



T.C.

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**KIRŞEHİR İL MERKEZİNDE JET
GROUT YÖNTEMİ İLE ZEMİN
İYİLEŞTİRİLMESİNİN
BELİRLENMESİ VE ÖRNEK BİR
İYİLEŞTİRME UYGULAMASININ
İNCELENMESİ**

HAKKI ATİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2025



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**KIRŞEHİR İL MERKEZİNDE JET
GROUT YÖNTEMİ İLE ZEMİN
İYİLEŞTİRİLMESİNİN
BELİRLENMESİ VE ÖRNEK BİR
İYİLEŞTİRME UYGULAMASININ
İNCELENMESİ**

HAKKI ATİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL

KIRŞEHİR

2025

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

19/08/2025

Hakkı ATİK

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	I
TEŞEKKÜR.....	IV
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
TABLolar DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	IX
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3.MATERYAL VE METOT.....	5
3.1 Materyal.....	5
3.1.1. Jet Grout yöntemi.	5
3.1.2. Jet Grout yönteminin tarihçesi	5
3.2. Metot	8
3.2.1. Yapım yöntemleri ve parametreleri	8
3.3.Jet Grout İmalat Parametreleri.....	11
3.4. Jet Grout Ekipmanları	12
3.4.1. Çimento silosu	12
3.4.2. Su tankı	13
3.4.3. Mikser	13
3.4.4. Enjeksiyon depolama tankı	13
3.4.5. Enjeksiyon pompası.....	14
3.4.6. Delgi makinası ve ekipmanları.....	14
3.5. Yüksek Modüllü Kolonların Kullanıldığı Alanlar	15
3.6. Jet Grout Kolonlarının Tasarım Esasları.....	16
3.6.1. Jet Grout kolonu taşıma kapasitesi hesabı	17
3.6.2. Jet Grout kolonu dayanım parametreleri.....	18
3.6.3. Jet Grout ile iyileştirilmiş zeminde malzeme parametreleri	20
3.7. Jet Grout Kalite Kontrol Deneyleri	20
3.7.1.Çap kontrolü.....	21
3.7.2. Karot numunesi alımı ve serbest basınç deneyi.....	21

3.7.3. Eksenel yükleme deneyi	22
3.7.4. Jet Grout kolonu süreklilik testi	23
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
4.1. Zemin Koşulları Hakkında Genel Bilgiler	25
4.1.1. Etüdün amacı ve kapsamı	25
4.1.2. İmar adası ile ilgili bilgiler	25
4.2. Yapı Hakkında Bilgiler	28
4.3. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları	31
4.3.1. Zeminin dinamik ve elastik parametreleri	32
4.3.2. Sıvılaşma potansiyeli analizi	37
4.3.3. Sıvılaşma kriterleri	37
4.3.4. Sondajlar	38
4.4.Arazi Deneyleri	40
4.4.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)	41
4.4.2. Presiyometre deneyi	46
4.5. Hidrojeoloji	46
4.6. İnceleme Alanı Mühendislik Jeolojisi	46
4.7. Jeolojik Kesit	50
4.8. Jet Grout Projelendirme ve Uygulanması	51
4.8.1. Sahada uygulanan jet kolon taşıma gücü hesabı	51
4.8.2. Toplam jet kolonlarının taşıyacağı yük miktarı	52
4.8.3. Jet Grout oluşturulmasında gereken parametreler	53
4.9. İmalat Kontrolü ve Deneyleri.....	61
4.9.1. Karot numelerinin alınması	61
4.9.2. Kazık süreklilik deneyi.....	62
4.9.3. Çap kontrolü	62
4.9.4. İmalat esasında dikkat edilmesi gereken durumlar	62
4.9.5. Proje kriterlerinin imalat esasında değerlendirilmesi.....	62
4.9.6. İmalatın raporlanması.....	63
4.10. Jet Grout Uygulamasına Yönelik Detaylar	63
4.11. Jet Grout ve Deprem Etkileri.....	64
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	67
5.1.Sonuç	67
5.2. Öneriler	68
KAYNAKLAR.....	70

EKLER	75
EK-1 Kurum İzni	75
EK-2 Kongre Katılım Belgesi	76
ÖZGEÇMİŞ	77

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması sűrecinde bilgi ve tecrűbeleri ile her zaman yanımda olan, akademik bakış açısı kazanmama katkı sağlayan, sabırla rehberlik ederek çalışma disiplini kazandıran değerli danışmanım Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL'a en içten teőekkűrlerimi sunarım.

Lisansűstű eęitimim boyunca bilgi ve birikimleri, akademik rehberlikleri ve deęerli katkılarıyla geliřimime destek olan İnařaat Műhendislięi Anabilim dalındaki tűm hocalarıma teőekkűr ederim.

Hayatımın her anında olduęu gibi bu zorlu sűrete, sıkıntılarımı paylařan ve her konuda bűyűk destek veren kıymetli eřim Neslihan ATİK'e ve canım kızlarım Fatma Ela ATİK ve Gökçe ATİK'e iten teőekkűrlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Hakkı ATİK

Ağustos, 2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR İL MERKEZİNDE JET GORUT YÖNTEMİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNİN BELİRLENMESİ VE ÖRNEK BİR İYİLEŞTİRME UYGULAMASININ İNCELENMESİ

Hakkı ATİK

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL
Yıl: 2025, Sayfa: 77
Jüri: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL
Prof. Dr. Ali KOÇAK
Dr. Öğr. Üyesi Bilal ÖZASLAN

Bu çalışma, Kırşehir İli Merkez İlçesi'nde jet grout uygulamasının zemin koşullarına uygunluğunu belirlemek amacıyla, öncelikle 25 m derinliğe kadar sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki zemin, kumlu-kil özellikli birimlerden oluşmakta olup, 1,50 m ile 21,00 m derinlikleri arasında koyu kahverengi kumlu-kil tabakası hakimdir. Kendini tutamayan nitelikteki zeminde, farklı sondaj kuyularında yapılan ölçümler sonucunda 2–3 m derinliklerinde yeraltı suyu seviyesine rastlanmıştır. Yapılan deneysel analizler sonucunda yerel zemin sınıfı ZE olarak belirlenmiştir. Ayrıca, hesaplanan oturma miktarının kabul edilebilir limitlerin üzerinde olduğu; temel zemini oluşturan yumuşak-orta katı kıvamlı, doğal nemli ve plastisite özelliği yüksek kil tabakasının düşük taşıma gücüne sahip olduğu ve farklı oturma sorunları (17–25 cm) oluşturabileceği saptanmıştır. Bu kapsamda, yapı temelinin altındaki siltli-killi tabaka üzerine jet grout yöntemiyle iyileştirme yapılması önerilmiştir. Toplam 194,33 m² alan için, 60 cm çapında ve 10 m boyunda toplam 77 adet jet grout kolon imal edilmiştir. Uygulamanın tüm aşamaları kontrollü şekilde yürütülmüş; imalat öncesinde 1–2 m boyunda deneme kolonları oluşturulmuş ve bu kolonların çapları kazılarak projeye uygunluğu denetlenmiştir.

Anahtar kelimeler; Jet-grout Yöntemi, Sondaj, Killi zemin,

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

DETERMINATION OF SOIL IMPROVEMENT WITH JET GROUT METHOD IN KIRSEHIR CITY CENTER AND EXAMINATION OF A SAMPLE IMPROVEMENT APPLICATION

Hakkı ATİK

**KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL
Year: 2025, Pages: 77
Jury: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL
Prof. Dr. Ali KOÇAK
Assist. Prof. Dr. Bilal ÖZASLAN**

In this study, in order to determine the suitability of the jet grout application to the ground conditions in the Central District of Kırşehir Province, borehole drilling was initially carried out up to a depth of 25 meters. The soil in the study area consists of sandy-clay units, with a dominant dark brown sandy-clay layer observed between depths of 1.50 m and 21.00 m. Groundwater was encountered at depths of 2–3 meters based on measurements taken from various boreholes, in soil that lacks self-supporting characteristics. As a result of experimental analyses, the local soil class was determined to be ZE. Additionally, it was found that the calculated settlement amount exceeded acceptable limits; the soft to medium-stiff, naturally moist, and highly plastic clay layer forming the foundation soil has low bearing capacity and may cause differential settlement issues (17–25 cm). In this context, it was recommended to improve the silty-clayey layer beneath the building foundation using the jet grout method. For a total area of 194.33 m², 77 jet grout columns with a diameter of 60 cm and a length of 10 meters were constructed. All stages of the application were carried out under strict control; trial columns of 1–2 meters in length were constructed before production, and the diameters of these columns were excavated to verify their compliance with the project specifications.

Keywords: Jet-grouting Method, Drilling , Clayey Soil

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Jet grout yöntemi imalat parametreleri(Durgunoğlu.,2004)	11
Tablo 3.2. Elastisite modülü – zemin serbest basınç dayanımı ilişkisi (Durgunoğlu 2004)....	17
Tablo 3.3. Zemin türlerine göre jet grout kapasitesinin belirlenmesi	18
Tablo 3.4. Farklı zemin türlerinde imal edilen jet grout kolonlarının elastisite modülü (E _g) ile tek eksenli serbest basınç mukavemeti arasındaki ilişkiler (Croce, 2014).....	19
Tablo 4.1. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları	28
Tablo 4.2. Deprem tasarım sınıfları	28
Tablo 4.3. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları	29
Tablo 4.4. Jeofizik-Geoteknik parametreleri.....	32
Tablo 4.5. Zemin sınıfları.....	33
Tablo 4.6. Poisson oranı	34
Tablo 4.7. Elastisite modülü	35
Tablo 4.8. Kayma modülü.....	35
Tablo 4.9. Bulk modülü	36
Tablo 4.10. Yoğunluk modülü.....	36
Tablo 4.11. Sıvılaşma analizi sonucu	38
Tablo 4.12. Zemin analizi sonucu.....	39
Tablo 4.13. Sondajlardan alınan Spt numunelerinin C _N değerleri	42
Tablo 4.14. SPT düzeltme katsayıları.....	42
Tablo 4.15. SPT değerleri	43
Tablo 4.16. SPT verilerine göre zemin	44
Tablo 4.17. SPT ve UD sonuçlarına göre zeminin kıvam ve sıkışma indeksi	47
Tablo 4.18. Kıvamlilik indeksi (I _c) ve Plastisite arasındaki ilişki (Leonards,1962)	48
Tablo 4.19. Zeminlerin sıkışabilirliği (Sowers,1979).....	48
Tablo 4.20. Kohezyonlu zeminlerin plastisite indisine göre sınıflandırılması (Burmister, 1951).....	48
Tablo 4.21. Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri (Chen, 1975)	49
Tablo 4.22. Yerel zemin sınıfları.....	49
Tablo 4.23. Kuyulardaki YASS-derinlik ilişkisi	50
Tablo 4.24. Jet Grout oluşturulmasında gereken parametreler	53
Tablo 4.25. Püskürtme ağızlığı çapı ve akış oranı	57
Tablo 4.26. Basınç-nozzle ilişkisi.....	61
Tablo 4.27. Jet Grout projelendirme sonrası statik proje kullanacak parametreler.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Jet grout yöntemi tarihsel gelişimi (Al-Khadaar ve Ahmed, 2023).....	7
Şekil 3.2. Dane çapı dağılımına göre enjeksiyon çeşitleri (Doğu, 2005)	8
Şekil 3.3. Kesici uçlar (matkaplar)	9
Şekil 3.4. Jet enjeksiyon sistemleri: (a) jet-1, (b) jet-2, (c) jet-3 (Erol ve Çekinmez, 2018)	10
Şekil 3.5. Jet grout tesisi (Erol & Çekinmez, 2018)	12
Şekil 3.6. 50 ton kapasiteli çimento silosu	12
Şekil 3.7. Su depoları	13
Şekil 3.8. Enjeksiyon karıştırıcı (mikser)	13
Şekil 3.9. Enjeksiyon depolama tankı	14
Şekil 3.10. Enjeksiyon pompası	14
Şekil 3.11. Jet grout delgi makinası	15
Şekil 3.12. Jet grout kolonu malzemesi için kabul gören yenilme kriterleri	19
Şekil 3.13. Jet grout kolonu kafasından karot numunesi alımı	21
Şekil 3.14. Tipik yükleme deneyi düzeneği (Düzceer, 2002).....	23
Şekil 3.15. Süreklilik testi ekipmanları.....	24
Şekil 3.16. Süreklilik deneyi düzeneği.....	24
Şekil 4.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası ve uydu görüntüsü.....	26
Şekil 4.2. İnceleme alanının yerleşim imar durum belgesi	27
Şekil 4.3. Kırşehir ve civarı jeoloji haritası	30
Şekil 4.4. Kırşehir ve civarı stratigrafik kolon kesiti	31
Şekil 4.5. Eşik ivme değerleri.....	37
Şekil 4.6. Açılan sondaj görüntüleri.....	40
Şekil 4.7. SPT arazide numune alımı	45
Şekil 4.8. İnceleme alanında açılan sondaj jeolojik kesit.....	50
Şekil 4.9. Radye temel altı ıslah jet planı	54
Şekil 4.10. Sahada jet grout uygulaması	54
Şekil 4.11. Oluşturulan kolon çapı ve basınç arasındaki ilişki	55
Şekil 4.12. Tek delikli püskürtme ağızlığı (Nozzle)	56
Şekil 4.13. Püskürtme gövdesinin çekilme hızının ıslah edilen hacime etkisi	59
Şekil 4.14. Zemin çeşidi ile püskürtme gövdesinin çekilme hızı arasındaki ilişki	60
Şekil 4.15. Tahmini kolon çapı ile püskürtme gövdesinin çekilme hızı arasındaki ilişki	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
δ_i	: Ani oturma
δ_c	: Birincil konsolidasyon oturma
e	: Boşluk oranı
σ'_{v0}	: Efektif jeolojik gerilme
a_r	: Jet grout alan değiştirme oranı
A	: Jet grout etki alanı
c_{jg}	: Jet grout kolonu drenajsız kayma mukavemeti
βE	: Jet grout kolonu elastisite modülü için korelasyon katsayısı
E_{jg}	: Jet grout kolonu elastisite modülü
A_{jg}	: Jet grout kolonu kesit alanı
Q_u	: Jet grout kolonu nihai taşıma kapasitesi
D_{jg}	: Jet grout kolonu ortalama çapı
σ_{jg}	: Jet grout kolonu serbest basınç mukavemeti
Q_s	: Jet grout kolonu sürtünme kapasitesi
Q_b	: Jet grout kolonu uç kapasitesi
γ	: Kayma deformasyonu
σ_{v0}	: Kolon ucundaki efektif toprak basıncı
c	: Kohezyon
k_{omp}	: Kompozit elastisite modülü
w	: Su muhtevası
B	: Temel genişliği
δ_t	: Toplam oturma
$a(t)$: t süresindeki yer hareketi ivmesi
T_s	: Zemin hakim periyodu
δ	: Zemin ile kolon arasındaki sürtünme açısı
δ_c	: Zemin tabakasındaki gerilme artışı
E_s	: Zeminin elastisite modülü

