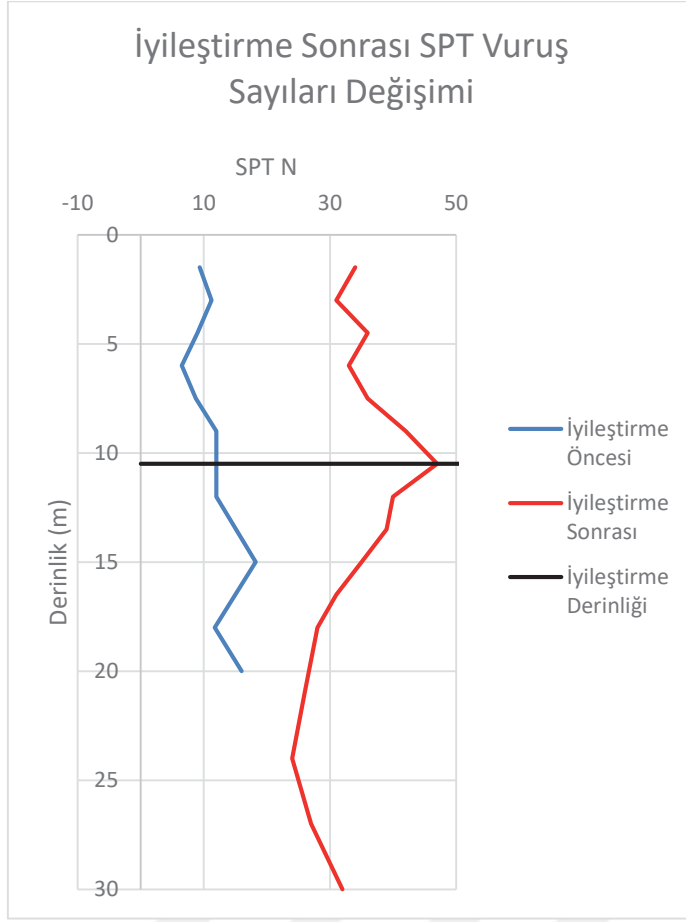
KARIŞIM ORANI (Çim/Su)	ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm ³)
1 / 3	1,20
2 / 3	1,36
1 / 1	1,50
7 / 5	1,65
7 / 5 + % 25 kum	1,70
7 / 5 + % 50 kum	1,75

5.2. İyileştirme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Etüt alanında 50 adet 10 metre derinlikte enjeksiyon yapılmış olup 1 hafta sonunda SPT deneyi yapılarak vuruş sayılarındaki değişim incelenmiştir. Vuruş sayılarındaki ve kayma dayanımındaki değişim Tablo 5.3’de ve Şekil 5.5 te verilmiştir.

Tablo 5.3. İyileştirme öncesi ve sonrası SPT vuruş sayıları değişimi(Geçerli geoteknik rapordan alınmıştır).

Depth	İyileştirme Öncesi		İyileştirme Sonrası	
	Ortalama SPT N	Kayma Dayanımı	SPT N	Kayma Dayanımı
1.5	9	56	34	105
3	11	67.5	31	93.75
4.5	9	54	36	123.75
6	7	39	33	127.5
7.5	9	52.5	36	138.75
9	12	72	42	161.25
10.5			47	191.25
12	12	72	40	161.25
13.5			39	157.5
15	18	109.5	35	142.5
16.5			31	123.75
18	12	70.5	28	112.5
20	16	96		
21			26	105
24			24	97.5
27			27	108.75
30			32	131.25



Şekil 5.5. İyileştirme öncesi ve sonrası SPT vuruş sayıları değişimi

Tüm bu sonuçlar incelendiğinde 10.5 metre derinliğe kadar SPT sayılarının artış gösterdiği görülmekle birlikte iyileştirme etkisi 16 metre civarına kadar azalarak devam etmiştir. Yine SPT vuruş sayıları ile hesaplanan drenajsız kayma dayanımında %89 artış gözlemlenmiştir. Temel tabanından itibaren 30 metre için ortalama SPT vuruş sayısı 33.4 olarak hesaplanmıştır. Buna göre zemin sınıfı ZD olarak belirlenmiştir.

6. ZEMİNİN İYİLEŞTİRME SONRASI TAŞIMA GÜCÜ HESABI

Bir temelin taşıma gücü zeminde göçme problemi meydana getirmeksizin (kayma dayanımı aşılmaksızın) zemine iletebileceği en fazla gerilme olarak tanımlanabilir. Zeminin taşıma gücü hesapları, geoteknik raporda belirtilmiş olup burada tekrar irdelenmiştir. Raporda belirtildiği üzere temel altında taşıma gücü sorunu beklenmekle birlikte iyileştirmeye gerek duyulmuştur.

Yönetmelikçe önerilen taşıma gücü ile yer altı suyunun yüksek olması ve killi zemin de bulunması sebebi ile olumsuz koşul olarak drenajsız durum seçilmiştir.

Yukarıda verilen bağıntılar (drenajsız koşul) kullanılarak;

$N_q = 1$, $N_c = 5.14$, $N_\gamma = 0$, $s_c = 1.16$, $s_q = 1.0$, $s_\gamma = 1$, $d_c = 1.06$, $d_q = 1.0$, $d_\gamma = 1$, olarak hesaplanmıştır. Yük, temel ve zemin eğim katsayıları (i_c , i_q , i_γ , g_c , g_q , g_γ , b_c , b_q , b_γ) eğim olmadığı için 1 olarak alınır. Bu kohezyon değeri 92.9 kN/m^2 alınmakla birlikte Denklem 9.3'te yerine yazılırsa temelin karakteristik taşıma gücü (q_k) 637.39 kN/m^2 (63.74 t/m^2) ve dayanım katsayısı değer Sekil 9.1'den 1.4 olarak alınır, temelin tasarım taşıma gücü 455.28 kN/m^2 (45.53 t/m^2) olarak bulunur. Bu değer proje müellifleri tarafından verilen, statik ve dinamik yüklerin toplamı olan temel gerilmesinden (20.0 t/m^2) daha büyük olduğu için taşıma gücü problemi beklenmemektedir. Yapılan hesaplar proje müellifleri tarafından bildirilen değerlere göre yapılmış olup, projede değişiklik yapılması durumunda hesapların revize edilmesi gerekmektedir.

Taşıma gücü 45 olarak alınması uygun görülmüştür. Buna göre yatak katsayısı $45 \times 40 \times 1.4 = 2500 \text{ ton/m}^3$ olarak alınması uygun görülmüştür.

6.1. Zeminin Mevcut Şartlarda Oturma Hesapları

Geçerli geoteknik raporda mevcut olan inşaat sahasında sondaj loglarından elde edilen bilgiler ışığında temeller; SPT-N değerlerine göre orta kıvamda kil birimlere oturacaktır. Kil birimlerde genel olarak konsolidasyon oturması beklenir. Bu çalışmada 0-20m arasındaki zemin temelden 10.5 metreye kadar olan zeminin ince dane oranının yüksek olması nedeni ile homojen olarak modellenip tek bir tabaka halinde hesap yapılmıştır. Buna göre 17 metre ve orta noktası 8.5m'de olan tabaka için gerilme ve oturma değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır (M_v değeri SPT korelasyonu ile hesaplanmıştır).

Yapılacak inşaat sonrası zeminde 4000 tonluk bir yük artışı olmakla birlikte yapılacak 2.9m kazı ve 19.35x23.4m temel boyutlarındaki ile beraber $19.35 \times 23.4 \times 2.9 = 1313.09 \text{ m}^3$ hacminde zemin hafriyatı yapılacak olup çıkarılan zeminin ağırlığı $1313.09 \times 17.1 = 22453.86 \text{ kN}$ (2245.39 ton)'dur (17.1 kN/m³ zeminin doğal birim hacim ağırlığını temsil etmektedir). Proje müellifleri tarafından bildirilen yapı ağırlığı yaklaşık 4000 ton olmakla birlikte, çıkarılan zeminle beraber net ağırlık $4000 - 2245.39 = 1754.61$ ton olmaktadır. 20m'den sonra zemindeki sıkışmanın ihmal edilebileceği kabul edilerek üstündeki tabaka kil olarak düşünülürse, 2.9m temel kazısı ile birlikte 17.1m kil tabakası inşa sonrası sıkışabilir durumda olacaktır ve bu tabakanın orta noktası yaklaşık 8.55m'ye denk gelmektedir. Temel tabanından itibaren 8.55m derinlikte yapıdan dolayı oluşacak gerilme farkı $(1754.61) / [(19.35 + 8.55)(23.4 + 8.55)] = 1.97 \text{ t/m}^2$ değerine düşecektir. Tüm bu bilgiler ve Tabloda belirlenen M_v değeri ($0.005 \text{ cm}^2/\text{kg} = 0.0005 \text{ m}^2/\text{t}$) için oturma;

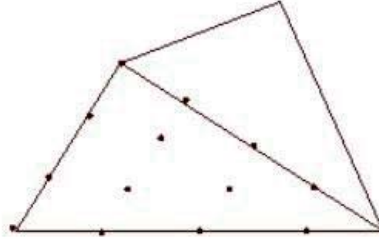
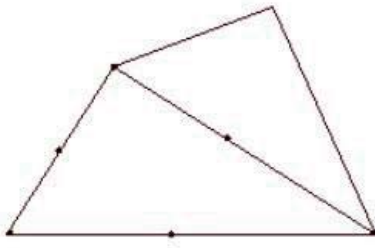
$$\delta_c = 1.97 \times 0.0005 \times 17.1 = 1.7 \text{ cm}$$

Elastik oturma yukarıda belirtilen Mayerhof yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak yapılan konsolidasyon (1.7) ve elastik oturma (0.2) hesabı sonucunda bulunan oturma (1.9) değeri Radye temel için belirtilen sınırların içinde olduğundan oturma problemi beklenmemektedir.

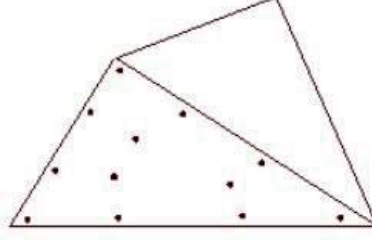
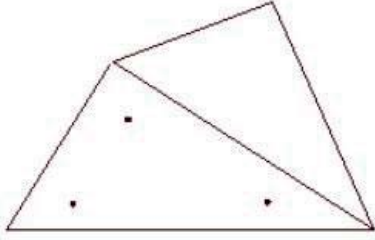
7. SONLU ELEMANLAR METODU VE PLAXIS 2D FOUNDATION

Sonlu elemanlar programı olan Plaxis Geoteknik mühendisliği problemlerinin sayısal analizi için geliştirilen bir programdır. Program, bilgi girişine bağlı olarak çalıştığı için giriş (input) programı, analizlerin gerçekleştirildiği hesap (calculation) programı, analiz sonuçlarını grafik olarak oluşturan (output) programı ve elde edilen sonuçlar sayesinde istenilen grafiğin oluşturan eğri (curve) programından meydana gelmektedir. Bu program, projelerin dizaynında gerekli olan deformasyon ve stabilize analizleri, zemin yapı etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, yükleme durumları, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği alanlarında ve çeşitli malzemelerin bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır ve hemen hemen gerçeğe yakın sonuçlar oluşturmaktadır. Uygulanan sonlu elemanlar formülasyonunda deplasman yöntemi kullanılmış, yani deplasmanlar esas bilinmeyen olarak kabul edilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemine göre, bir sürekli ortam birçok elemana ayrılmaktadır ve her bir eleman üzerindeki düğüm noktaları bir serbestlik derecesi oluşturmaktadır (Dikmen, 2013).

Plaxis programında sonlu elemanlar ağının oluşturulması esnasında hücreleri üçgen elemanlara ayrılmaktadır. Plaxis'te bu üçgen elemanlar 6 veya 15 düğüm noktalı olarak seçilebilmektedir. Gerilmelerin ve göçme yüzeylerinin olması gerekene daha yakın hesaplanabilmesi için 15 düğüm noktalı elemanın tercih edilmesi daha doğrudur kabul edilir fakat analizi yapan kişi bunun daha fazla sürede gerçekleşeceğini bilmelidir. Sonlu elemanlar hesabı esnasında deplasmanlar düğüm noktalarında hesaplanır. Düğüm noktalarını üçgen elemanlar üzerindeki dağılımı aşağıda gösterilen şekilde ifade edilmektedir. Problemlerin analizi aşamasında yer değiştirmeler düğüm noktalarında gerilmeler ise gerilme noktalarında hesaplanmaktadır. Düğüm noktaları yük deplasman eğrilerini meydana getirmek için daha önceden belirlenebilmektedir. 6 düğüm noktalı elemanın 3 gerilme noktası, 15 düğüm noktalı üçgen elemenda 12 gerilme noktası mevcuttur. Gerilme noktaları gerilme izlerini yada gerilme şekil değiştirme eğrilerini oluşturmak için önceden belirlenebilir. Burada 15 düğüm noktalı elemanlar kullanılmıştır. Bu noktalar Şekil 7.1'de görülmektedir (Osmanoğlu, 2007).



Düğüm Noktaları

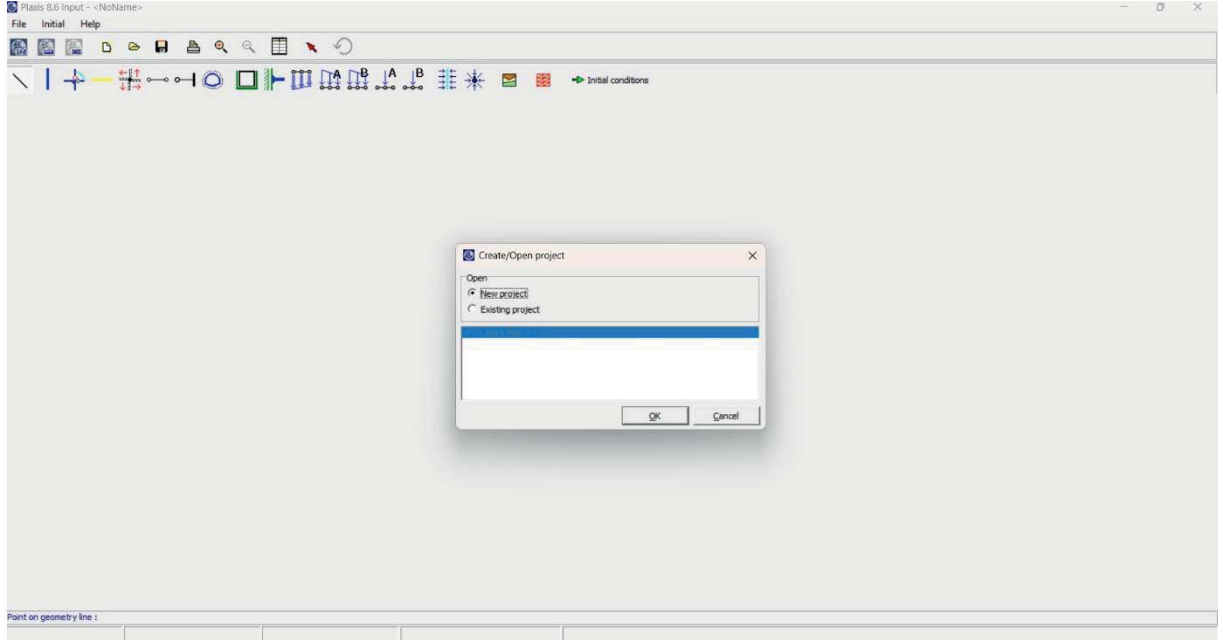


Gerilme Noktaları

Şekil 7.1. Plaxis ile Analizde Kullanılan Elemanlar, Düğüm Noktaları ve Gerilme Noktaları(Osmanoğlu, 2007).

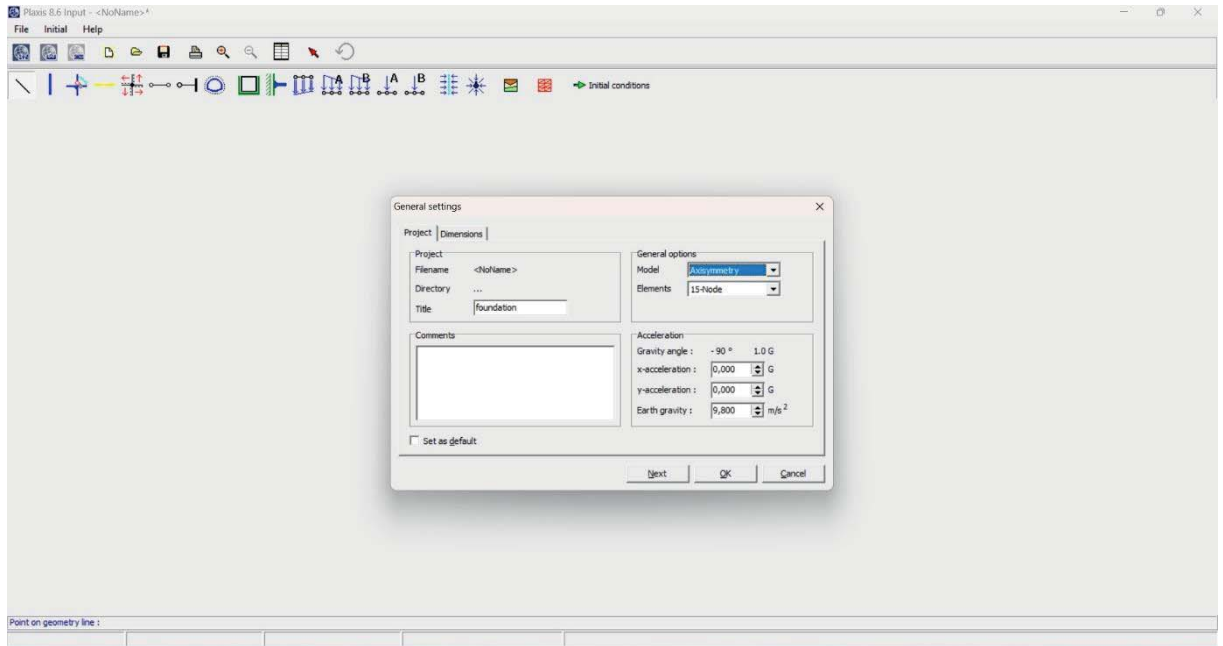
8. ANALİZ VE ÇIKTILAR

Plaxis programı çalıştırılır ardından yeni bir proje sayfası açılır (Şekil 8.1.).



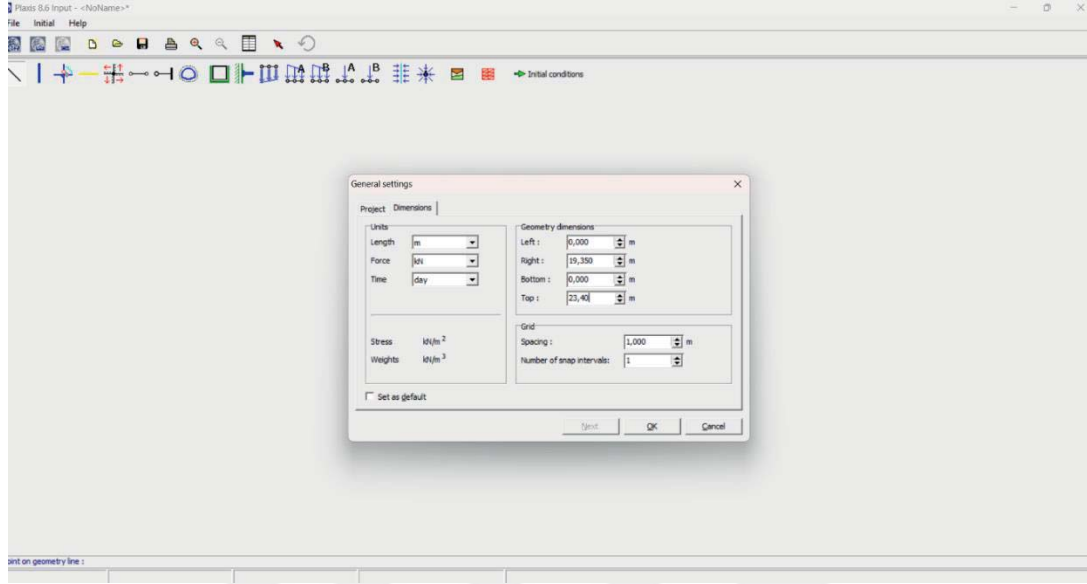
Şekil 8.1. Plaxis programı giriş ekranı

Modellemek istediğimiz kategori ve ne ölçekte modellemek istediğimizin projemizin ismini programa tanımlarız. (Şekil 8.2).



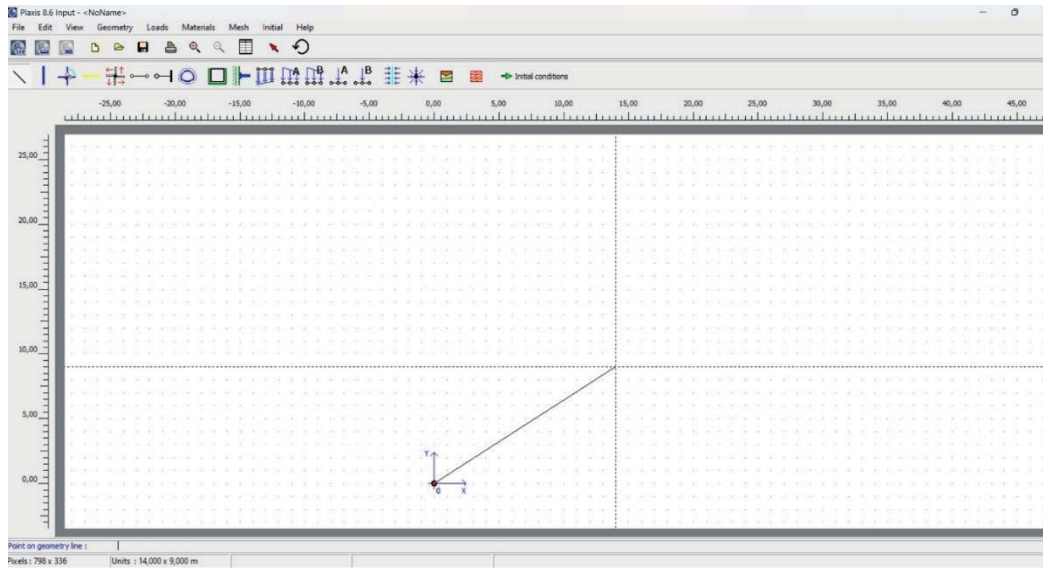
Şekil 8.2. Plaxis programına temel yapısı tanımlanması

Modellemek istediğimiz inceleme alanımızda mevcut olan verilerin birimlerini ve boyutlarını programımıza tanımlarız (Şekil 8.3).