Kısaltmalar	Açıklama
AKO	: Aşırı konsolidasyon oranı
MASW	: Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi
PSA	: En büyük spektral ivme
PGD	: En büyük yer değiştirme
PGA	: En büyük yer ivmesi
PGV	: En büyük yatay hız
AFAD	: İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü
JG	: Jet Grout
JGP	: Jet Grout Kazık (Jet Grout Pile)
JSG	: Jumbo Jet Özel Kazık (Jumbo Special Grout)
JSP	: Jumbo Özel Kazık (Jumbo Special Pile)
CJG	: Kolon Jet Grout (Column Jet Grout)
PMT	: Presiyomente Deneyi
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
SPT-N	: Standart Penetrasyon Deneyi Darbe Sayısı
SSS MAN	: Super Soil Stabilization Management Method
SASW	: Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi

1. GİRİŞ

Zemin iyileştirme uygulamaları, zayıf zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilerek, üzerine inşa edilecek yapıların taşıma kapasitesinin ve dayanıklılığının artırılmasını amaçlamaktadır. Bu süreç, çoğu zaman zaman alıcı ve maliyetli olmakla birlikte, gelişen teknoloji sayesinde daha hızlı ve ekonomik yöntemlerin kullanılması mümkün hâle gelmiştir. Bu yöntemlerden biri olan jet grout (yüksek basınçlı enjeksiyon) tekniği, son yıllarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

Jet grout yöntemi, çimento esaslı karışımın yüksek basınçla zemine enjekte edilmesi yoluyla zemin dokusunun iyileştirilmesini sağlayan bir tekniktir. Özellikle taşıma gücü düşük ve oturma sorunu bulunan zeminlerde etkili sonuçlar vermektedir. Uygulama kolaylığı, hızlı sonuç alınması ve büyük ölçekli projelerde sağladığı zaman ve maliyet avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca, geleneksel zemin iyileştirme yöntemlerine kıyasla çevresel etkilerinin daha sınırlı olması ve uygulama esnekliği sunması da önemli avantajlar arasında yer almaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Türkiye, jeotektonik özellikleri gereği aktif fay hatlarının yoğun olduğu bir bölgede yer almakta olup, bu durum ülke genelinde sık sık yıkıcı depremlerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda, deprem etkilerine karşı dayanıklı yapıların inşa edilmesi yalnızca üstyapı tasarımı açısından değil, aynı zamanda yapıların oturduğu zemin tabakalarının dinamik yükler altındaki performansı bakımından da büyük önem arz etmektedir. Deprem etkilerine karşı yapıların davranışlarının doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için saha özelinde gerçekleştirilen yer tepki analizleri önemli bir araç olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Kırşehir ili Merkez ilçesinde yer alan bir saha incelenmiştir. İncelenen saha killi zemin özelliklerine sahip olup, öngörülen taşıma gücü ve oturma problemlerini önlemek amacıyla jet grout yöntemiyle zemin iyileştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan iyileştirme uygulamasının kalite kontrolüne yönelik olarak, uygulanan kolonların çap kontrolü, eksenel yükleme deneyi ve karot numuneleri üzerinde serbest basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir.

Yer tepki analizleri, mühendislik uygulamalarında zeminin ve yüzeyin deprem yükleri altındaki tepkilerini ortaya koymak amacıyla kullanılmaktadır. Bu analizler aracılığıyla, üstyapı tasarımı için gerekli olan dinamik davranış parametreleri elde edilmektedir. Kalite kontrol

deneylerinden elde edilen bulgular, zemin iyileştirme sonrasında zemin tabakalarının mühendislik özelliklerinde belirgin bir iyileşme olduğunu ortaya koymaktadır. Bu parametrelerden biri olan kayma modülü, zeminin deprem yükleri altındaki davranışını belirlemede kritik bir role sahiptir. Bu çalışmada, iyileştirme öncesi ve sonrası elde edilen kayma dalgası hızı verileri üzerinden, zemin tabakalarındaki kayma modülü değişiminin değerlendirilmesi ve bu doğrultuda dinamik yükler altındaki zemin davranışının analiz edilmesi amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, jet grout yöntemi ile zemin içerisinde oluşturulan yüksek modüllü kolonlar aracılığıyla zeminde meydana gelen parametre değişimlerini ve bu değişimlerin zeminin dinamik davranışları üzerindeki etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır.

Akin ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kumlu ve killi zeminlerde jet grout uygulaması sonrası sıkışma bölgesindeki zemin özelliklerinde meydana gelen değişimler, iki farklı inşaat sahasında yapılan Standart Penetrasyon Testleri (SPT) ve Çok Kanallı Yüzey Dalga Analizi (MASW) ile değerlendirilmiştir. Yapılan yerinde testler, jet grout uygulaması sonrasında zemin parametrelerinde anlamlı artışlar meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bulgular, gevşek kumlu zeminlerin sert kil tabakalarına kıyasla jet enjeksiyon basınçlarına daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, sonlu eleman analizleri sonuçlarına göre, yüksek basınçlı jet uygulaması sonucunda sıkışma bölgesindeki göreceli yoğunluk ve zemin rijitliğindeki artışın, toplam yer değiştirme oranı üzerinde önemli bir etkisi olduğu saptanmıştır. Yüksek modüllü kolonların temel yüklerini büyük oranda kendi başlarına taşıyabilmesine rağmen, bu kolonlar arasındaki sıkışma bölgelerinin dikkate alınmasının yalnızca jet grout tasarımını iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda zemin sıvılaşması ve taşıma kapasitesinin değerlendirilmesinde de kritik rol oynadığı vurgulanmıştır.

Aynı çalışmada, hem kumlu hem de killi zeminlerin iyileşme performansı detaylı biçimde incelenmiş ve jet grout yöntemiyle yapılan iyileştirmelerin zemin türüne bağlı olarak farklılık gösterebileceği ortaya konmuştur. Kumlu zeminlerde, killi zeminlere kıyasla daha yüksek oranda iyileşme gözlenmiştir. Sonlu eleman analizleri, jet grout uygulamasının zeminin mekanik özelliklerinde meydana getirdiği iyileşmeyi başarılı bir şekilde ortaya koymuştur.

Tonyalı ve ark. (2015), Samsun'da gerçekleştirdikleri bir konut sahası iyileştirme projesinde, jet grout uygulaması öncesi ve sonrası zemin parametrelerindeki değişimleri değerlendirmiştir. Bu kapsamda, 15 m uzunluğunda ve 80 cm çapında jet grout kolonları 2,2 m aralıklarla inşa edilmiştir. Arazide gerçekleştirilen sismik ölçümler sayesinde, iyileştirme öncesi ve sonrası zemin özellikleri karşılaştırılmış ve yüksek basınçlı enjeksiyon yoluyla oluşturulan yüksek modüllü kolonların, zeminin mühendislik parametrelerini ve yerel zemin sınıfını iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Toraman (2021) ise Sakarya'da farklı boy ve alan değiştirme oranlarına sahip jet grout uygulamalarını modelleyerek, zemin tabakalarının dinamik davranışlarını bir boyutlu doğrusal olmayan yer tepki analizleri ile parametrik olarak incelemiştir. Çalışmada, temel kaya derinliği

ve alt tabaka kalınlığının etkisini belirlemek üzere çeşitli zemin profilleri oluşturulmuş ve analizlerde kullanılan deprem kayıtları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esaslarına göre ölçeklendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, jet grout kolonlarının uzunluğu ve alan değiştirme oranının yanı sıra, temel kaya derinliği ile alt tabaka kalınlıklarının analiz sonuçları üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermiştir. Çalışma sonucunda, jet grout yöntemi ile gerçekleştirilen zemin iyileştirmenin belirli periyot değerlerine kadar spektral zemin büyütme ve maksimum spektral ivmeleri artırdığı; ancak bu periyot değerinin ötesinde bu değerlerde düşüş gözlemlendiği rapor edilmiştir.

Son olarak, Tempa ve ark. (2020) tarafından yürütülen parametrik bir çalışmada, kaya derinliğinin bir boyutlu yer tepki analizlerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Eşdeğer doğrusal analiz yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, kaya derinliği arttıkça pik yer ivmesi (PGA) değerinin azaldığı saptanmıştır. Bu bulgu, yer altı zemin profillerinin dinamik davranışını anlamada kaya derinliğinin kritik bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde jet grout uygulamasında kullanılan yöntem, zemin veri toplama, parametreler , ekipmalar ve jet grout uygulama süreci detaylı bir şekilde sunulmuştur.

3.1 Materyal

Bu kısımda sırasıyla jet grout yönteminin yapılmasındaki yöntem ve uygulama sürecine yer verilmiştir.

3.1.1. Jet grout yöntemi

Jet grout yöntemi, mühendislik açısından elverişsiz zeminlerin taşıma gücünün artırılması, oturma problemlerinin azaltılması ve sıvılaşma riskinin ortadan kaldırılması amacıyla yaygın olarak kullanılan bir zemin iyileştirme tekniğidir. Bu yöntemin kullanım alanı yalnızca taşıma gücü ve oturma kontrolü ile sınırlı olmayıp; geçirimsizlik perdelerinin oluşturulması, iksa sistemlerinde sağlam pasif direnç bölgelerinin teşkili ve şev stabilitesinin artırılması gibi farklı zemin mühendisliği problemlerine yönelik çözümler de sunmaktadır.

Jet grout yöntemi, zemin içerisine yüksek basınçla enjekte edilen su-çimento karışımının (şerbetinin), zeminle karışarak onu parçalama, yoğurma ve yer yer yerinden etme yoluyla rijit bir yapı oluşturması esasına dayanır (Erol ve Çekinmez, 2018). Bu işlem sonucunda zemin içinde meydana gelen silindirik, dayanımı yüksek yapılar literatürde "jet grout kolonları" olarak adlandırılmaktadır.

Enjekte edilen çimento şerbeti zamanla hidrasyon süreci ile sertleşmekte ve çevresindeki zeminle bütünleşerek rijit bir kütle meydana getirmektedir. Oluşturulan bu kolonlar, zemin profilinde sürekli veya kesikli şekilde düzenlenerek zemin koşullarına göre farklı iyileştirme çözümleri sunabilmektedir.

Günümüzde jet grout teknolojisine yönelik birçok akademik ve endüstriyel araştırma yürütülmekte olup; bu çalışmalar özellikle kolon çaplarının artırılması, kolon geometrilerinin daha homojen hale getirilmesi, kullanılan malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve yeni patentli uygulama tekniklerinin ve ekipmanlarının geliştirilmesi konularına odaklanmaktadır (Erol ve Çekinmez, 2018).

3.1.2. Jet grout yönteminin tarihçesi

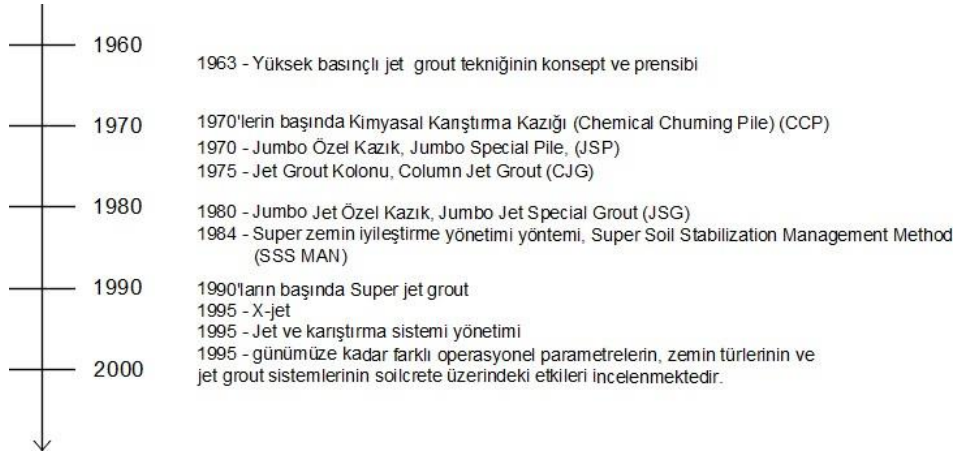
Jet grout yöntemi ilk kez 1960'lı yıllarda Japonya'da Yamakado kardeşler tarafından, kayalar ve kaya benzeri zeminlerin kesilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu yöntemin zemin

iyileştirme alanında kullanımı ise 1970’li yıllarda Miki ve Nakanishi’nin çalışmaları ile mümkün hale gelmiştir. Nakanishi (1974), yöntemin ilk versiyonunu “Kimyasal Karıştırma Kazığı” (Chemical Mixing Pile, CCP) olarak adlandırmış ve bu yöntemde enjeksiyon malzemesi olarak kimyasal bağlayıcılar kullanılmıştır. Ancak kimyasal enjeksiyon malzemelerinin çevreye verdiği zararlar kısa sürede fark edilmiş ve bu nedenle çimento bazlı enjeksiyon malzemelerine yönelinmiştir (Xanthakos ve Abramson, 1994). CCP yöntemi ilk kez 1973 yılında ticari amaçla uygulanmıştır.