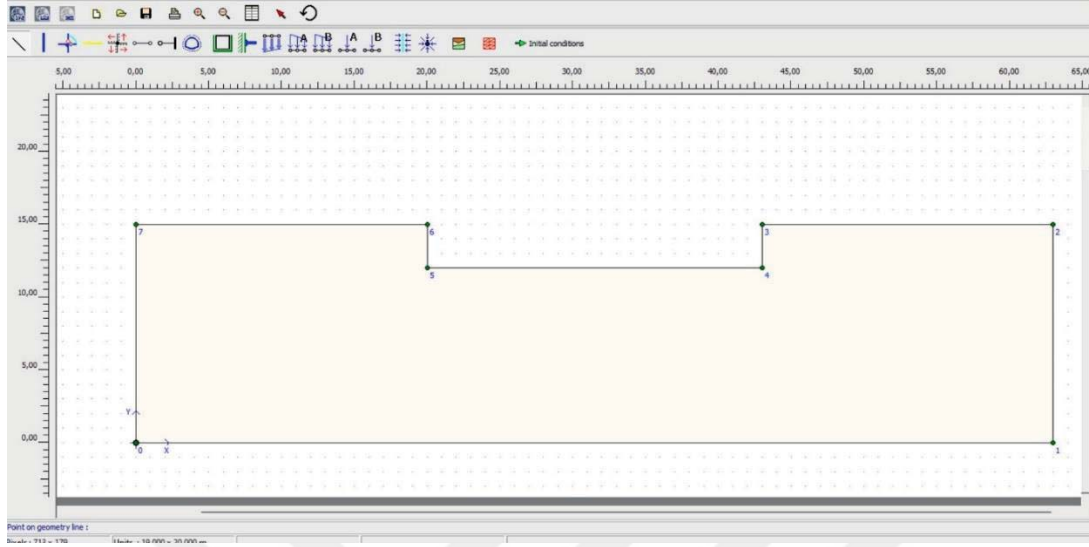
Şekil 8.3. Plaxis programına temel yapısını özelliklerinin tanımlanması

Plaxis programı koordinatlar üzerine çalışan bir programdır. Oluşturmak istediğimiz modellemeleri koordinat girerek oluştururuz. Öncelikle 0 0 ile koordinatımızı orjin noktasına sabitleriz programımız geometri line komutunu otomatik olarak aktif etmiştir (Şekil 8.4.).



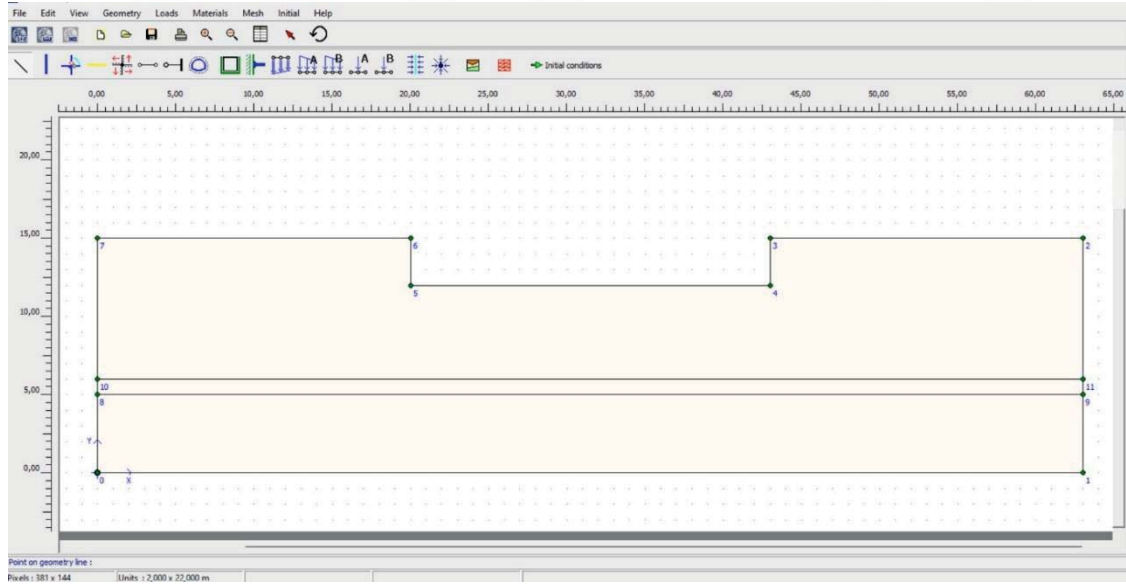
Şekil 8.4. Plaxis programı çizim komutu etkinleştirilmesi

İnceleme alanındaki verilere göre temel boyutlarımızı programa tanımlarız (Şekil 8.5).



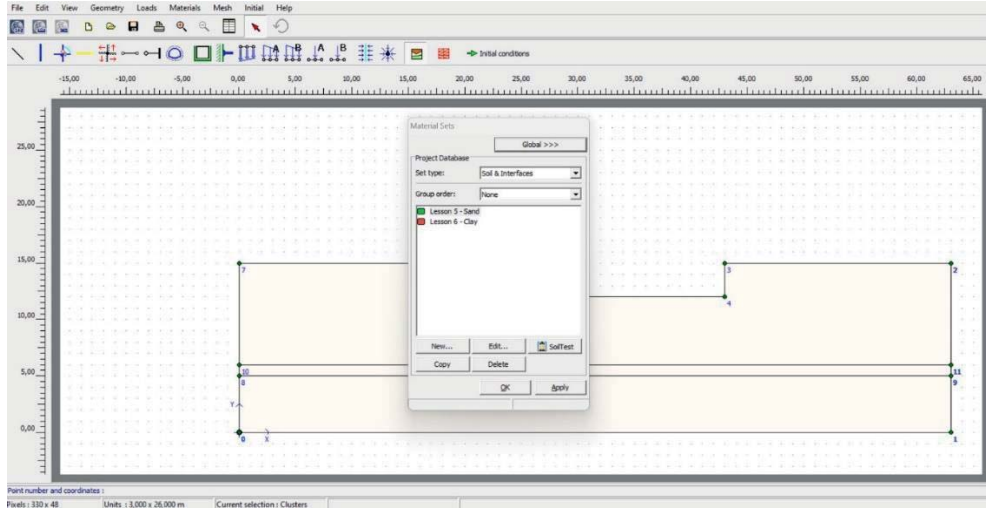
Şekil 8.5. Yapının oturacağı zeminin oluşturulması

İnceleme alanımızda bulunan verilere göre katmanlı yapıyı ve kazılan yerleri programda düzenleriz (Şekil 8.6).



Şekil 8.6. Zemin tabakalarının oluşturulması

İnceleme alanında mevcut olan ve geçerli geoteknik raporda bulunan verilere göre malzeme tanımlamalarımızı yaparız (Şekil 8.7).

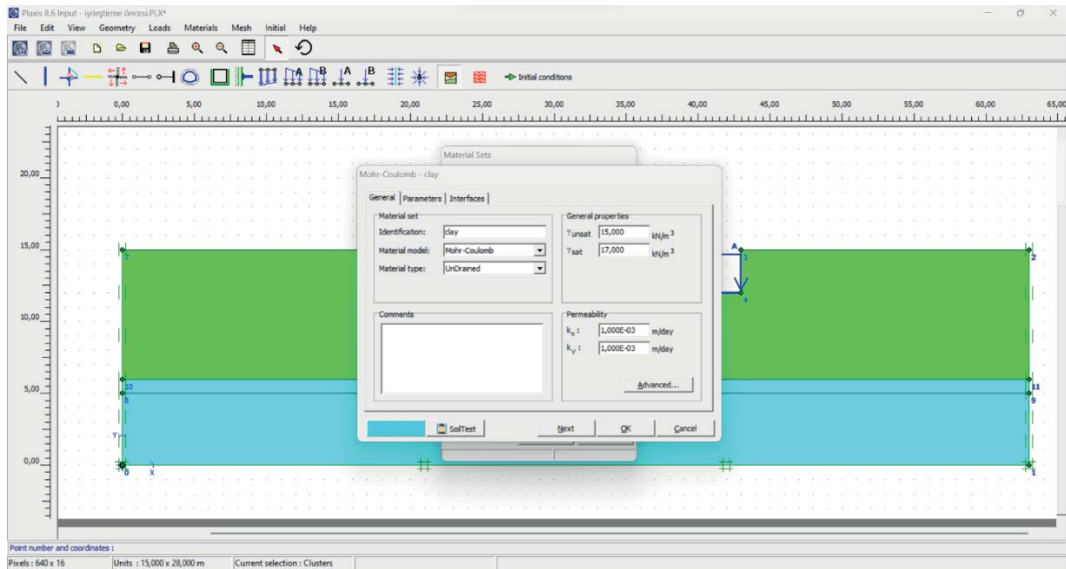


Şekil 8.7. Zemin tabakalarının özelliklerinin oluşturulması

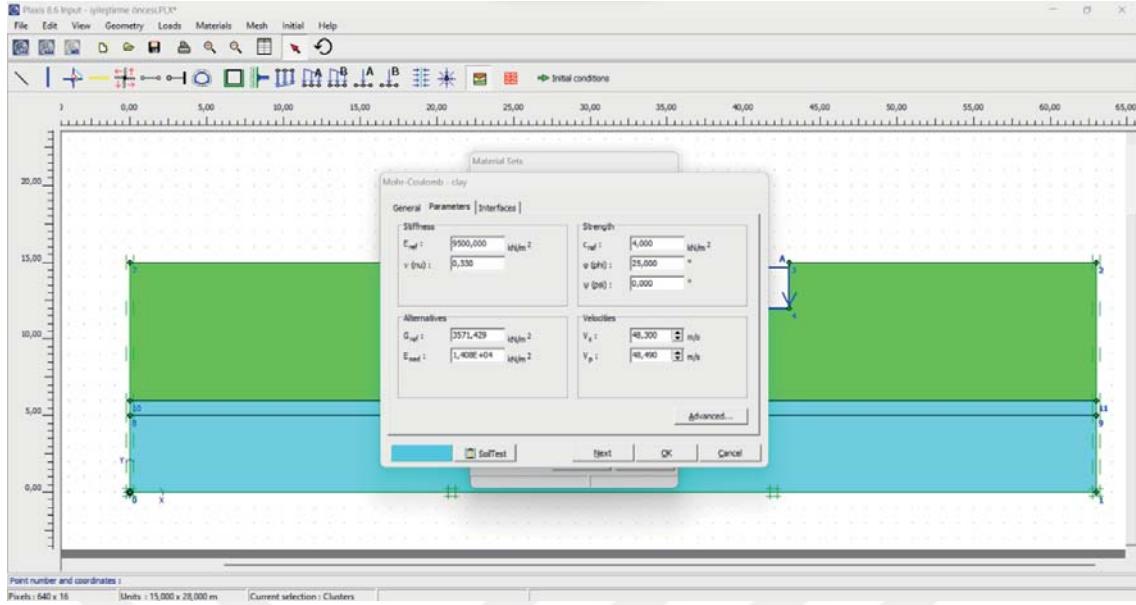
Gerekli çizimler ve veriler işlendikten sonra oluşturduğumuz tabakalara atama işlemimizi gerçekleştiriyoruz (Şekil 8.8).

Düzgün yayılı yük tanımlamamızın ardından.

İlk olarak en altta bulunan kil tabakamız için gerekli verileri programa tanımlarız (Şekil 8.8) (Şekil 8.9).



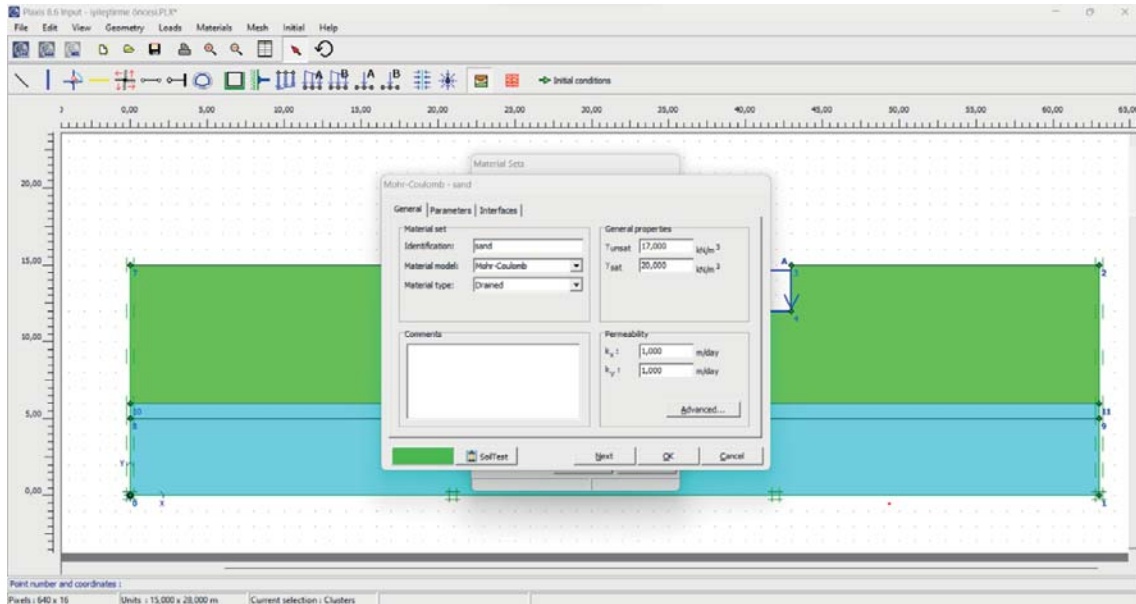
Şekil 8.8. Zemin tabakalarından kil tabakasının özelliklerinin tanımlanması



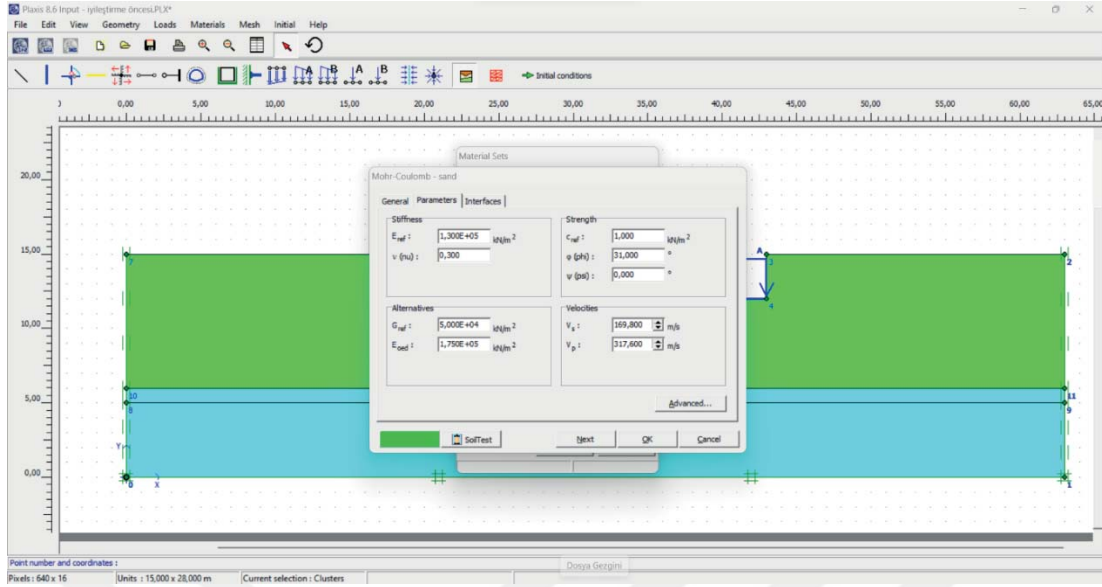
Şekil 8.9. Zemin tabakalarından kil tabakasının özelliklerinin tanımlanması

Daha sonra temel tabakamızında oturacağı kum tabakamızın gerekli verilerini programımıza tanımlarız.

Tabaka katmanı verilerine tıklayıp gerekli şekile atama işlemi yapılır. (Şekil 8.10) (Şekil 8.11).



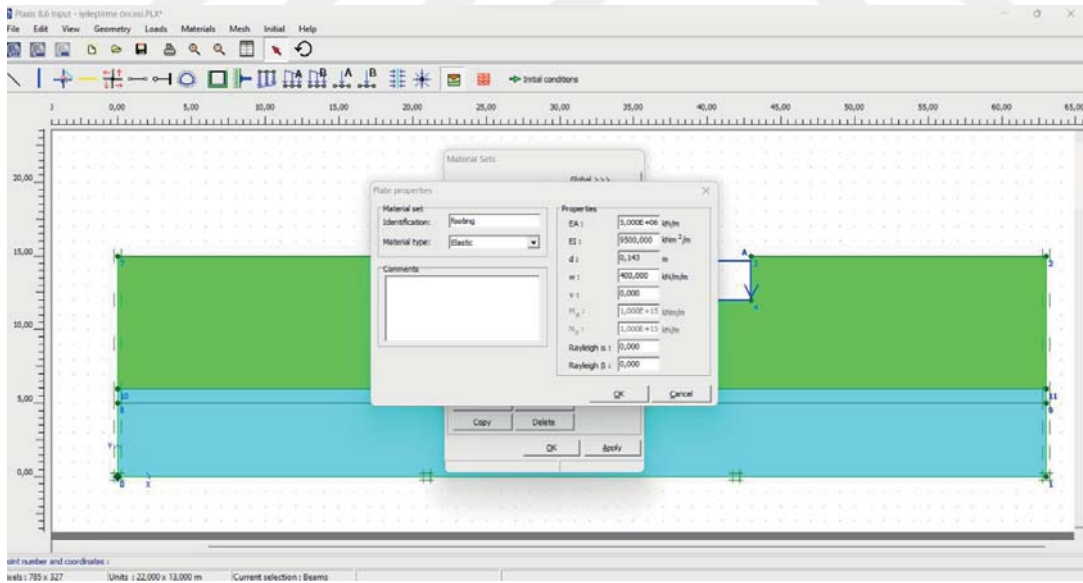
Şekil 8.10. Zemin tabakalarından kum tabakasının özelliklerinin tanımlanması



Şekil 8.11. Zemin tabakalarından kum tabakasının özelliklerinin tanımlanması

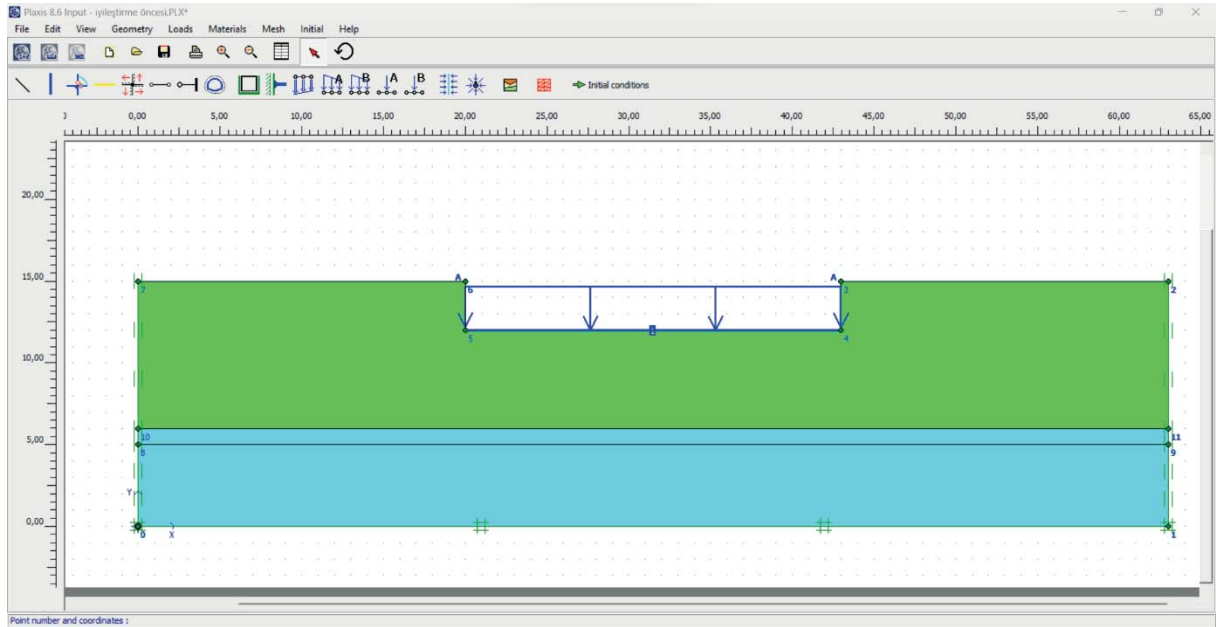
Temel tabakamızı plate tabakası olarak programa tanımlayıp gerekli veriler işlenir.)
(Şekil 8.12).

Tabaka katmanı verilerine tıklayıp gerekli bölüme tıklayarak atama işlemi yapılır.

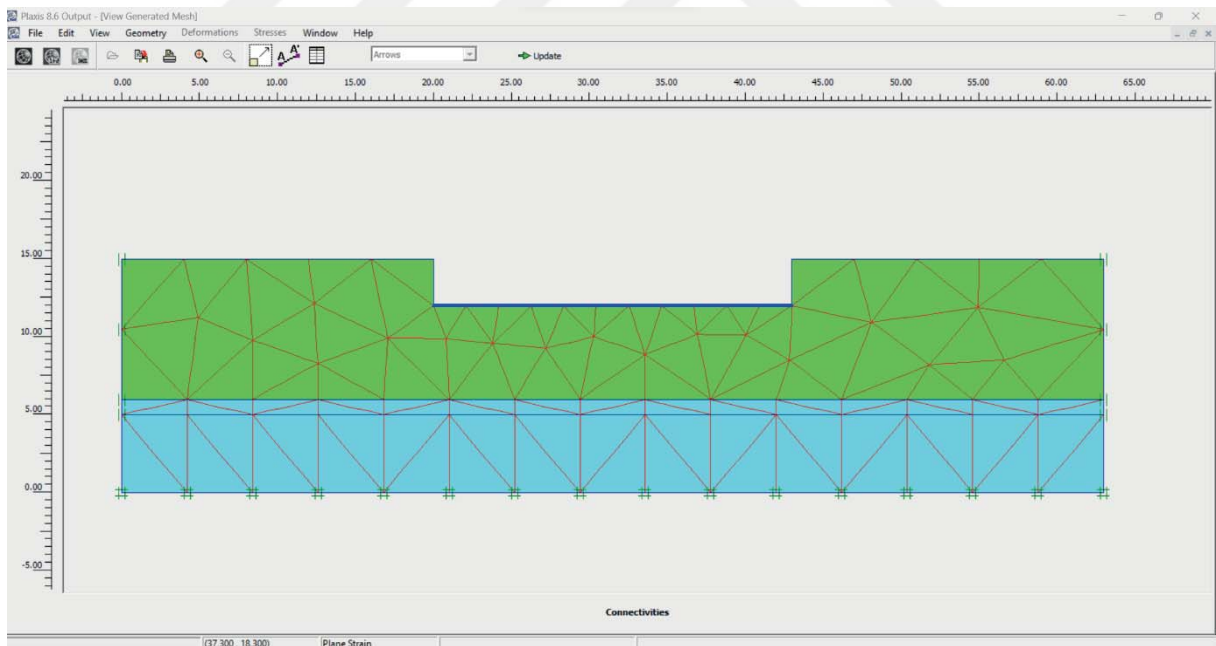


Şekil 8.12. Radye temel özellikleri tanımlanır

Görmek istediğimiz deplasmanlar temel yapısında olduğundan standard fixties komutu ile deplasmanların oluşacağı alanında sabitleme işlemini gerçekleştiririz (Şekil 8.13).