Avrupa kıtasında jet grout tekniği ilk kez 1970’lerin başlarında kullanılmaya başlanmış ve uluslararası uygulama alanı genişlemiştir (Moseley ve Kirsch, 1993). 1972 yılında Japonya’da CCP grubu tarafından geliştirilen ve “Jumbo Özel Kazık” (Jumbo Special Pile, JSP) olarak adlandırılan yöntemle, yer jeti etrafında basınçlı hava kullanılarak 80 cm ile 200 cm arasında değişen kolon çapları elde edilmiştir (Xanthakos ve Abramson, 1994). Bu süreçte bağımsız bir araştırma grubu tarafından benzer bir yöntem olan “Jet Grout Kazık” (Jet Grouting Pile, JGP) yöntemi geliştirilmiştir. 1980’li yıllara gelindiğinde, bu iki yöntem birleştirilerek “Jumbo Jet Özel Kazık” (Jumbo Jet Special Grouting, JSG) adı altında tek bir yöntem haline getirilmiştir.

Öte yandan, Yahiro liderliğindeki bir diğer Japon araştırma grubu, 1970 yılında “Jet Grout” (JG) yöntemini daha da geliştirerek zemin iyileştirme uygulamalarına kazandırmıştır (Yahiro ve Yoshida, 1973). Bu yöntemde, jet grout delgisi sırasında zemine basınçlı su uygulanmakta, ardından enjeksiyon malzemesi aşağıdan yukarıya doğru zemine verilerek kolon oluşumu sağlanmaktadır. 1975 yılında, enjeksiyon çubuğunun yukarıya doğru çekilmesi esnasında eksen etrafında döndürülmesi ve basınçlı suyun hava kılıfı içerisinde iletilmesiyle jet etkisi artırılmış ve böylece “Kolon Jet Grout” (Column Jet Grout, CJG) yöntemi geliştirilmiştir (Xanthakos ve Abramson, 1994).

1980 yılında CCP grubu, geçirimsizlik sağlamak amacıyla “Super Soil Stabilization Management Method” (SSS MAN) adını verdikleri yeni bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde, önce kılavuz bir delgi yapılmakta; ardından basınçlı hava ile çevrelenmiş yüksek hızlı su jetiyle zemin oyularak yer açılmakta, son olarak oluşan boşluk çimento şerbetiyle yüksek basınç altında doldurulmaktadır. Bu teknik sayesinde özellikle iri taneli zeminlerde daha geniş çaplı jet grout kolonları üretilebilmektedir (Xanthakos ve Abramson, 1994).

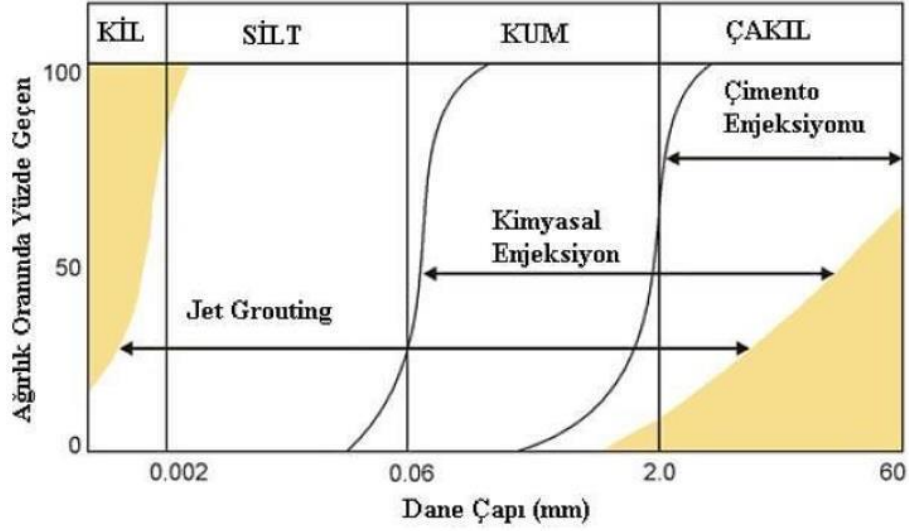


Şekil 3.1. Jet grout yöntemi tarihsel gelişimi (Al-Khadaar ve Ahmed, 2023)

Teknolojideki ilerlemelerle birlikte, jet grout yöntemi günümüzde hâlen aktif olarak araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Çekme hızı, enjeksiyon debisi, su/çimento oranı ve enjeksiyon basıncı gibi temel jet grout parametreleri, farklı zemin türlerine göre optimize edilerek uygulama performansı artırılabilir.

Jet grout tekniği ilk geliştirildiği dönemde yalnızca granüler (iri daneli) zeminlerde uygulanabilirken, zamanla geliştirilen yeni ekipman ve teknolojiler sayesinde ince daneli zeminlerde de başarılı sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Bu gelişim, yöntemin uygulama alanını önemli ölçüde genişletmiş ve onu diğer enjeksiyon yöntemlerine kıyasla daha esnek ve etkili hale getirmiştir.

Bu yönüyle jet grouting, farklı dane dağılımlarına sahip zeminlerde uygulanabilirliği sayesinde zemin iyileştirme teknolojileri arasında öne çıkmaktadır. Bu çok yönlülük, yöntemin mühendislik projelerinde tercih edilmesini sağlayan temel avantajlardan biri olarak Şekil 3.2' de değerlendirilmektedir (Doğu, 2005).



Şekil 3.2. Dane çapı dağılımına göre enjeksiyon çeşitleri (Doğu, 2005)

3.2 . Metot

Bu kısımda jet grout yönteminin yapılmasındaki parametrelerine ve yöntemi sürecine yer verilmiştir.

3.2.1.Yapım yöntemleri ve parametreleri

Jet grout yöntemi ülkemizde “TS EN 12716” standartına göre delgi ve enjeksiyon (jetleme) olarak iki kısımda uygulanmaktadır.

Jet grout kolonu imalatında birbirine eklenebilen içerisinde tekli, ikili ve üçlü akışkan boruları olan tijler kullanılır. Tijin ucundaki monitör üzerinde yüksek basınçlı akışkanları zemine püskürtecek bir veya daha fazla küçük çaplı nozül bulunur. Jet grout kolonu imalatlarında hem delgi hem enjeksiyon işlemi birlikte yapılır. Delgi ekipmanı, monitörü zemin içerisinde düşey yönde hareket ettirebilir ve döndürebilir. Planlanan derinliğe kadar delgi yapmak için standart rotari veya darbeli-rotari delgi sistemleri kullanılır. Delgilerde, kuyu çeperi ile tijler arasında boşluk oluşabilmesi için monitörün ucuna monte edilen çapı tijlerden biraz daha geniş olan kesici uçlar (matkaplar) kullanılır (Şekil 3.3).

Genellikle, bu delgi çapları 12 cm ila 15 cm mertebesindedir, fakat bazı özel durumlarda bu çap 30 cm ye kadar çıkabilmektedir (Erol ve Çekinmez, 2018).



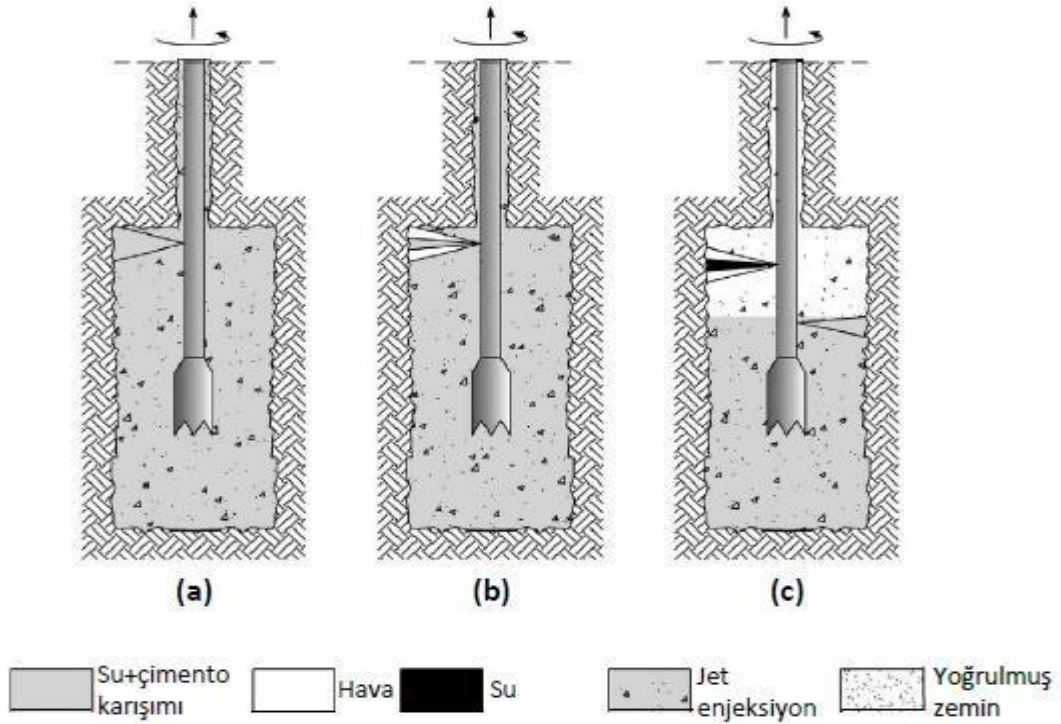
Şekil 3.3. Kesici uçlar (matkaplar)

İslah edilen zemin içerisine enjekte edilen akışkana göre jet grout yöntemi tek akışkanlı, çift akışkanlı ve üç akışkanlı yöntem olarak 3'e ayrılır. Bu yöntemler de sırasıyla Jet-1, Jet-2 ve Jet-3 olarak adlandırılır. Kullanılacak sistem, iyileştirilmesi planlanan zeminin cinsine ve tasarlanan kolon çapına göre seçilir.

3.2.1.1. Jet-1 yöntemi (tek akışkanlı)

Tek akışkanlı, Jet-1 yönteminde su ve çimentodan oluşan sıvı karışım monitor üzerinde yer alan nozüllerden yüksek basınçla zemine püskürtülmektedir. Bu yöntemde zeminin öğütülüp, çalkalanıp parçalanması ve çimento ile karıştırılması tek bir sıvı ile sağlanmaktadır. Jet-1 yöntemi düzeneği Şekil 3.4.(a)'daki gibidir (Erol ve Çekinmez, 2018)

Su+çimento karışımı sisteme dik enjekte edilir böylece zemin bir taraftan öğütülürken, aynı zamanda öğütülen zemin-enjeksiyon karışımı karışmış / yer değiştirmiş hale gelir. Bu süreçte enjeksiyon püskürtülen nozüllerinin yer aldığı monitor, zemin tabakalarının türüne göre sabit hızla döndürülerek yukarı çekilir ve böylelikle zemin-çimento (soilcrete) enjeksiyonu karışımından oluşan silindirik geometride jet grout kolonu oluşmuş olur (Yılmaz, 2016)



Şekil 3.4. Jet enjeksiyon sistemleri: (a) jet-1, (b) jet-2, (c) jet-3 (Erol ve Çekinmez, 2018)

3.2.1.2. Jet-2 yöntemi (çift akışkanlı)

Jet-2 yönteminde, jet-1 yöntemiyle aynı şekilde zemini öğütüp parçalayan su+çimento karışımı enjeksiyon sıvısı olarak kullanılmaktadır. Jet-1 yönteminden farklı olarak jet-2 yönteminde çimento enjeksiyonu, basınçlı hava ile beraber zemine verilmektedir. Bu yöntemde normal jet ekipmanlarından farklı olarak hava kompresörü bulunur ve tijler çift cidarlıdır. İç ve dış cidar olarak adlandırılan bu cidarlardan iç cidardan tek akışkanlı yöntemdeki gibi pompadan gelen çimento enjeksiyonu iletilmektedir. Cidarlar arasındaki boşluktan ise hava kompresörü yardımıyla basınçla gelen hava geçmektedir. Hava ve jet enjeksiyonu püskürtme ucundan aynı anda geçecek şekilde zemine verilmektedir. Hava jeti verilmesindeki amaç enerji kayıplarını azaltarak sistemin verimliliği artırmaktır. Bu yöntem genellikle tek akışkanlı yöntem kullanılarak hedeflenen kolon çapı elde edilemeyen zeminlerde tercih edilmektedir. Çift akışkanlı yöntem düzeneği Şekil 3.4.(b)'de görüldüğü gibidir (Croce ve Madoni, 2014).

3.2.1.3. Jet-3 yöntemi (üç akışkanlı)

Jet-3 yönteminde, zeminin öğütülüp parçalanması ve devamındaki enjeksiyonlama işlemleri birbirinden farklı bölümlerde gerçekleşmektedir. Bu yöntemde tijler 3 cidarlıdır. En içte bulunan borudan enjeksiyon, iç cidar ile orta cidar arasından 30- 80 bar basınç aralığında

su, orta cidar ile dış cidar arasından ise 5-12 bar basınç aralığında hava geçmektedir. Jet grout imalatı esnasında zemini örseleme işlemleri monitörün üst tarafındaki nozülünden verilen basınçlı su ve hava ile yapılmaktadır. Monitörün daha alt tarafındaki diğer nozülünden zemine enjeksiyonu verilmektedir. Daha aşağıdaki nozülünden uygulanan jet enjeksiyonu zemini karıştırmayı amaçladığından dolayı düşük basınçla uygulanmaktadır. Üç akışkallı (jet-3) yöntem düzeneği Şekil 3.4.(c)'deki gibidir (Erol ve Çekinmez, 2018).