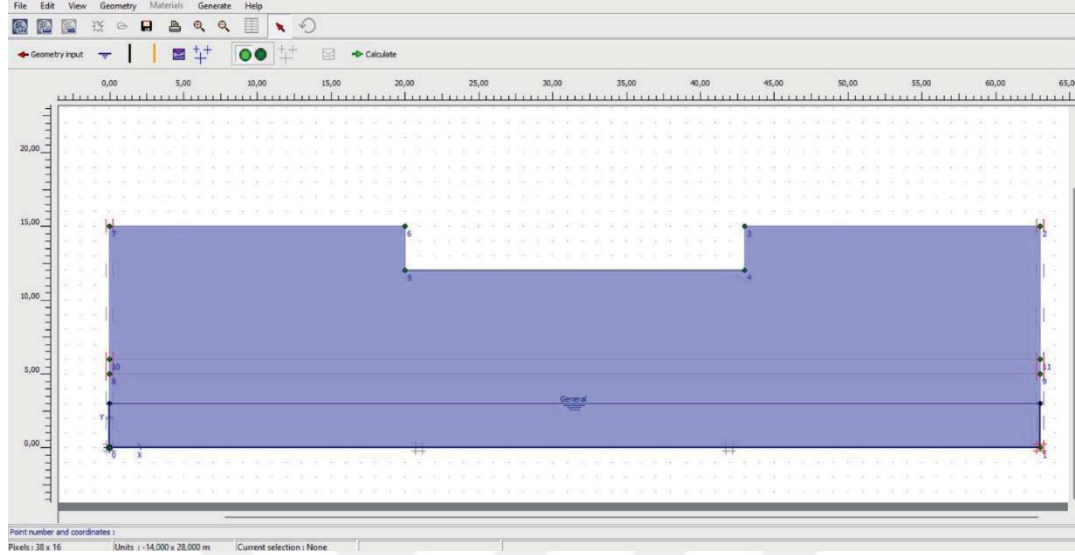


Generate mesh işlemi ile deplasmanları şu şekilde gözlemleriz .



Ağ diyagramı 15 node göre oluşturulmuş olup daha hassas bir deplasman ölçümü yapılmak istenmiştir. Ağ diyagramının sık olduğu bölgelerde deplasmanlar daha yüksek derecede meydana geldiği anlamına gelmektedir.

Intial conditions komutu ile geçerli geoteknik raporda belirtilen seviyede yer altı su seviyesi tanımlanmıştır (Şekil 8.15).



Şekil 8.15. Yeraltı su seviyesi tanımlanır

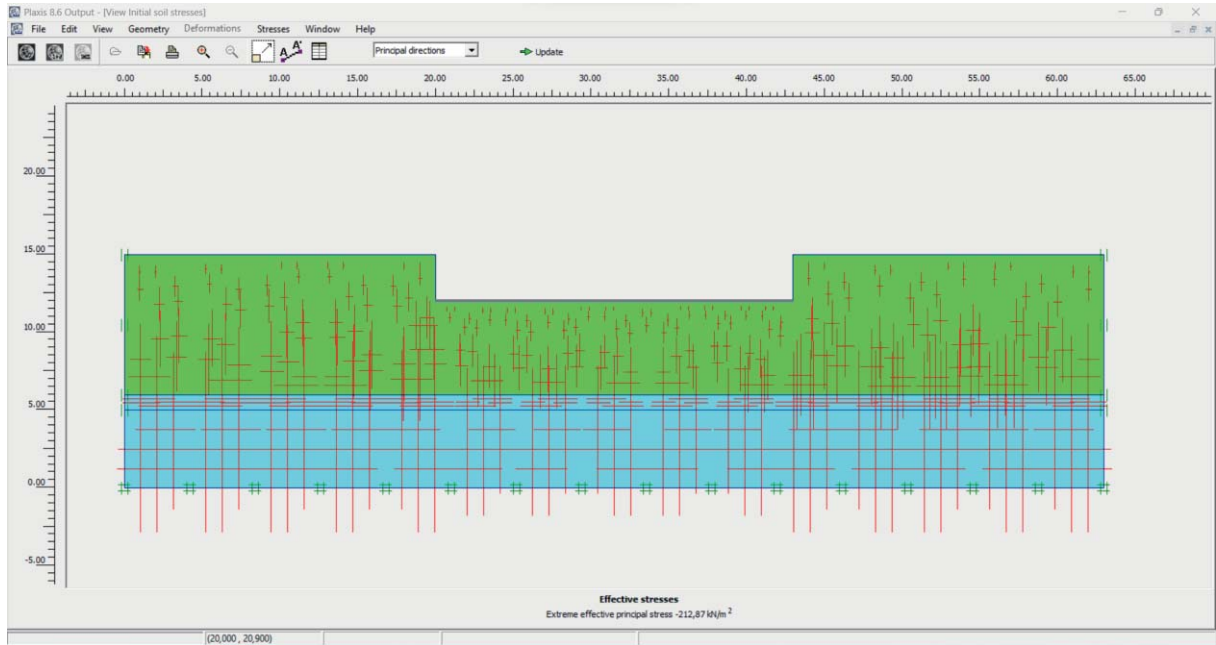
Yeraltı su seviyesi tanımlanmasının ardından deformasyonları ve deplasmanları gözlemlemek üzere;

Update işlemi gerçekleştirilir bu aşamada program K0 değerini tanımlamızı ister.

K0 değerini programın otomatik olarak getirdiği değeri onaylarız.

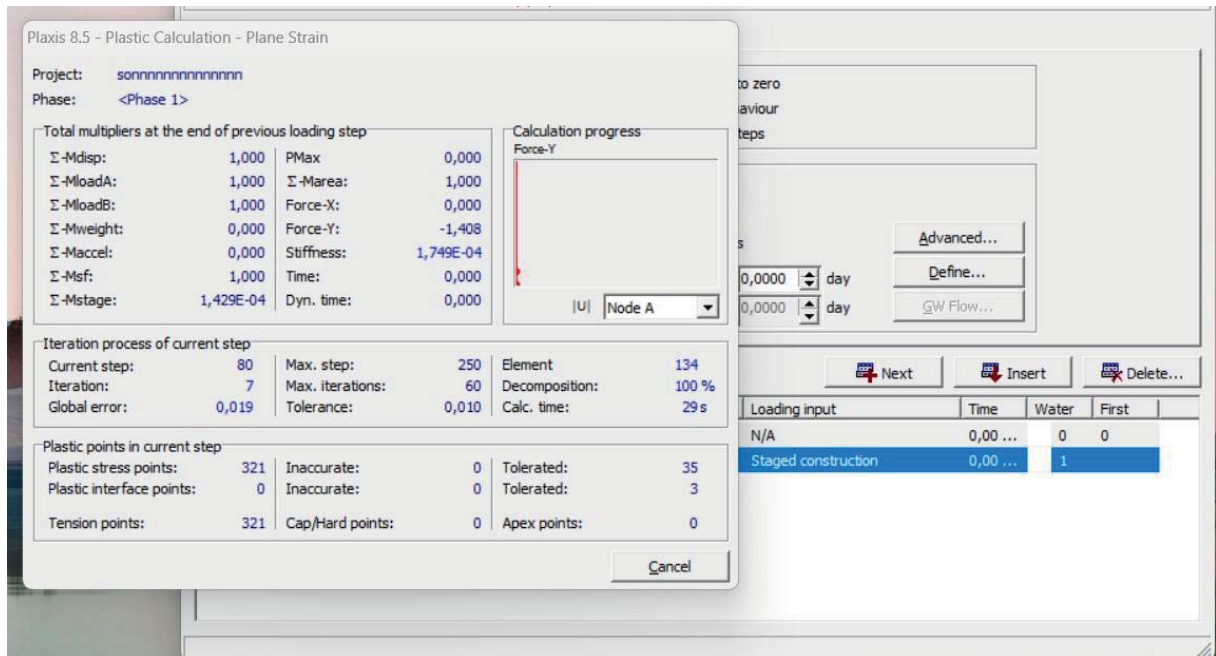
Aşamalı bir işlem gerçekleştirmemiz gerekir bu sebeple deformasyon oluşturacak elemanlar seçilerek aktif edilir ve update edilir.

Update işemini tamamlamamızın ardından calculate işlemini gerçekleştirip zeminde meydana gelen total deformations değerlerini gözlemleriz '+' işaretinin yoğun olarak bulunduğu alanlarda maksimum düzeyde deformasyonlar meydana geldiği anlamına gelmektedir (Şekil 8.16). Görüldüğü üzere total stresler temel tabakasının oturduğu alanda yoğunlaşmaktadır.



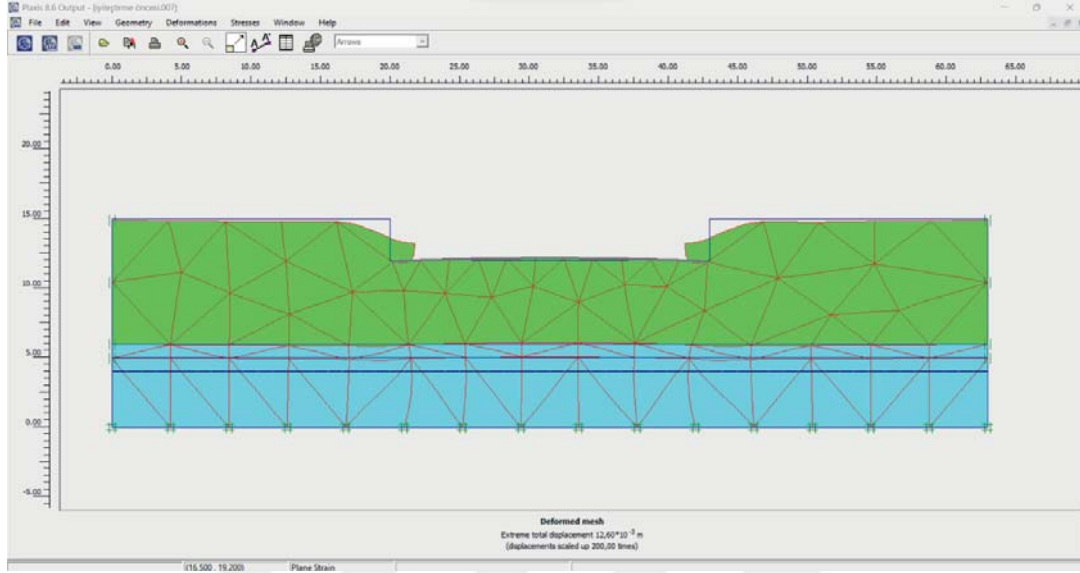
Yapılan hesaplamaların ardından temel tabakasının oturduğu alanda meydana gelen efektif gerilmeler gözlemlenir.