3.3. Jet Grout İmalat Parametreleri

Jet grout kolonu oluşturma yöntemlerinin her biri için çeşitli parametrelerle proje kapsamında istenilen çapta jet grout kolonu oluşturulması mümkündür. Tablo 3.1'de tüm sistemler için tipik değerler verilmiştir.

Sahada jet grout imalatına başlamadan önce deneme kolonları yapılarak jet grout kolonun çapı ve malzeme dayanımı kontrol edilir. Deneme kolonlarından elde edilen sonuçlara göre en uygun parametreler seçilir ve bu parametrelerle imalatlara devam edilir. Seçilen parametreler projede öngörülen çap ve/veya malzeme dayanımı değerlerini sağlamaz ise parametreler değiştirilmelidir. Farklı birkaç deneme sonucunda da makul değerler elde edilemezse jet grout yapım yönteminin değiştirilmesi önerilir. Jet grout sisteminde değişebilen imalat parametreleri (Durgunoğlu 2004);

Nozül Çapı ve Sayısı (mm)

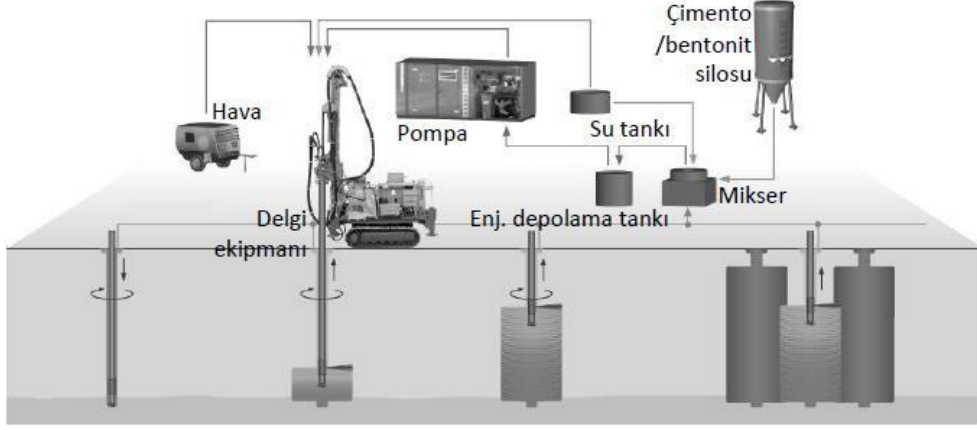
- Su/Çimento Oranı
- Enjeksiyon Basıncı (Bar)
- Tij Çekme Hızı (cm/dk)
- Pompa Kapasitesi (lt/dak)
- Tij Dönme Hızı (rpm)

Tablo 3.1. Jet grout yöntemi imalat parametreleri (Durgunoğlu 2004)

Sistem	Enjeksiyon Tipi	Basınç (bar)	Nozul adedi ve Çekme hızı (mm) (cm/dk)	Dönme Hızı (rpm)	Su/Çimento Oranı	Pompa Kapasitesi (lt/dak)
Jet-1	Çimento	400-550	1-2x2-5	15-100	5-15	70-600
	Çimento	400-550	1-2x2-5	10-30	4-8	70-600
Jet-2	Hava	10-12	-	10-30	-	4000-10000
	Çimento	50-100	1-2x2-5	6-15	4-8	80-200
Jet-3	Hava	10-12	-	6-15	-	4000-10000
	Su	-	-	6-15	-	40-100

3.4. Jet Grout Ekipmanları

Üç farklı jet yöntemi için kullanılabilecek bir jet grout tesisinin şematik görünümü Şekil 3.5’da gösterilmiştir. Jet grout tesisini oluşturan başlıca ekipmanlar şekil üzerinde numaralandırılarak verilmiştir.



Şekil 3.5. Jet grout tesisi (Erol & Çekinmez, 2018)

3.4.1. Çimento silosu

Jet grout enjeksiyonunda kullanılmak üzere içerisinde çimento depolanan ekipmandır (Şekil 3.6). Çimento siloları büyüklüklerine göre 50 – 1000 ton arasında çimento depolayabilir.



Şekil 3.6. 50 ton kapasiteli çimento silosu

3.4.2. Su tankı

Jet grout enjeksiyonunda kullanılmak üzere içerisinde su depolanan ekipmandır. Su tankları büyüklüklerine göre 5 – 100 ton mertebesinde su depolayabilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Su depoları

3.4.3. Mikser

Jet grout imalatında kullanılacak olan su-çimento (tercihen bazı katkı maddeleri) karışımı bu bölümde hazırlanır. Bu işlem miktarları önceden belirlenen su ve çimentonun ayrı haznelerden alınarak ortak bir haznede karıştırılması ile gerçekleşir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Enjeksiyon karıştırıcı (mikser)

3.4.4. Enjeksiyon depolama tankı

Mikserde hazırlanan su-çimento karışımı (jet enjeksiyonu) enjeksiyon depolama tankına gönderilir. Enjeksiyon karışımı pompa vasıtasıyla zemine gönderilmek üzere bu bölümde bekletilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Enjeksiyon depolama tankı

3.4.5. Enjeksiyon pompası

Enjeksiyon depolama tankındaki enjeksiyonu enjeksiyon hortumu aracılığıyla zemine yüksek basınçla ileten makinedir (Şekil 3.10). Maksimum 600 bara kadar basınca ulaşabilen makine, bu sürekli basıncı yapısında bulunan piston takımlarının emme ve basma hareketi ile elde etmektedir.



Şekil 3.10. Enjeksiyon pompası

3.4.6. Delgi makinesi ve ekipmanları

Jet grout yönteminin en önemli ekipmanı delgi makinasıdır. Şekil 3.11’de delgi makinası görüntüsü verilmiştir. İstenilen uzunluktaki delgi ve enjeksiyon püskürtme işlemi bu

makine vasıtasıyla gerçekleştirilir. Tijler, su başlığı, monitor ve püskürtme ağızları (nozül) delgi makinası ekipmanlarıdır. Tijler 60-140 mm arası çapında içi boş çelik borulardır. Tijler delgi ilerledikçe birbirine eklenerek istenilen derinliği kadar jet grout imalatı yapılabilmesini sağlar. Enjeksiyon pompasına bağlı enjeksiyon hortumları ile delgi makinesine bağlı tijlerin bağlantısını su başlığı adındaki adaptor sağlar.

Su başlığı ve tij sisteminin son halkası monitor takımıdır. Bu monitor takımından sistemine göre jet grout enjeksiyonu, hava ve su püskürtme ağızına gelerek yüksek basınlı olarak zemine püskürtülür. Püskürtme ağızları (nozuller) çapları genel olarak 1.6-3.0 mm arasında değişmektedir (Toraman, 2021)



Şekil 3.11. Jet grout delgi makinası

3.5. Yüksek Modüllü Kolonlarının Kullanıldığı Alanlar

Yüksek modüllü kolonların kullanım alanı ülkemizde ve diğer ülkelerde oldukça yaygındır. Teknolojinin hızlı gelişimi ve yöntem üzerinde tecrübelerin artmasıyla yöntemin kullanım alanlarının giderek artacağı öngörülmektedir. Jet grout yönteminin kullanım alanları kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Temel, döşeme ve dolgu altlarında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon problemlerinin önlenmesi,

Kazılarda yatay zemin itkilerinin azaltılması,

Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu geçirimli zeminlerde yapılan kazılarda batardo kapama elemanı olarak kullanımı,

Yeraltı suyu altında inşa edilecek yapılarda, temel altında oluşabilecek kaldırma kuvvetini dengelemek amacıyla donatı takviyeli çekme elemanlarının kullanılması.

Köprülerde yapılarının yaklaşım dolguları altında meydana gelebilecek oturmaların kontrol edilmesi ve kenar ayak kazıklarına negatif yüzey sürtünmesinin önlenmesi,

Yumuşak killerde yapılan kazılarda kazı öncesi kazı taban seviyesi altında imal edilen payanda elemanı olarak kullanımı,

Yeraltı su seviyesi altındaki kazı tabanlarında yeraltı suyunun kontrolü için tıkaç görevinde kullanımı,

Yumuşak zemiinde açılması planlanan tünellerde tünel üstündeki zeminin iyileştirilmesi,

Ağır yapılarda kazıklı temellere gelecek yüklerin ve oluşacak deplasmanların sınırlandırılması için kazıklarla birlikte kullanımı,

Sıvılaşma potansiyeli taşıyan zeminlerde güvenlik katsayısının artırılması, zeminde meydana gelebilecek kayma gerilmelerinin bir kısmının karşılanarak deprem sırasında oluşabilecek düşey ve yatay hareketlerin engellenmesi, (Durgunoğlu, 2004).

3.6. Jet Grout Kolonlarının Tasarım Esasları

Jet grout kolonlarının teşkil edildiği zeminin özellikleri, zemin içerisinde uygun jet grout parametreleri ile oluşturulan kolonların serbest basınç mukavemeti (σ_j) ve elastisite modülü (E_{jg}) gibi mekanik özellikleri ile kontrol edilmelidir. Farklı zemin türleri için jet grout elastisite modülü (E_{jg}) 500-12500 MPa arasında değişmektedir.

Zemine göre jet grout – zemin elastisite modülü oranı (E_{jg}/E_s) 10-250 olarak kabul edilmektedir (Durgunoğlu , Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, 2004).

Tablo 3.2.'de farklı zemin türlerinde jet grout kolonu serbest basınç dayanımı ve jet grout elastisite modülü – zemin serbest basınç dayanımı ilişkisi (Durgunoğlu , Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, 2004)

Tablo 3.2. Elastisite modülü – zemin serbest basınç dayanımı ilişkisi (Durgunoğlu, 2004)

Zemin Cinsi	Serbest Basınç Mukavemeti, σ_{jg} , MPa	Modül Oranı, E_{jg}/σ_s
Kil	2-5	150
Silt	3-7	200
Kum	7-14	600
Çakıl	12-18	900

3.6.1. Jet grout kolonu taşıma kapasitesi hesabı

Jet grout kolonları yüksek basınçlı imalat metoduna sahip olduklarından ötürü zemin ile etkileşimleri oldukça kuvvetlidir. Genel olarak yumuşak/gevşek zeminlerde kullanıldıklarından yapısal rijitlikleri zemine göre yüksektir. Böylelikle, jet grout kolonları üzerlerine etkiyen aksel yükleri büyük oranda taşırlar. Jet grout kolonlarının kapasite hesabı kazık elemanlarına benzer şekilde yapılabilir (Garassino, 1997).

$$Q_u = Q_s + Q_b \quad (3.1)$$

Eşitlik 2.1 jet grout kolonu nihai kapasitesi (Q_u) genel denklemdir.

$$Q_s = \pi D_{jg} \int_{l_1}^{l_2} \alpha c_u dz \quad (3.2)$$

$$Q_s = \pi D_{jg} \int_{l_1}^{l_2} \gamma z K_s \tan(\delta) dz \quad (3.3)$$

$$Q_b = 9c_u A_{jg} \quad (3.4)$$

$$Q_b = \frac{1 + 2K_0}{2} \sigma'_{v0} N_{q\xi} A_{jg} \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 kullanılarak jet grout kolonu sürtünme ve uç kapasiteleri hesaplanmaktadır (Garassino, 1997).

Yukarıda yer alan eşitliklerde;

A_{jg} = Jet grout kolonu kesit alanı,

D_{jg} = Jet grout kolonu ortalama çapı,

α = Adhezyon faktörü

c_u = Zeminin drenajsız kayma mukavemeti

N_q = Taşıma kapasitesi faktörü

σ_{v0} = Kolon ucundaki efektif toprak basıncı

K_0 = Sükunetteki toprak basıncı

K_s = Sürtünme kuvveti azaltma faktörü

γ = Zemin birim hacim ağırlığı

ξ = Uç kapasitesi azaltma faktörü

δ = Kolon- Zemin arasındaki sürtünme açısını ifade etmektedir.

Jet grout kolonu sürtünme ve uç kapasitesi hesaplamaları için kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlere göre kullanımı Tablo 3.3'deki gibidir.

Tablo 3.3. Zemin türlerine göre jet grout kapasitesinin belirlenmesi

Zemin Türü	Çevre Sürtünme Kapasitesi (Q_s)	Uç Kapasitesi (Q_b)
Kohezyonlu	$Q_s = \pi D_{jg} \int_{l1}^{l2} \alpha c_u dz$	$Q_b = 9 c_u A_{jg}$
Kohezyonsuz	$Q_s = \pi D_{jg} \int_{l1}^{l2} \gamma z K_s \tan(\delta) dz$	$Q_b = \frac{1 + 2K_0}{2} \sigma'_{v0} N_q \xi A_{jg}$

3.6.2. Jet grout kolonu dayanım parametreleri

Jet grout kolonlarının zemin ile etkileşiminin oldukça yüksek olması sebebiyle jet grout ile iyileştirilmiş zeminler tek bir malzeme olarak temsil edilebilmekte olup zemin koşulları jet grout kolonunun mekanik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir.