Calculate işlemi ardından program gerekli hesaplamaları ve deformasyonları büyük oranda büyütür ve sonuçlar gözlemlenir (Şekil 8.17).



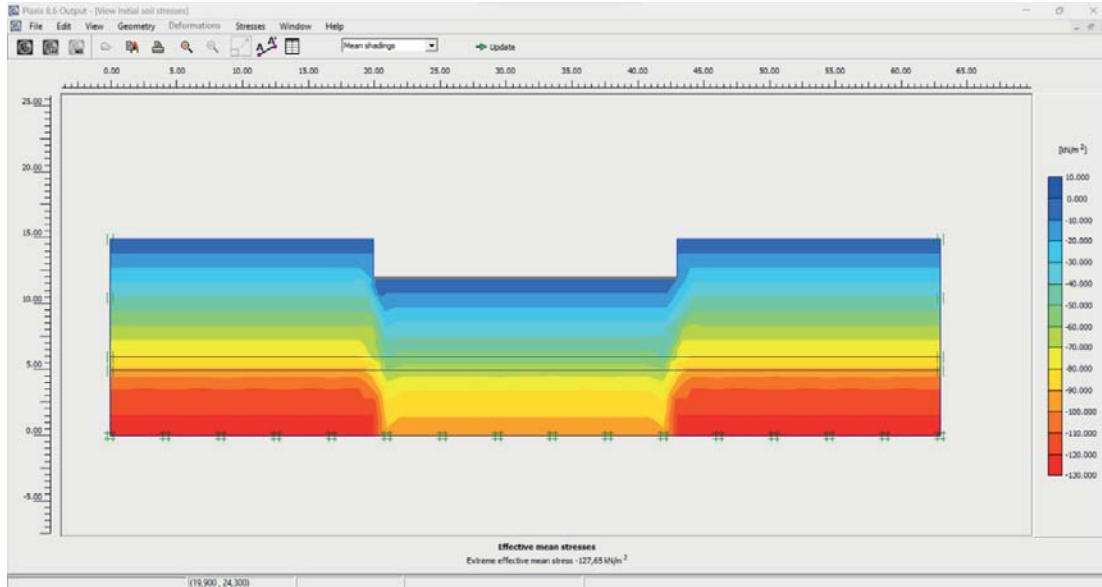
Şekil 8.17. Deformasyonların hesaplanma aşaması

Total deformasyonlar programın fazlası ile büyütürük oluşturduğu deformasyon řu şekilde gözlemlenmektedir (şekil 8.18).



şekil 8.18. Deformasyonların hesaplama sonrası deformasyonun mesh görüntüsü

Shear mesh ile gösterimi aşağıdaki gibidir. Kırmızı renginin yoğunlaştığı bölgelerde temel tabakasının oturduğu tabakada total deformasyonlar yüksek düzeydedir (şekil 8.19).



şekil 8.19. Deformasyonların hesaplama sonrası deformasyonun mean shadings görüntüsü

Şekillerdede görüldüğü üzere yapımızı oturtacağımız zemin özelliklerimiz yapımızı taşıması açısından uygun görülmemektedir. Plaxis programı sonlu elemanlar metoduna göre çalışır ve deplasmanları oluşması istenen alanda birkaç kat büyütür sonuçlandırmaktadır. Sonuçları bu açıdan da değerlendirmek gerekir.

Zemin özelliklerinin yetersiz olması ve yapının oturtulacağı bölge deprem bölgesi olması sebebi ile zeminde iyileştirme uygun görülmüş ve uygun görülen derinlikte uygun görülen sayıda ve malzeme ile hesaplanan basıç değerleri baz alınarak zeminde iyileştirme çalışması yapılmıştır. Çalışma sonrasında ki yaklaşık değerler baz alınarak sonlu elemanlar programı üzerinden yeniden modellenmiştir.

Tablo 8.1. İyileştirme sonrası elde edilen veriler (Geçerli geoteknik rapordan alınmıştır)

GEOTEKNİK DEĞERLENDİRME ÖZET TABLOSU	
Zemin Emniyet Gerilmesi	45 t/m ²
Yatak Katsayısı	2500 t/m ³
Yer Altı Su Seviyesi	3.May
Bina Önem Katsayısı	1
Bina Kullanım Sınıfı	3
Bina Yükseklik Sınıfı	6
Deprem Tasarım Sınıfı	2
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Yerel Zemin Sınıfı	ZD
S_s	0.940
S₁	0.265
S_{DS}	1.057
S_{D1}	0.549
Taşıma Kapasitesi Değerlendirmesi	Uygundur
Oturma Sınırı Değerlendirmesi	Uygundur
Sıvılaşma Değerlendirmesi	Sıvılaşma potansiyeli kalkmıştır.

İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları sonucunda, stratigrafik istifin en üst kısmını nebati toprak oluşturmakta olup, birimlerin temel taşıma özelliği yoktur ve kalınlığı ortalama 0-0,5 metre olarak belirlenmiştir.

Yapılan sondaj çalışmalarında 0-0,50 metre Nebati Toprak, 0,5-20,00 metre arasında ise oldukça gevşek Kahve renkli çakıllı kumlu siltli kil tespit edildiği geçerli geoteknik raporda belirtilmiştir.

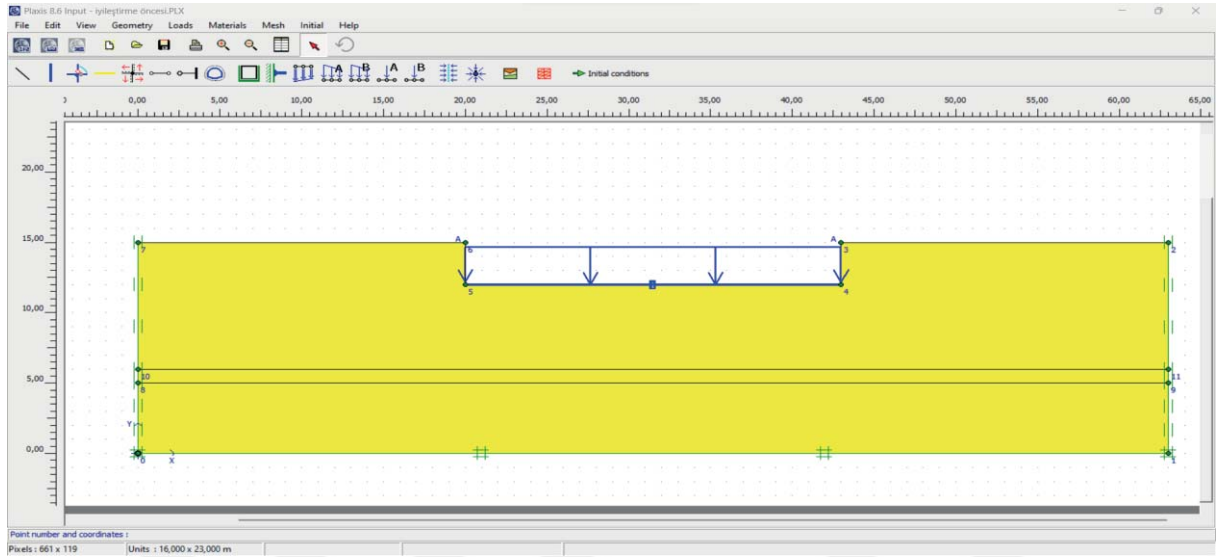
Enjeksiyon işlemi gerçekleştirilmesinin ardından yapılan laboratuvar deneyleri ve gerekli hesaplamalar sonucunda geçerli geoteknik rapordan alınan verilere dayanılarak geoteknik tablo verilerine dayanılarak Plaxis sonlu elemanlar metodunun zemini homojen

ve izotrop kabul edilmesi sebebiyle katmanlar çakıllı kum parametrelerine uygun olarak tanımlanmıştır. Belirlenen değerler şekil verileri içerisinde mevcuttur.

Buna göre;

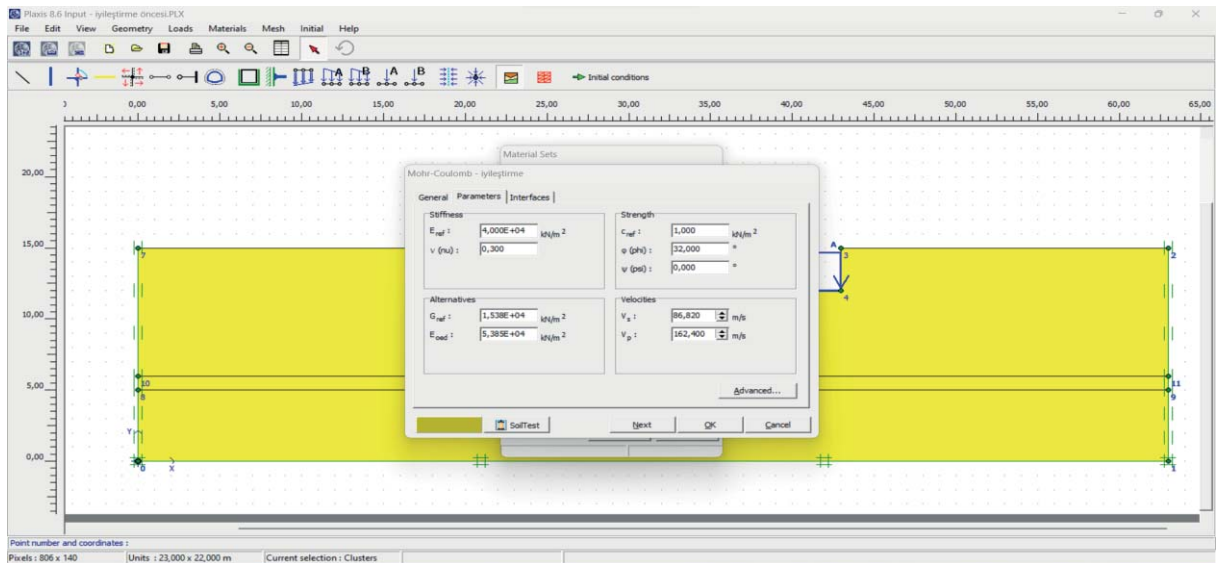
Program çıktıları aşağıdaki gibidir;

İyileştiren zemin tabakası temel plağı ve oluşması beklenen yük tanımlanmıştır (Şekil 8.20).