Elastisite Modülü (E_{jg})

Jet grout kolonu elastisite modülü değeri eşitlik 3.6'da gösterildiği gibi hesaplanabilir (Croce ve Madoni, 2014).

$$E_{jg} = \beta E * \sigma_{jg} \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte;

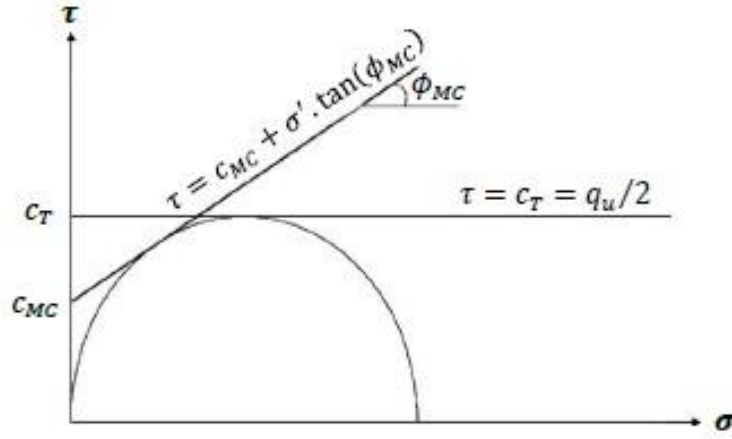
E_{jg} = Jet grout kolonu elastisite modülü,

β_E = Korelasyon katsayısı, genellikle 200-700 arasında değişir. Tablo 3.3'te farklı zeminler için önerilen değerler verilmiştir.

σ_{jg} = Jet grout kolonu serbest basınç mukavemeti değeri.

Tablo 3.4 Farklı zemin türlerinde imal edilen jet grout kolonlarının elastisite modülü (E_{jg}) ile tek eksenli serbest basınç mukavemeti arasındaki ilişkiler (Croce, 2014)

Referans	Zemin Türü	E tanımı	β_E
Mongioli ve ark. (1991)	Çakıl	Teğet belirtilmemiş	280-1000
Lunardi (1992)	Çakıl ve Kum	Sekant (%40 σ_{jg} 'da)	500-1200
Nanni ve ark. (2004)	Çakıl ve Kum	Teğet belirtilmemiş	440-1000
Croce ve ark. (1994)	Kumlu Çakıl	Teğet belirtilmemiş	210-670
Nanni ve ark. (2004)	Siltli Kum	Teğet belirtilmemiş	430-830
Fang ve ark. (2004)	Siltli Kum	Sekant (%50 σ_{jg} 'da)	300-750
Fang ve ark. (2004)	Siltli Kum/Kil	Sekant (%50 σ_{jg} 'da)	100-300
Lunardi (1992)	Silt ve Kil	Sekant (%40 σ_{jg} 'da)	200-500



Şekil 3.12. Jet grout kolonu malzemesi için kabul gören yenilme kriterleri

Kohezyon (c_{jg}) çeşitli araştırmalar sonucunda jet grout kolonu malzemesi için kabul gören yenilme kriterleri Şekil 3.12'te sunulmuştur.

Oldukça yüksek kohezyon değerine sahip jet grout kolonu malzemesinin düşük zemin tabakası yükleri altında olduğu düşünüldüğünde jet grout malzemesinin kayma direncinin büyük bölümünün kohezyon değeri tarafından sağlandığı görülmektedir. Tresca modeline göre jet grout kolonu kayma direnci eşitlik 3.7'de ifade edildiği gibi tek bir parametreye indirgenerek hesaplanabilmektedir (Croce ve Madoni, 2014). Bu kriter pratikte en çok kullanılan kriterdir.

$$c_{jg} = \frac{\sigma_{jg}}{2} \quad (3.7)$$

Burada, c_{jg} jet grout kolonu malzemesi kohezyon değerini, σ_{jg} ise jet grout kolonu malzemesi serbest basınç mukavemetini ifade etmektedir.

3.6.3. Jet Grout İle İyileştirilmiş Zeminde Kompozit Malzeme Parametreleri

Jet grout ile zemin iyileştirme tasarımlarında en önemli tasarım parametrelerinden birisi olan alan değiştirme oranı (a_r) eşitlik 3.8'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$a_r = \frac{A_{jg}}{A} \quad (3.8)$$

$$A = s_v * s_h \quad (3.9)$$

Buradaki A_{jg} Jet grout kolonu kesit alanını, A jet grout kolonu etki alanını, s_v ve s_h ise jet grout kolonlarının yatay ve düşeydeki aralık mesafesini ifade etmektedir. İyileştirme yapılan zemin tabakalarında alan değiştirme oranına (a_r) bağlı olarak iyileşme oluşacağı kabulü yapılarak iyileştirme öncesi zemin ve jet grout kolonu dayanım parametrelerinin alan yer değiştirme oranı yardımıyla ağırlıkları belirlenerek kompozit malzeme parametreleri hesaplanabilmektedir (Croce ve Madoni, 2014).

$$c_{komp} = c_s(1 - a_r) + c_{jg}a_r \quad (3.10)$$

$$E_{komp} = E_s(1 - a_r) + E_{jg}a_r \quad (3.11)$$

İyileştirme yapılan tabakalar için kompozit elastisite modülü ve kohezyon parametreleri eşitlik 3.10 ve 3.11'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu eşitliklerde c_s ve E_s : sırasıyla zeminin kohezyon ve elastisite modülü parametrelerini,

c_{jg} ve E_{jg} : sırasıyla jet grout kolonunun kohezyon ve elastisite modülü parametrelerini temsil etmektedir.

3.7. Jet Grout Kalite Kontrol Deneyleri

Jet grout ile zemin islahı yapılması planlanan sahada önceden zemin etüd çalışmaları yapıp mevcut zemin koşullarının değerlendirilmiş olması gerekmektedir. Tasarımı yapılmış

jet grout projesi ile projenin tasarım kriterlerini sağlayacak şekilde jet grout kolonlarının yapılmasını sağlamak ve yapılan kolonların kalitesini denetlemek amacıyla uygulama sahasında çeşitli kalite kontrol deneyleri yapılmaktadır (Doğanışık, 2010). Bu deneylerin bir kısmı imalatlar öncesinde bir kısmı ise imalatlar esnasında ve sonrasında gerçekleştirilebilir.

3.7.1. Çap kontrolü

Jet grout uygulama sahasında proje imatları başlamadan önce imalat parametreleri değiştirilerek en az 3 adet test kolonu imal edilmelidir. Aynı jet yöntemi kullanılarak tij devir sayısı, çekme süresi, enjeksiyon basıncı ve püskürtme ağız çapı değiştirilerek deneme kolonları imalatı yapılır. Belli bir priz süresi sonrasında oluşturulan kolonların etrafları kazılarak çaplar ölçülür ve derinlik boyunca çap sürekliliği gözlemlenir (Doğanışık, 2010). Alınan ölçümler değerlendirilerek proje gereksinimlerini sağlayan en uygun parametreler bu aşamada belirlenip imatlara bu parametrelerle devam edilir. Ayrıca, deneme kolonlarında projede belirtilen çaplara ulaşılama durumunda farklı optimizasyonlar yapılarak yeniden deneme kolonları yapılmalıdır.

3.7.2. Karot numunesi alımı ve serbest basınç deneyi

Jet grout imalatından 28 gün sonra kolon uç noktalarından silindirik karot numuneleri alınır. Karot numuneleri TS 10465'te tariflendiği gibi alınmalıdır. Alınan numuneler yükseklik/çap oranı 2 olacak şekilde deney için hazır hale getirilip numune üzerinde serbest basınç deneyi gerçekleştirilir. Şekil 3.13'de jet grout kolonu kafasından karot numunesi alımı ve karot numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Jet grout kolonu kafasından karot numunesi alımı

Serbest basınç deneyleri, yükün numuneye sabit hızla (yaklaşık 1 mm/dakika) verilmesi ile gerçekleştirilmelidir. Kontrollü gerilmenin numuneye uygulandığı

hidrolik aletlerde yükleme 140 +/- 70 kPa/sn hızla yapılmalıdır. Kırılma durumunda toplam yük 50 kN hassasiyetle belirlenebilmelidir (Toğrol, 1998).

Kolonlardan alınan karot numunelerin serbest basınç mukavemeti deneyleri ile elde edilen gerilme deformasyon grafiğinde E_{jg} tayin edilir (Sağlamer ve Düzceer, 2002).

3.7.3. Eksenel yükleme deneyi

Jet grout kolonlarının taşıyıcı eleman olarak kullanılması durumunda yükleme deneyi yapılmalıdır. Eksenel yükleme deneylerinde amaç; projede her bir jet grout kolonu için öngörülen proje yüklerinin imal edilen kolonlar tarafından güvenli şekilde karşılanıp karşılanmadığının teyitidir (Durgunoğlu ve ark. 2002)

Yükleme deneyleri;

- Bilinen zemin koşulları veya yükleme şekillerine uymayan durumlarda,
- Zemin incelemeleri veya sahaya ilişkin bilgi ve tecrübelerin yeterli görülmediği durumlarda mutlaka yapılmalıdır.

Jet grout kolonlarında yapılan yükleme deneyleri iki gruba ayrılabilir;

- Deneme kolonlarında yapılan yükleme deneyleri,
- Daha sonra kullanılacak kolonlarda yapılan yükleme deneyleri.

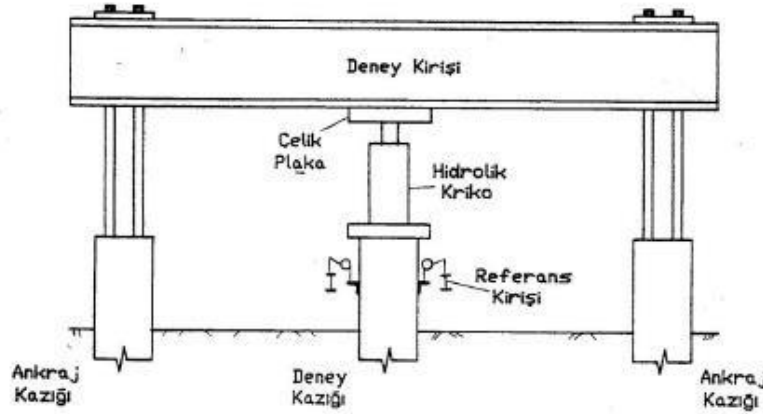
Deneme kolonları çökmeye başlayana ya da kabul edilebilir en yüksek oturma miktarına ulaşılan kadar yüklenir. Göçme yükü, aşağıda belirtilen tanımlardan uygun olanına göre belirlenir. (Toğrol, 1998).

- Yükün artışının durduğu fakat oturmanın devam etmesi durumundaki yük değeri,
- Kolon çapının %10'u kadar bir toplam oturma oluşturan yük,
- Kalıcı oturma eğrisinin eğiminin her 10 kN'luk deney yükü için 0.25 mm oturmaya eşit olduğu yük.

Daha sonra proje kolonu olarak kullanılacak kolonlar üzerinde yapılan kontrol deneylerinde ise amaç imal edilen kolonların proje yükü için yeterli olup olmadığının belirlenmesidir. Uygulanacak deney yükü, en az kolon proje yükü kadar olmalı, tercihen bu yükün 1.5 katına çıkılmalıdır. Yükleme deneyleri ASTM D 1143-81 standardına uygun olarak tek döngülü veya çift döngülü olarak yapılabilir (Toğrol, 1998).

Yükleme deney düzeneği için yüklenecek jet grout kolonu ekseninde kolona eşit uzaklıkta

iki adet çekme kolonu (ankraj kazığı) imal edilir. Çekme kolonu imalarında her bir kolona deney esnasında maruz kalacağı yüke göre yeterli miktarda donatı yerleştirilmelidir. Şekil 3.14’da tipik yükleme deneyi düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Tipik yükleme deneyi düzeneği (Düzceer, 2002)

Yükleme deney düzeneği tek açıklıklı hareketli mesnet sistemi ile aynı prensipte çalışmaktadır. Buna göre, üzerine aktarılan yük ve eğilme momentlerini karşılayabilen, orta noktasına eşit uzaklıkta jet grout çekme kolonlarından çıkan donatılarla bağlanarak mesnetlenmiş bir kiriş, orta noktasından hidrolik kriko vasıtasıyla kademeli yüklemelere maruz bırakılmaktadır.

Yükleme ve boşaltma kademelerinde belirli zaman aralıklarında deformasyon okumaları yapılarak test kolonlarındaki düşey deformasyonlar tespit edilir. Elde edilen veriler kullanılarak yük-düşey deplasman, yük-zaman ve düşey deplasman- zaman grafikleri hazırlanır ve sonuçlar yorumlanır.

3.7.4. Jet Grout kolonu süreklilik testi

Süreklilik testi (Pile Integrity Test) genel olarak sahada imal edilen jet grout kolonlarının sürekli bir şekilde imal edildiğinden ve kolonlarda herhangi bir yapısal hasar oluşmadığından emin olmak amacıyla, daha önceden imal edilmiş kolonlar üzerinden alınan sayısal verilerin işlenmesini, değerlendirilmesini ve yorumlanmasını kapsamaktadır. Süreklilik testleri, kolonlardaki önemli süreksizlikleri ve malzeme eksikliklerini tespit etmek ve kolon uzunluklarını belirlemek için kullanılan bir test yöntemidir. Bu testten elde edilen verilerle, kolon çapı boyunca oluşan süreksizlikler belirlenir ve kolon kalitesinin kontrolü sağlanır.

Süreklilik testi, kolon başında 0.5 kg ağırlığında özel bir çekiçle darbe oluşturulması ve bu darbenin kolon başına yerleştirilen bir ivme ölçer (geophone) tarafından kaydedilmesi

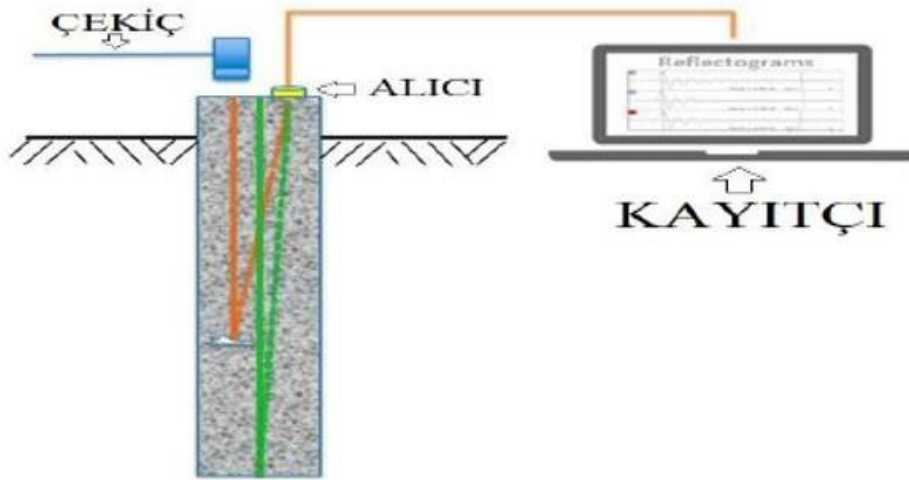
prensibine dayanır. İvmeölçer ile kaydedilen sinyal, belirli büyütme değerleri kullanılarak dijital formata dönüştürülür. Sahada portatif bir bilgisayar (data logger) aracılığıyla alınan bu kayıtlar, özel olarak geliştirilen yazılımlar kullanılarak analiz edilir ve sonuçlar grafiksel olarak elde edilir. Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'de sırasıyla süreklilik deneyi düzeneği ve ekipmanları gösterilmiştir.

Süreklilik testinde her kolon için kolon boyları kayıt cihazına veri olarak girilerek elde edilen sonuçlar bu girilen veri baz alınarak değerlendirilmektedir. Kolon uzunluklarının ölçümünde, titreşim dalgasının kolon içinde ilerleme hızından faydalanılır. Test sırasında, çevresel değişikliklerin etkisini en aza indirmek için en az bir ek kayıt alınmalıdır. Elde edilen sonuçların yorumlanmasında, zemin yapısı, kolon tasarım özellikleri, kolon imalat yöntemi ve bu yöntemin kolonun formuna olası etkileri dikkate alınmalıdır. Bu test ASTM D 5882 standartlarına uygun olarak yapılmalıdır.

Bu test sonucunda elde edilen veriler ek işlemler ve/veya ileri analizler için kayıt edilir.



Şekil 3.15. Süreklilik testi ekipmanları



Şekil 3.16. Süreklilik deneyi düzeneği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde jet grout sürecinde elde edilen veriler analiz edilerek tablo ve grafikler şeklinde sunulmuştur.

4.1. Zemin Koşulları Hakkında Genel Bilgiler

4.1.1. Etüdün amacı ve kapsamı

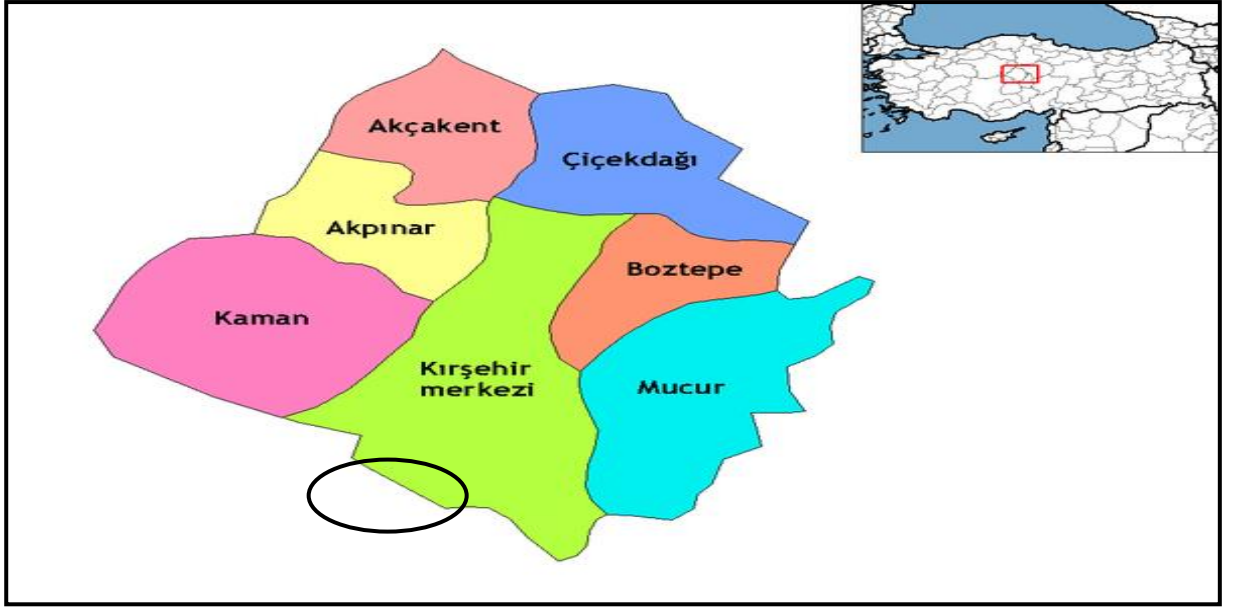
Bu çalışmanın temel amacı, Kırşehir ili, Merkez ilçesi, Kuşdilli Mahallesi, 1489 ada 12 numaralı parselde inşa edilmesi planlanan zemin + 3 katlı yapıya ait inşaat alanının jeolojik ve jeoteknik özelliklerini inceleyerek, yapı temeline ilişkin uygun zemin koşullarını belirlemektir.

Çalışma kapsamında; saha jeolojisi, sondaj kuyusu çalışmaları, sismik ölçümler, laboratuvar analizleri, jeoteknik değerlendirmeler ve jet grout imalatları gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında yürütülen sondajlı zemin etütleri ile birlikte, bölgede yer alan jeolojik irimlerin türleri ve mekânsal dağılımları tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, yerinde (in-situ) deneyler yapılmış; elde edilen numuneler üzerinde zemin mekaniği deneyleri gerçekleştirilerek zemine ait mühendislik parametreleri belirlenmiştir.

Bununla birlikte, yapılması planlanan alt ve üstyapıların inşası sırasında ve sonrasında oluşabilecek jeoteknik risklerin ortaya konulması ve bu risklerin yapı güvenliğine etkilerinin değerlendirilmesi de bu çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır.

4.1.2. İmar adası ile ilgili bilgiler

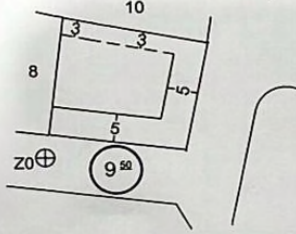
Etüt alanı; Kırşehir ili, Merkez İlçesi, Kuşdilli Mahallesi 1489 Ada 12 parsel sınırları içindeki alanda çalışmalar yapılmıştır. Çalışma yapılan alanda yapılacak olan bina Zemin + 3 kat şeklinde temel derinliği -0,75 m olarak yapılacaktır. Şekil-4.1'de İnceleme alanı Yerbulduru Haritası verilmiştir.



Şekil 4.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası ve uydu görüntüsü

İMAR DURUM BELGESİ

ÇAP NO	52	T.C. KIRŞEHİR BELEDİYESİ İMAR VE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ				TARİH: 27.03.2025	
BÖLGE NO:	1					DÜŞÜNCELER	
SAHİBİ:		MAHALLESİ	CİNSİ	TAPU KAYDI			1) Planlı Alanlar Yönetmeliği Madde 5.6'da belirttiği üzere 2) Katlar alanı, Madde 21.4'e göre Değerlendirilecektir. 3)
				PAFTA	ADA	PARSEL	
KURTULUŞ KAYIKCI	KUŞDILLI	TİCARET			1489	12	451.89
YAPI NİZAMI	BL	İNŞAAT CEPHESİ					
KAT ADEDİ (BODRUM HARİÇ)	4	BİNA DERİNLİĞİ					
ÖN BAHÇE MESAFESİ	KROKİDE	SAÇAK SEVİYESİ (MT)					
YAN BAHÇE MESAFESİ	KROKİDE	ÇIKMA DERİNLİĞİ (MT)					
KAT ALANI KAT SAYISI (KAKS)		ÇATI MEYİLİ					
TABAN ALANI KAT SAYISI (TAKS)		KAT ALANI KAT SAYISI (EMSAL-KAKS)					



Nokta No	Y	X
Z0	599955.50	4335016.79

Belediyeye Ait Hisse Satın Alınmadan Ruhsat Düzenlenemez.
Plan Notu 3.11'e Göre Taban Alanı %60'a Kadar Kullanılabilir Ancak Toplam Emsal Aşamaz.
Applikasyon Krokisinde Bulunan Direk
Kaldırılmadan Ruhsat Verilemez.

- A-İSKAN EDİLEN HER BODRUM KAT İÇİN YAN BAHÇE MESAFELERİ 0.50M ARTTIRILIR.
B-YOLA BAKAN BİNA CEPHELERİ ÇEKME MESAFELERİNDEN GERİDE KALAMAZ. GEREKTİĞİNDE KADEMELİ CEPHE OLUŞTURULUR.
C-BU BELGEDE GÖSTERİLMİYEN HUSUSLARDA PLAN NOTLARINA GÖRE; DİĞER HUSUSLARDA İSE PLANLI ALANLAR İMAR YÖNETMELİĞİ VE DİĞER YÖNETMELİK HÜKÜMLERİ İLE MECLİS KARARLARINA GÖRE UYGULAMA YAPILIR.
D-İŞBU BELGE VERİLDİĞİ TARİHTEN İTİBAREN BİR YIL SÜREYLE GEÇERLİDİR. BU SÜRE ZARFINDA İMAR PLANI DEĞİŞTİĞİ TAKDİRDE İMAR DURUM BELGESİ HÜKÜMSÜZDÜR.
E-JEOLOJİK ETÜT ÇALIŞMALARINI BELEDİYEMİZE BİLGİ VERİLDİKTEN SONRA BAŞLAYACAKTIR.
F-SU VE KANALİZASYON İŞLERİ MÜDÜRLÜĞÜNDEN KANAL KOT KROKİSİ EVRAĞI ALINMADAN RUHSAT DÜZENLENMEYECEKTİR.

Şekil 4.2. İnceleme alanının yerleşim imar durum belgesi

4.2. Yapı Hakkında Bilgiler

İnceleme alanında inşaa edilmesi planlanan yapı Apartman niteliğinde olup yapı ile ilgili kullanacak parametreler Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 'te verilmiş ; zemin + 3 katlı olup 13,00 m yüksekliğinde 194,33m² oturuma sahip betonarme inşaat yapımıdır.

- Bina kat sayısı = Z + 3 Kat
- Bina Temel derinliği = -0,75 m
- Bina yüksekliği = 13,00 m
- Toplam yükseklik = 13,75 m

Tablo 4.1. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları

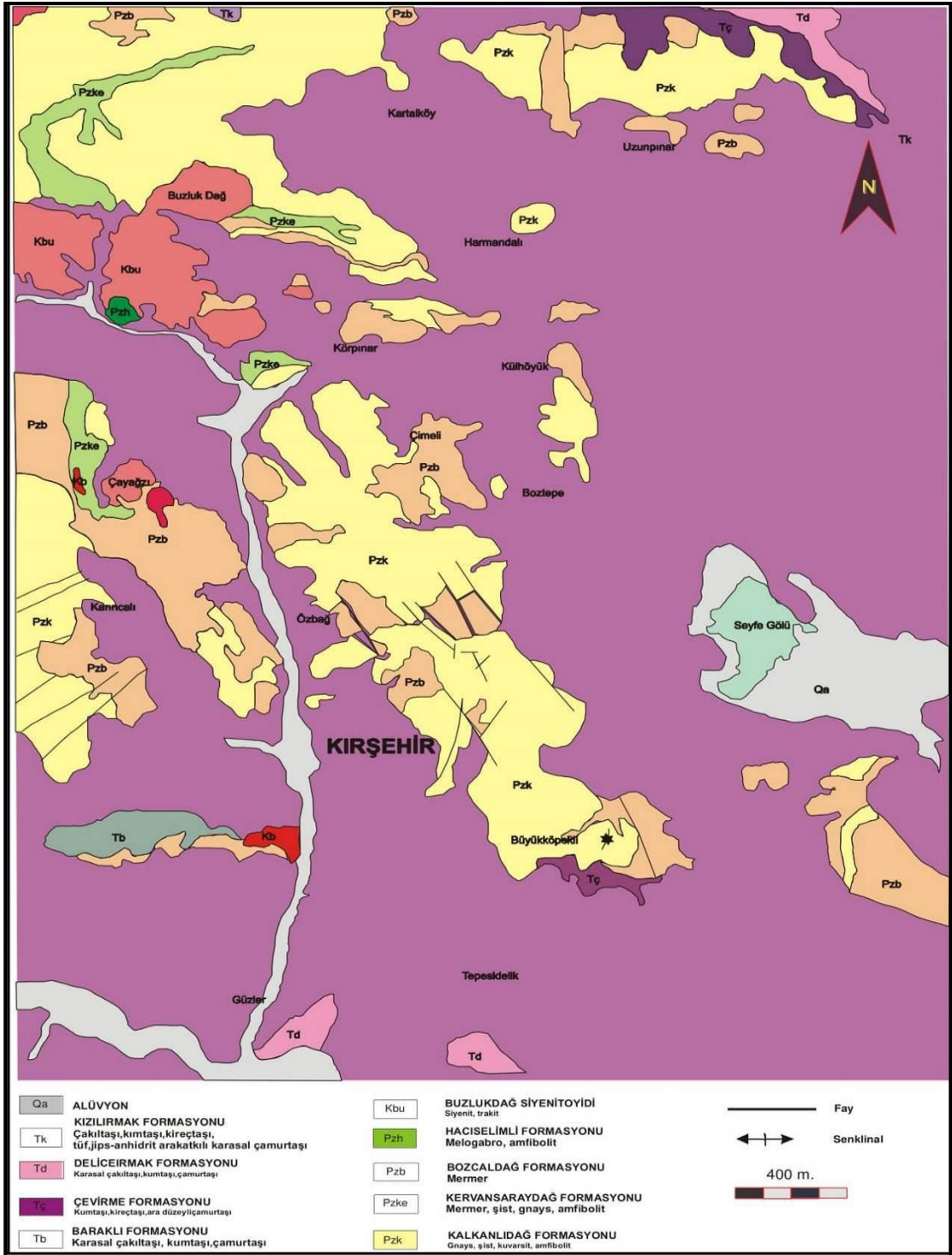
Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (m)		
	DTS = 1 , 1a, 2, 2 a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4 a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