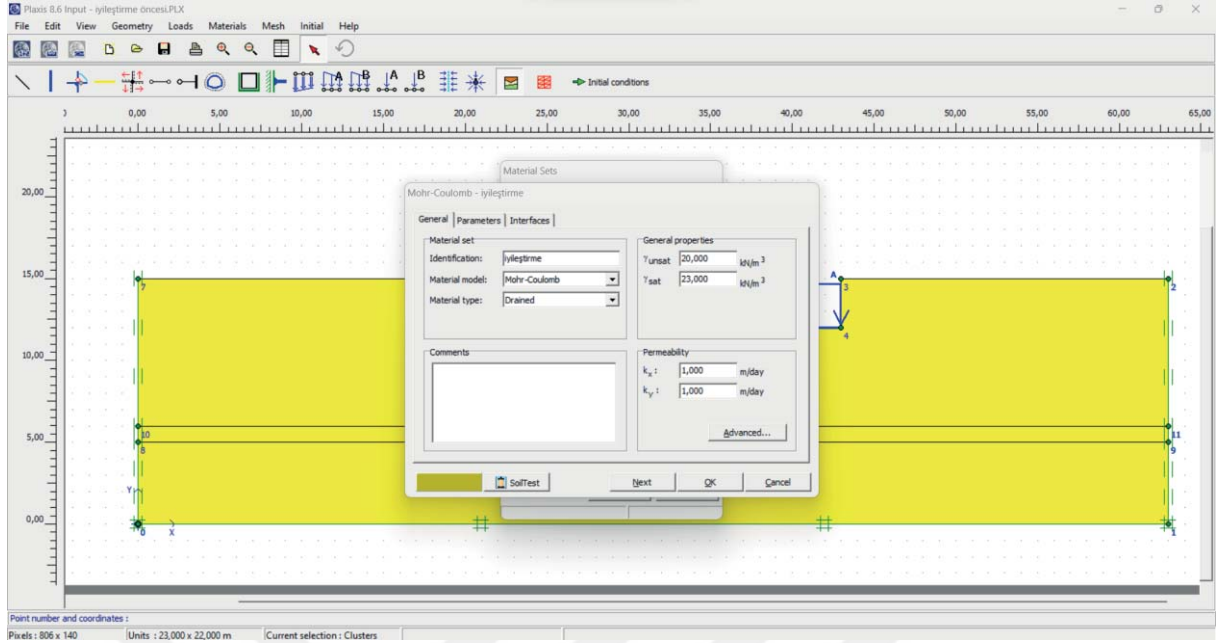


Şekil 8.20. İyileştirme yapılan zemin tabakasına yayılı yük ve temel tabakasının tanımlanıp standart fixies işlemi yapılması.

İyileştirilen zemin tabakasının özelliklerinin tanımlanması (Şekil 8.21) (Şekil 8.22).

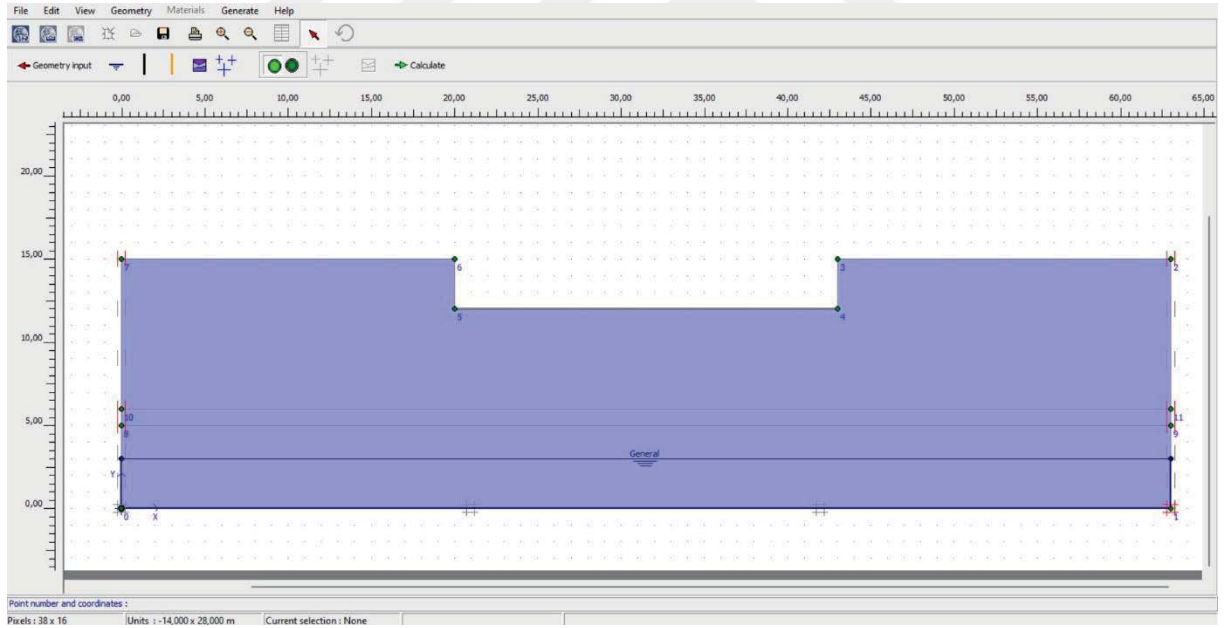


Şekil 8.21. İyileştirme yapılan zemin tabakasının özelliklerinin tanımlanması.



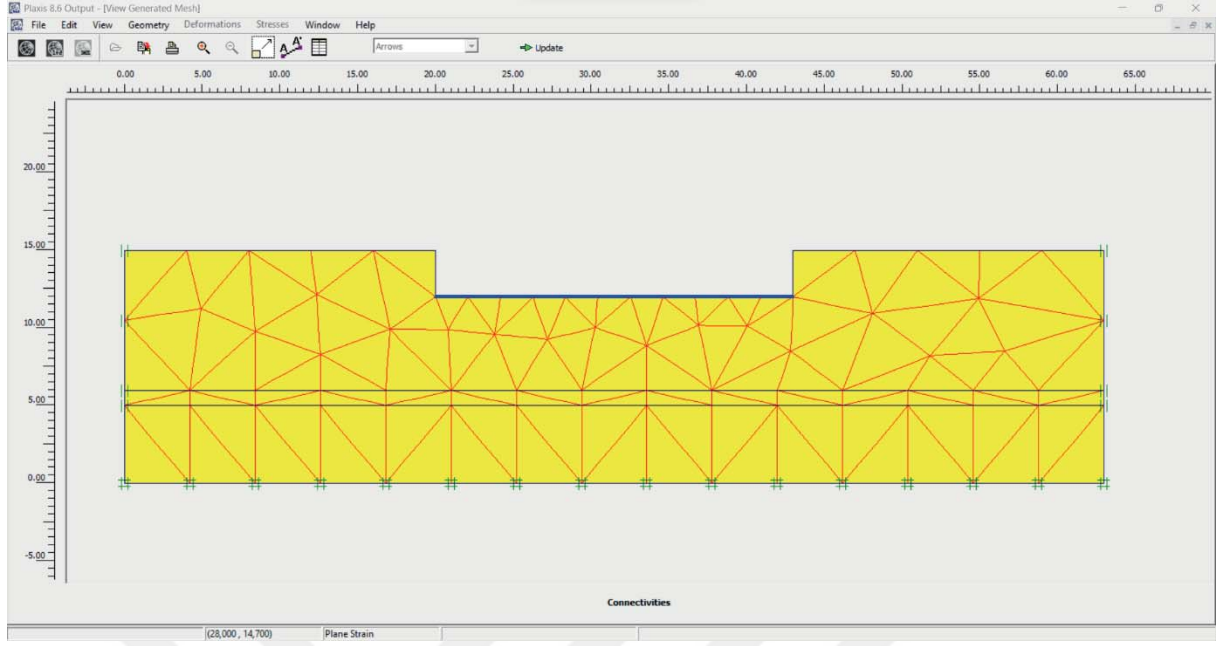
Şekil 8.22. İyileştirme yapılan zemin tabakasının özelliklerinin tanımlanması.

Yeraltı su seviyesi programa tanımlanır update işlemi öncesinde (Şekil 8.23).



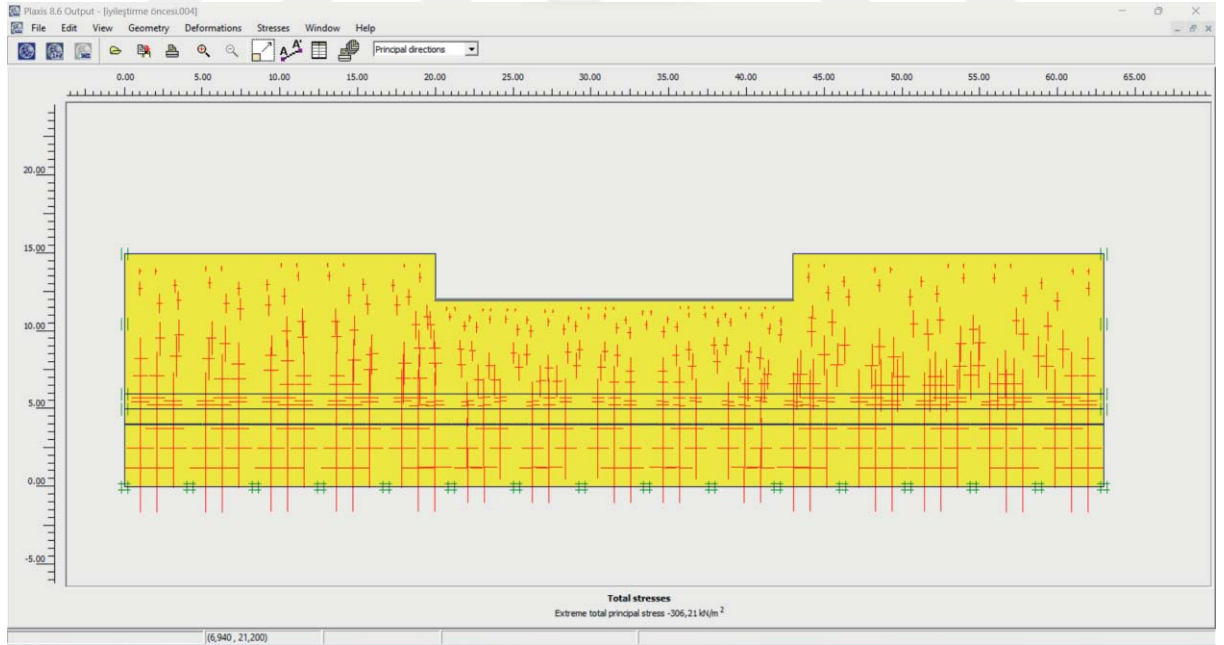
Şekil 8.23. İyileştirme yapılan zemin tabakasına yeraltı su seviyesi tanımlanması.

Generate mesh işlemi ile oluşması beklenen hareket düzeyi gösterilmektedir. 15 node hassasiyetinde elde edilen mesh diyagramında da görüldüğü üzere yapılan iyileştirme işlemi zemin üzerinde olumlu etki oluşturmuştur (Şekil 8.24).



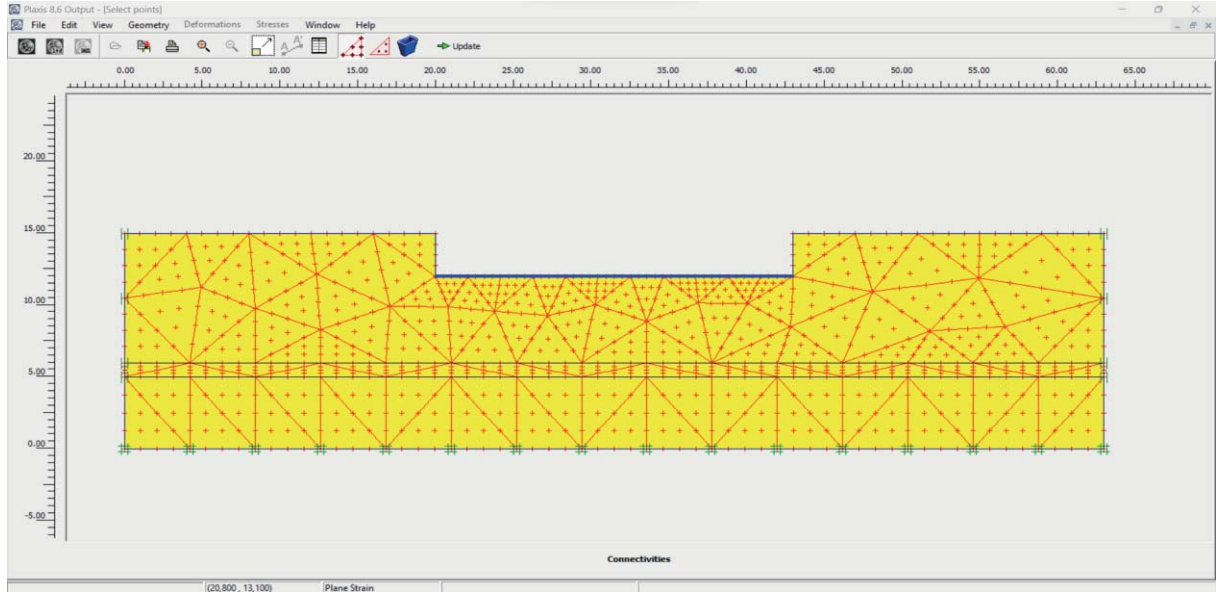
Şekil 8.24. Generate mesh işlemi iyileştirilen tabakalarda deplasman miktarı gözlemlenir.