Tablo 4.2. Deprem tasarım sınıfları

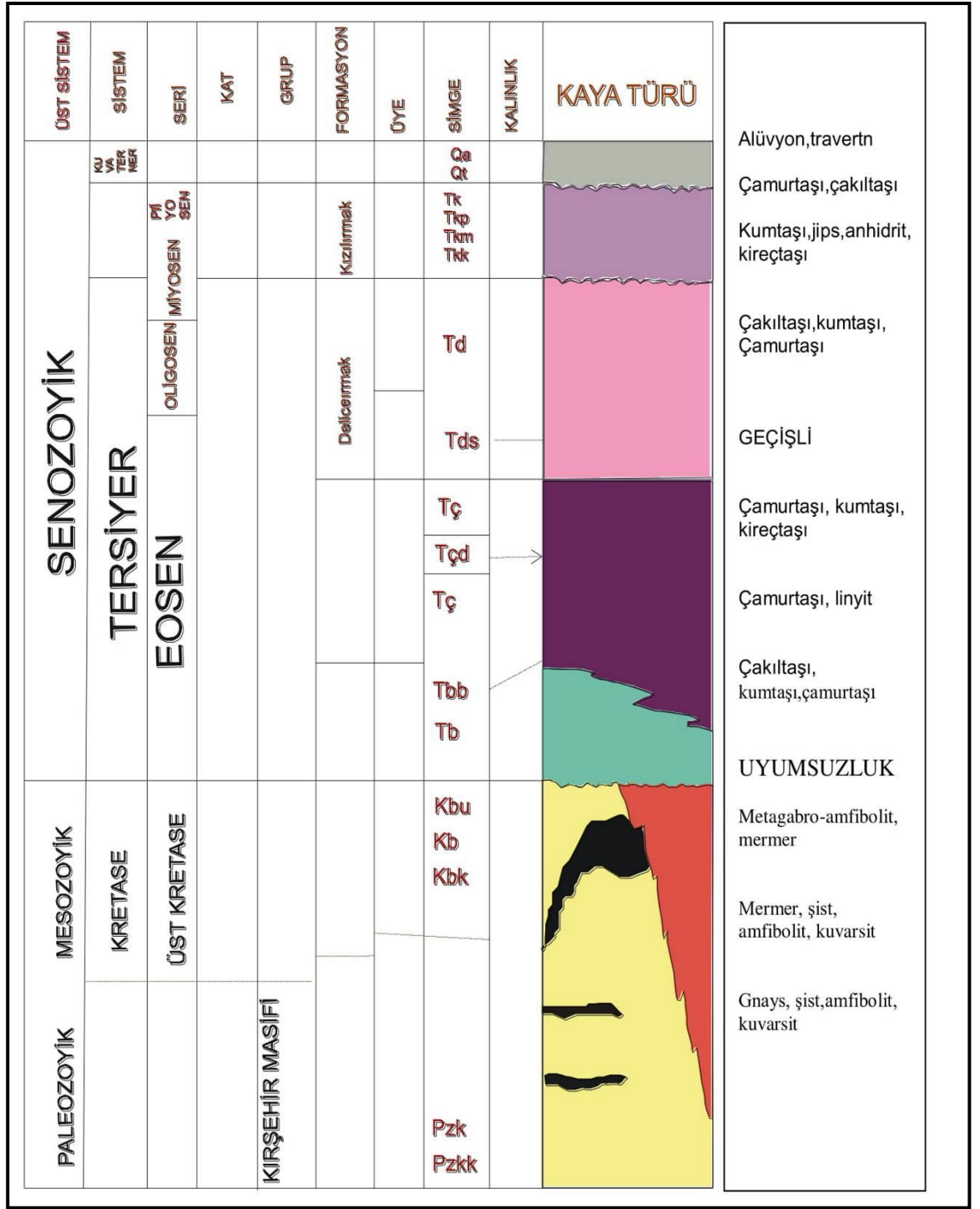
DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2-3
$S_{DS} < 0,33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Tablo 4.3. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Aalışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinemai tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1,2
BKS = 3	Diğer binalar BKS = 1 ve BKS = 2 için verilen tanımlamalara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.	1,0



Şekil 4.3. Kırşehir ve civarının jeoloji haritası (Akyürek, B. 1/100000 ölçekli Açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları)



Şekil 4.4. Kırşehir ve civarı stratigrafik kolon kesiti (MTA yayınlarından SUZEMİN MÜH. tarafından revize edilmiştir.)

4.3. Arazi Ve Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanında 18.04.2025-19.04.2025 tarihinde SK-1 21,00m., SK-2 21,00m. ve SK-3 21,00m.'şer derinliğinde, 3 adet, toplamda 63,00m. temel sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyusunda zeminin Koyu Kahverenkli Kumlu Kil birimlerden olduğundan

sondaj makinası vasıtasıyla zeminden örselenmemiş UD, örselenmiş SPT numuneleri alınmıştır.

Jeofizik çalışma olarak 1 adet sismik, 1 adet Mikrotremör, 1 adet Masw ve 1 adet Rezistivite çalışması yapılmıştır.

4.3.1. Zeminin dinamik ve elastik parametreleri

Jeofizik çalışmalar sonucu yapılan hesaplamalar da elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.4. Jeofizik-Geoteknik parametreleri

ZEMİNLER İÇİN JEOFİZİK-GEOTEKNİK PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ (2 Tabaka)				
Ölçülen Jeofizik Parametreler ve Yapı Bilgileri	SİMGE	BİRİM	1.TABAKA	2.TABAKA
P (SIKIŞMA) DALGA HIZLARI	V_p	m/sn	305	512
S (KAYMA) DALGA HIZLARI	V_s	m/sn	127	218
TABAKA KALINLIKLARI	h	m	13.00	
ÖZDİRENÇ DEĞERLERİ	ρ	ohm-m		
Türetilen Geoteknik Parametreler				
Türetilen Geoteknik Parametreler	SİMGE	BİRİM	1.TABAKA	2.TABAKA
30m için ortalama S (KAYMA) DALGA HIZI	V_s (30)	m/sn	166	
YOĞUNLUK (Gardner ve diğ., 1974)	γ	gr/cm ³	1.29	1.47
MAKSİMUM KAYMA MODÜLÜ (Kramer, 1996)	G_{max}	kg/cm ²	208.6	699.7
ELASTİSİTE MODÜLÜ (Bowles, 1988)	E	kg/cm ²	582.1	1944.2
POISSON ORANI (Bowles, 1988)	ν	-	0.40	0.39
BULK MODÜLÜ (Bowles, 1988)	K	kg/cm ²	925.1	2926.7
HAKİM TİTREŞİM PERİYODU (Kanai, 1983)	T_o	sn	1.1	
SERBEST BASINÇ DAYANIMI (Uchiyama ve diğ. 1984)	q_u	kg/cm ²	0.89	3.00
ZEMİN BÜYÜTMESİ (Midorikawa (1987)	Z_B	Göreceli	3.2	

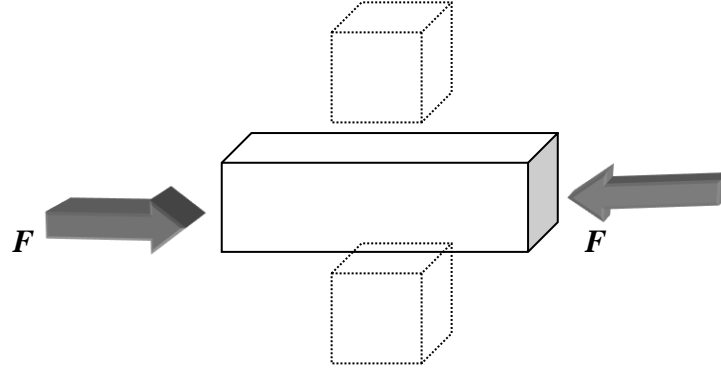
Taşıma Gücü Hesabı		qu=γ*Vs/100	
qu (KN/m ²)	1.64	(KN/m ²)	1. Tabaka
qu (KN/m ²)	3.2097	(KN/m ²)	2. Tabaka
Yatak Katsayısı (kN/m ³)		Ks=qu/δz	
qu	1.64	657.11	
Oturma (cm)		δz=qu/E*Z	
qu	1.64	10.98425783	
E	1944.229873		
Z	13.00		

Tablo 4.5. Zemin sınıfları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(Vs) ₃₀ (m/sn)	N ₆₀ ₃₀	Cu) ₃₀ (kPa)
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500		
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500		
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	50	250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	5	0 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya Pl>20 ve w>%40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (cu<25 kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren 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/vey organik içeriği yüksek killer 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (Pl>50) killer 4) Çok kalın (>35 m) yumuşak veya orta kalın killer			

Sahaya ait Vs30 değeri: 166 m/sn olduğundan zemin sınıfı: ZE dir.

Poisson oranı ρ : Bir kuvvet sonucunda enine kısalmanın boyuna uzamaya oranıdır. Birimsizdir

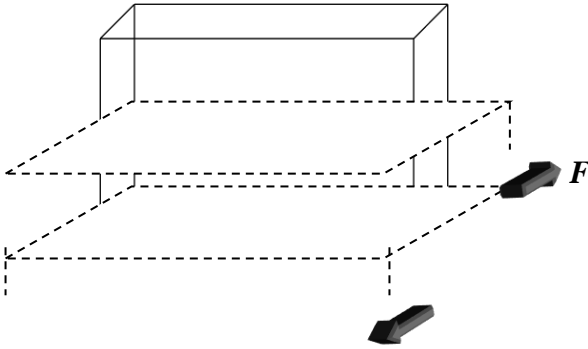


Tablo 4.6. Poisson oranı aralığı

Poisson oranı aralığı	Zemin özelliği
0-0.25	Gözeneksiz
0.25-0.35	Orta derecede gözenekli
0.35-0.50	Gözenekli

SERİM NO	TBK SAYISI	V _p	V _s	h	Poisson
SS1	1	305	127	13.00	0.40
	2	512	218		0.39

Elastisite modülünün(E): Boyuna gerilmenin, boyuna deformasyona oranıdır. Birimi kg/cm² dir. Tablo 4.7' ye göre dayanımı belirlenir.



$$E = \frac{\text{Boyunagerilme}}{\text{Boyunadeformasyon}} = \frac{F / A}{\Delta L / l}$$

A=Birim yüzey, F=Etki eden kuvvet

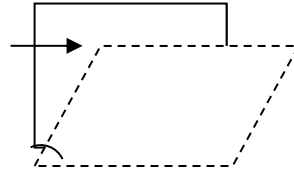
Tablo 4.7. Elastisite modülü

Elastisite Modülü – E- kg/cm ²		Dayanım			
<1000		Çok zayıf			
1000-5000		Zayıf			
5000-10000		Orta			
10000-30000		Sağlam			
>30000		Çok Sağlam			

SERİM NO	TBK SAYISI	Vp	Vs	h	E
SS1	1	305	127	13.00	582
	2	512	218		1944

Kayma modülünün(G) ; Yamulma gerilmesinin yamulma deformasyonuna oranıdır. Birimi kg/cm² dir.)

$$G = E / 2.(1+\nu)$$

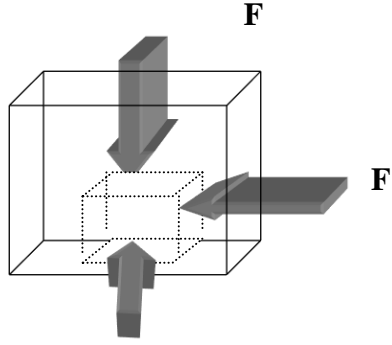
**Tablo 4.8.** Kayma modülü

Kayma Modülü (μ, kg/cm ²)		Dayanım			
<400		Çok zayıf			
400-1500		Zayıf			
1500-3000		Orta			
3000-10000		Sağlam			
>10000		Çok sağlam			

SERİM NO	TBK SAYISI	Vp	Vs	h	G
SS1	1	305	127	13.00	209
	2	512	218		700

Bulk Modülü(K):Blaise Pascal ilkesine dayanır. Hacimsel gerilmenin, hacimsel deformasyona oranıdır. Birimi kg/cm² dir.

$$Kd = p[Vp^2 - (4Vs^2) / 3] / 100 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$



Cisme her yönden kuvvet uygulandığında ortaya çıkmaktadır. Bulk modülü belli bir basınç altında sıkışmaya karşı gösterilen direnci göstermektedir. Tablo 4.9'a göre sıkışmazlığı belirlenir.