Zeminde oluşan total deformasyon çıktısı ile beraber aşağıda görüldüğü üzere zeminde oluşan total efektif gerilmeler şekildeki gibidir. (Şekil 8.25).



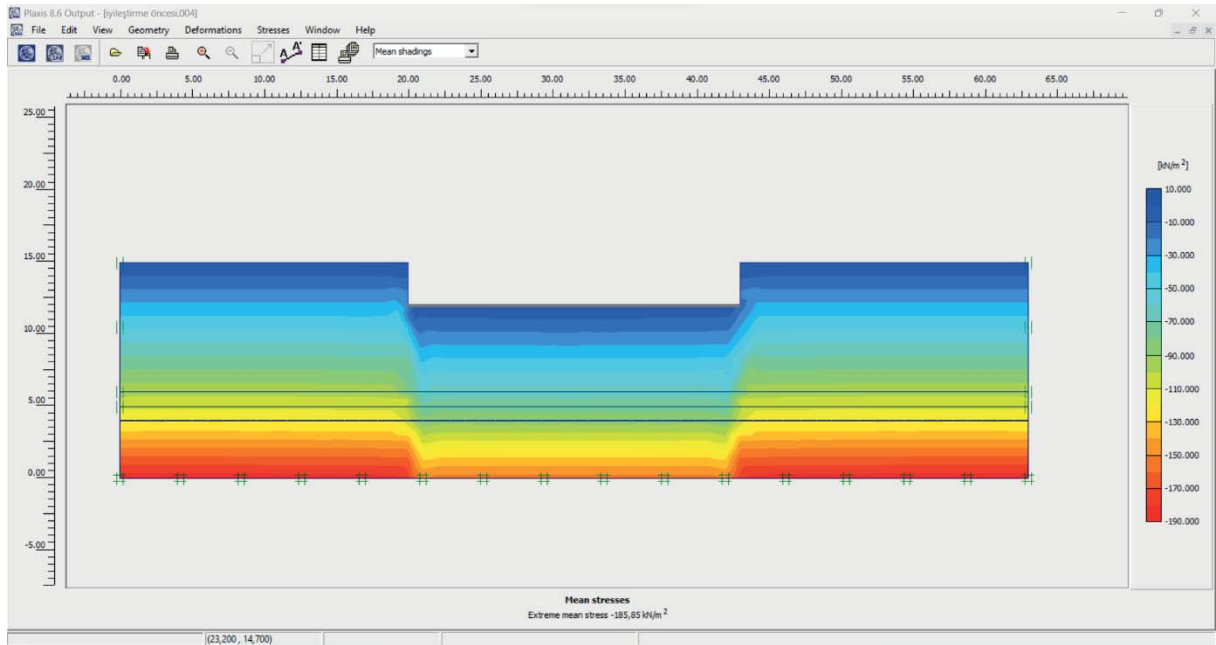
Şekil 8.25. İyileştirme işlemi uygulanmış zemin tabakalarında meydana gelen efektif gerilmeler gösterilmektedir.

Zeminde oluşan gerilmeler ve deformasyonlar en fazla temel tabakamızın oturduğu yüzeyde meydana gelmiştir. Aşağıda bulunan diyagramda gösterilmektedir .



Şekil 8.26. İyileştirme işlemi uygulanmış zemin tabakalarında meydana gelen total gerilmeler gösterilmektedir.

Sonuç olarak iyileştirme sonrasında yapımızın oturacağı zeminin taşıma gücü açısından yeterli bir duruma geldiği şekilde tehlikeli olarak varsayılan kırmızı renk yoğunluğundaki azalma ile gösterilmektedir (Şekil 8.27).



Şekil 8.27. İyileştirilen zeminde deformasyonların hesaplama sonrası deformasyonun mean shadings görüntüsü.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Elazığ ili merkez mahallesinde bulunan yapının yapılacağı zemin üzerinde gerekli değerlendirmeler yapılarak zemini, yapıyı güvenli bir şekilde taşıyacak ve bölgenin tektonik yapısını da göz önünde bulundurarak depreme dayanıklı bir yapı, zemin oluşturulmak istenmiştir. Söz konusu çalışma sahasına ait doğal ve iyileştirilmiş zeminlerin her ikisi içinde statik ve dinamik zemin özellikleri ve parametreleri mümkün mertebe deneysel bulgu ve çalışmalara dayanılarak belirlenmiştir. Bu bakımdan farklı zemin özellikleri bulunduran sahalar için bilhassa Elazığ il merkezi için, zira analizler Elazığ il merkezi için yapılmıştır, elde edilen veriler dinamik zemin davranışlarının açıklamasına ışık tutmaktadır. Çalışma kapsamında verilen sonuçlar incelendiğinde, profil boyunca oluşan yer değiştirmeler bakımından küçük farklar oluşmaktadır. Zemin iyileştirme işlemi sonrasında üst seviyelerde zemin özellikleri iyileşmekte ve sıkılaşmakta bunun neticesinde birim hacim ağırlıkları bir miktar değişmektedir. Üst seviyelerde birim hacim ağırlığının da meydana gelen değişime alt seviyelerde efektif gerilmede küçüğe olsa değişimlere neden olmaktadır, problemi bir boyutlu olarak ele aldığımızda bu etkiyi daha belirgin olarak gözlemleyebildik. Ebetteki problem iki veya üç boyutlu ele alındığında söz konusu bu etkinin çok daha az olduğunu yapmış olduğumuz hesap ve modellememiz de gözlemlemiş olduk. Bu tez çalışmasında dikkate alınan değerler ve hesaplamalar deneysel veriler ve arazi çalışmaları paralelinde yapılmış geçerli geoteknik rapor baz alınmıştır, yapılan hesaplamalar ve arazi deney sonuçları gözlemlenmiş zeminin taşıma gücü yetersiz olduğu gözlemlenmiş bu alanda tecrübeli bir uzman görüşü ile zeminde uygun görülen zemin iyileştirme yöntemi ve uygulaması deneysel veriler ve matematiksel işlemler sonucunda taşıma gücü açısından yeterli bir düzeye ulaştırılmıştır ancak bu verileri sonsuz elemanlar metodu ile analiz edip sonuçlar, laboratuvar deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında program verileri yetersiz kalmıştır. Bu sebep dolayısı ile aynı modellerin daha güncel olan Plaxis 3D programında incelenmesi tavsiye edilmektedir. Sonsuz elemanlar metodu ile çalışmakta olan plaxis programı zemin deformasyonlarını belirli bir alanda ve o alanda zeminin homojen bir yapıda varsayması ve sonuçları büyütürken sonuçlandırması sebebi ile zeminde yapılan mekanik deney sonuçları ve sondaj verileri tecrübeli bir uzman eşliğinde incelenerek gerekli kararların alınması ve uygulanması genç oluşumlu bu nedenle tektonik bir yapıda olan Türkiye şartları göz önünde bulundurularak geoteknik bilimi ve inşaat sektörü açısından daha iyi yatırımlar ve daha sağlıklı yapılar elde edilmesi kaçınılmaz olur

10. KAYNAKLAR

- Akan, R.** 2013. Jet grout yönteminin zemin iyileştirmesine katkısının ve bu yöntemde kullanılan parametrelerin etkilerinin irdelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 115s.
- Ayan, E.** 2009. Derin zemin iyileştirme yöntemleri ve uygulama örnekleri. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 126s.
- Aydın, H.** 2014. Kirişli ve kirişsiz radye temel tiplerinin karşılaştırılması ve dolgu malzemeli radye temel tipinin geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 92s.
- Bakım, M.** 2007. Enjeksiyon Yöntemleriyle zemin iyileştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 175s.
- Das, BrajaM.** 2011,2007. Principles of foundation engineering, 776s.
- Dikmen, M.** 2013. Kil zemine oturan temellerin oturma ve taşıma gücü davranışına geotekstil takviyesinin etkisinin deneysel ve plaxis 3d programıyla incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 118s.
- Ercan, M.** 2017. Jet grout yöntemi uygulanarak yapılan bir zemin iyileştirme vaka analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt, 196s.
- Erdil, B.** 2008. Jet grout kolonu tasarım taşıma gücü hesabı. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 93s.
- Erdoğan, T.** 2018. Jet grout uygulamasından sonra zemin özelliklerinde meydana gelen değişiklikler. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 151s.
- Ertürk, A.,** 2012. zemin etüdü ve ıslahı işlerinde maliyet planlaması, analizi ve tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 228s.
- Gül, S.** 2015. Zemin İyileştirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan jet grout yöntemine ilişkin bir uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*, On dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 145s.
- Mısır, G.** 2020. Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirme ve deplasman tahmini: Vaka Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 290-299.
- Sağlamer, A.** 2006. Zemin iyileştirme yöntemleri-neyi nasıl ne kadar iyileştiriyoruz, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

- Sarsılmaz, M.** 2017. Zemin iyileştirme yöntemlerinin sınıflandırılması, incelenmesi, değerlendirilmesi ve anılan yöntemlerin seçilme kriterleri üzerine kapsamlı bir araştırma. *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 331s.
- Şişman, A.E.** 2013. Sıkıştırılmış dolgularda enjeksiyon yöntemi ile zemin iyileştirme. *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 91s.
- Osmanoğlu, D.** 2007. Tünellerde zemin iyileştirilmesi ve stabilitenin sonlu elemanlar yöntemi ile Plaxis programında analiz edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 137s
- Özdemir, A. ve Özdemir, M.** 2006. Zayıf zeminlerin iyileştirilmesi ve son yıllarda yaygın olarak uygulanan bazı zemin iyileştirme yöntemleri, Sondaj Dünyası, 3, 34-38.
- Palutoğlu M., Tanyolu E.,** 2006. Elazığ İl Merkezi Yerleşim Alanının Depremselliği, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (4), 535–546.
- Parlak, S.,** 2017. Temel altı zemin iyileştirme yöntemi olan jetgrout yöntemi ile iyileştirilen zeminlerin sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal analizi *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 139s.
- Plaxis 2D** 2021.Geotechnical Engineering Software, USA.
- URL-1,** 2021. <http://www.zeminarastirma.com/>
- URL-11,** 2023. <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>
- URL-8,** 2021.<https://guncelfiyatlar.com>
- URL-9,** 2021. <https://kaomin.in/>
- URL-6,** 2020. <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/detayliRapor.xhtml>
- URL-7,** 2021.<https://www.insaatofis.com/>
- URL-10,** 2020. <https://www.kumocak.com/>
- URL-3,** 2020. <http://kiltaszeminmuhendislik.com.tr/>
- URL-4,** 2020. <https://efezemin.com/>
- URL-2,** 2021.<https://insapedia.com/>
- URL-5,** 2020. <https://volkanatabey.com.tr/>
- URL-12,** 2020 <http://www.sahinsu.com/>