Tablo 4.9. Bulk modülü

Bulk Modülü (μ , kg/cm ²)	Sıkışmazlık
<400	Çok Az
400-10000	Az
10000-40000	Orta
40000-100000	Yüksek
>1000000	Çok Yüksek

SERİM NO	TBK SAYISI	V _p	V _s	h	K
SS1	1	305	127	13.00	925
	2	512	218		2927

Yoğunluk:

P dalgası hızına göre amprik olarak Telford (1976) tarafından verilen yoğunluk aşağıdaki formülden hesaplanır. Tablo 4.10'a göre de değer aralığı tanımlanır.

$$\rho = d = 0.31 * V_p^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Tablo 4.10. Yoğunluk modülü

Yoğunluk: ρ (gr/cm ³)	Tanımlama
<1.20	Çok düşük
1.20-1.40	Düşük
1.40-1.90	Orta
1.90-2.20	Yüksek
>2.20	Çok Yüksek

SERİM NO	TBK SAYISI	Vp	Vs	h	Vs30	Yoğunluk
SS1	1	305	127	13.00	166	1.29
	2	512	218			1.47

4.3.2. Sıvılaşma potansiyeli analizi

4.3.2.1. Sıvılaşma hasarları

Suya doymun kum tabakaları ve bazı siltli kil formasyonları, depremde sıvılaşma yolu ile mühendislik yapılarına zarar vermektedir. Burada sıvılaşmaya elverişli zemin cinsleri ile sıvılaşma kriterleri gözden geçirilecektir. Parselde sıvılaşma potansiyelinin olup olmadığı belirlenecektir.

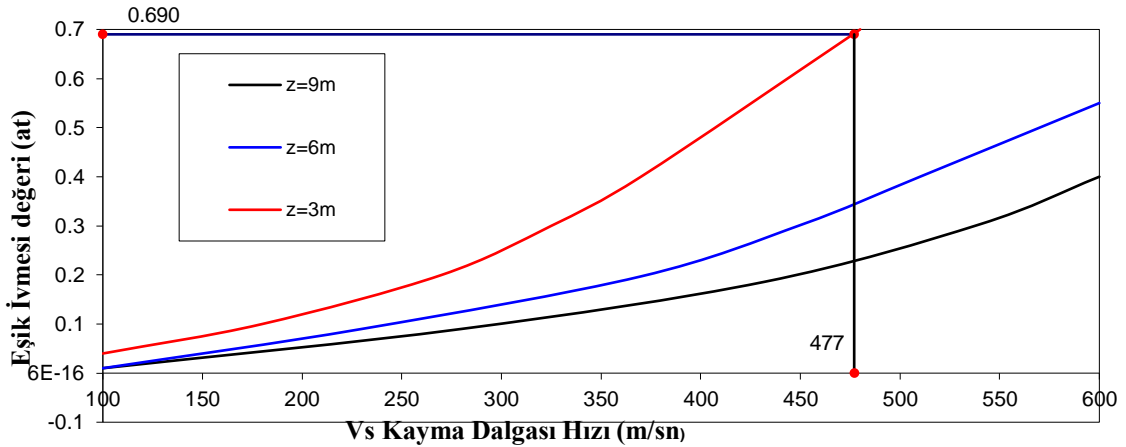
4.3.2.2. Boşluk Suyu Basıncı

Sıvılaşma olayı, suya doymun ince taneli kum ve silt gibi tabakaların, deprem titreşimleri esnasında boşluk suyu basıncı değerinin artması ile efektif yanal gerilmenin sıfır olması sonucu, tabakanın bir sıvı haline dönüşmesi olarak tanımlanabilir.

4.3.3. Sıvılaşma kriterleri

4.3.3.1. Eşik ivme kriteri(Dobry vd)

Eşik ivme kriteri Şekil 4.5'de verilen kayma dalgası hızı parametreleri ile aşağıdaki formüllerle sıvılaşma analizi sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.5. Eşik ivme değerleri

Eşik İvme Kriterinde Emniyet Faktörü, F_a , için

$$F_a = 1,6 a_t / a_{\max}$$

Tarifi yapılır. Burada a_t = sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için gerekli başlangıç(eşik) ivmesi, a_{\max} = depremin meydana getirebileceği maksimum yer ivmesidir.

Eğer;

$F_a \leq 1$ sıvılaşma potansiyeli yüksek

$F_a > 1$ sıvılaşma potansiyeli düşük kabul edilir.

Sıvılaşma oluşturabilecek Şekil 4.5 'de eşik ivme değerinin V_s sismik hızından belirlenmesi;

$$a_t = (N_t * (G/G_{max})_t) (V_s^2 / (z * r_d)) \quad (\text{Dobry,1992})$$

$$r_d = 1 - 0.015 * z$$

G = Sıvılaşabilir ortamın kayma modülü (kg/cm^2)

G_{max} = Sıvılaşabilir ortam altındaki ortamın kayma modülü (kg/cm^2)

a_t = sıvılaşma oluşturabilecek eşik ivme

N_t = Eşik kesme biçim değiştirmesi. Bu büyüklük $(G/G_{max})_t$ oranına bağlı olup 0,8 değerine karşı gelen

$N_t = 0,0001$ alınabilir.

Z = sıvılaşabilir katmanın yüzeyden derinliği (m)

Tablo 4.11. Sıvılaşma analizi sonucu

SIVILAŞMA ANALİZİ SONUCU	
$a_t = (N_t * (G/G_{max})_t) (V_s^2 / (z * r_d))$	
at=	0.045953663
zeminin eşik ivme değeri $a_{max}=0.121$	
$F_a = 1,6 a_t / a_{max}$	
Fa=	0.60765174
$F_a > 1$ sıvılaşma potansiyeli düşük	
$F_a \leq 1$ sıvılaşma potansiyeli yüksek	
Sıvılaşma Potansiyeli Yüksek Bulunmuştur	

4.3.4. Sondajlar

İnceleme alanı saha çalışmalarına 18.04.2025 tarihinde başlanmış, 19.04.2025 tarihinde bitmiştir. Derinlikleri 21,00m., 21,00m. ve 21,20m.'şer olup toplamda 3 adet 63,00m. sondaj kuyusu açılmıştır. Proje alanında yer alan zemin birimlerinin cinsi, kalınlığı dokunak ilişkilerini jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla D-500 marka hidrolik baskılı mobil rotary makine ile 3 adet temel sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj noktalarının yerleri eklede verilmiştir Sondaj çalışmaları, TSE standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

İnceleme alanının zemin profilini çıkarmak amacıyla Sondajlardan alınan numunelere göre zemin profili çıkarılmıştır yapılan sondaj çalışmalarında zeminden örselenmemiş UD, Örselenmiş Spt numuneleri alınmıştır. 18.04.2025-19.04.2025 tarihleri arasında 3 adet sondaj çalışması yapılmıştır.

Sondaj çalışmalarında geçilen birimlerin zemin/kaya tanımlamaları, elek analiz, Atterberg Limit değerleri, Su içeriği ve yer altı suyu durumu bilgilerinin tümü eklede verilen sondaj loglarına ayrıntılı olarak işlenmiştir.

Yapılan laboratuvar ve arazi çalışmaları sonucunda zeminin, aşağıda verilen tabloda olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.12. Zemin analizi sonucu

S. No	Koordinat	YASS	Derinlik(m)	Açıklama
SK-1	39.1432	3.00 m	0,00-1,50	DOLGU
	34.1563		1,50-21,00	KOYU KAHVERENKLİ KUMLU KİL
SK-2	39.1431	3.00 m	0,00-1,50	DOLGU
	34.1563		1,50-21,00	KOYU KAHVERENKLİ KUMLU KİL
SK-3	39.1431	3.00 m	0,00-1,50	DOLGU
	34.1564		1,50-21,00	KOYU KAHVERENKLİ KUMLU KİL



Şekil 4.6. Açılan sondaj görüntüleri

Şekil 4.6.'de açılan sondaj kuyularına göre temelin oturacağı alan Koyu Kahverenkli Kumlu Kil birimleri ile temsil edilmektedir.

4.4. Arazi Deneyleri

İnceleme alanında arazi deneyi yapılmamış olup alınan UD ve SPT numuneler zemin mekaniği laboratuvarına gönderilmiştir.

4.4.1 Standart penetrasyon deneyi (SPT)

Zeminlerin yerindeki mukavemetlerini belirlemek amacıyla zeminin değişti birimlerde standart penetrasyon deneyi' yapılmıştır. Elde edilen N darbe sayısına göre de zeminin sıklık derecesi ortaya konulmuştur. Zemin profilinin değiştiği derinliklerde Standart Penetrasyon Testi (SPT) deneyi yapılmıştır.

SPT: 63,5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 76.2 cm'den serbest ve ard arda düşmesi ile sağlanan darbe etkisiyle penetrometrenin zemine 15 cm 'lik kademeler halinde toplam 45 cm çakılması esasına dayanır. İlk 15 cm'lik kısım SPT arığının oturma kademesi olarak alınır, son iki kademedeki darbe sayısı toplamı "Zeminin Penetrasyon Direnci (N)" olarak kayıt edilir.

SPT ile alınan örselenmiş numuneler düzenli olarak muhafaza edilerek, laboratuara gönderilerek incelenmesi sağlanmıştır.

Deney Sonuçlarına İlişkin Düzeltmeler:

Tij Uzunluğu, İ Tp ve Kuyu apı ile ilgili Düzeltmeler

Bu düzeltmeler özellikle kumlu zeminlerde ve sıvılaşma analizinde önemlidir. Yukarıdaki eşitlikten hesaplanan N_{60} değerı aşağıdaki çizelgeden belirlenen katsayılarla çarpılır.

Araziden elde edilmiş ham SPT verileri, N , aşağıdaki denklem kullanılarak $N_{1,60}$ değerine düzeltir.

$$N_{1,60} = N * C_N * C_R * C_S * C_B * C_E$$

Burada C_N kohezyonsuz zeminlerde uygulanan jeolojik gerilme (derinlik) düzeltme katsayısını, C_R tij boyu düzeltme katsayısını, C_S numune alıcı tipi düzeltme katsayısını, C_B sondaj delgi çapı düzeltme katsayısını, C_E enerji oranı düzeltme katsayısını göstermektedir.

Derinlik düzeltme katsayısı (4.1)'de verilen bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$C_N = 9.78 * \sqrt{\frac{1}{\sigma_v}} \leq 1.70 \quad (4.1)$$

Toplam Gerilme; $\sigma = \gamma k . z$

Boşluk Suyu Basıncı; $u = 0$ (ortamda su yok!)

Efektif Gerilme; $\sigma' = \gamma k . z$

γk : Alınan birimin doğal birim hacim ağırlığı

z : Alınan birimin derinliği

Tablo 4.13. Sondajlardan alınan Spt numunelerinin C_N değerleri

Sondaj Kuyusu	C_N
3,00-6,00	0,88
6,00-9,00	0,78
9,00-12,00	0,68
12,00-15,00	0,58
15,00-18,00	0,58
18,00-20,00	0,58

Yukarıda verilen denklemdeki bağıntıda deney derinliğindeki efektif düşey gerilme σ'_{vo} (kN/m²), Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapıldığı durumdaki arazi koşullarına göre hesaplanmaktadır. Deney sonrasında yapılan ek dolgu, temel gerilmesi veya zemin kazısı ve benzeri nedenler ile oluşan efektif gerilme değişiklikleri dikkate alınmayacaktır.

Türkiye'deki uygulama sonuçlarına bakılarak SPT düzeltme faktörleri, $C_S = 1,20$, $C_B = 1,00$, $C_E = 0,75$ olarak alınabilir. Ülkemizde ince daneli zeminler için tüm düzeltmeleri içeren oldukça aynı sonucu veren Tablo 4.13 ve Tablo 4.14' de verilen değerlerle;

$$N_{1,60} = N * C_N * C_R * 0,90 \text{ ifadesi kullanılabilir.}$$

Tablo 4.14. SPT düzeltme katsayıları

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
CR	3- 4 m arası	0.75
	4 – 6 m arası	0.85
	6 – 10 m arası	0.95
	10 m'den derin	1.00
CS	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1.00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1.10-1.30
CB	Çap 65 mm – 115 mm arası	1.00
	Çap 150 mm	1.05
	Çap 200 mm	1.15
CE	Güvenli Tokmak	0.60-1.17
	Halkalı Tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60

Tablo 4.15. SPT değerleri

SK-1 Spt Değerleri							
DER.	ARALIK	N15	N30	N45	TOP.	Narazi	Ndüz
1,5	1,50-1,95	-	DOLGU	-		N*0,88*0,75*0,90	
3	3,00-3,45	6	4	5	9	N*0,88*0,75*0,90	5,346
4,5	4,50-4,95	-	UD	-		N*0,88*0,85*0,90	
6	6,00-6,45	1	1	1	2	N*0,88*0,85*0,90	1,3464
7,5	7,50-7,95	3	4	3	7	N*0,78*0,95*0,90	4,6683
9	9,00-9,45	-	UD	-		N*0,78*0,95*0,90	
10,5	10,50-10,95	-	-	-		N*0,68*1,00*0,90	
12	12,00-12,45	1	2	2	4	N*0,68*1,00*0,90	2,448
13,5	13,50-13,95	-	-	-		N*0,58*1,00*0,90	
15	15,00-15,45	9	7	6	13	N*0,58*1,00*0,90	6,786
16,5	16,50-16,95	-	-	-		N*0,58*1,00*0,90	
18	18,00-18,45	1	1	1	2	N*0,58*1,00*0,90	1,044
19,5	19,50-19,95	-	-	-		N*0,58*1,00*0,90	
21,0	20,50-21,00	2	3	5	8	N*0,58*1,00*0,90	4,176

SK-2 Spt Değerleri							
DER.	ARALIK	N15	N30	N45	TOP.	Narazi	Ndüz
1,5	1,50-1,95	2	3	4	7	N*0,88*0,75*0,90	6,406
3	3,00-3,45	-	UD	-		N*0,88*0,75*0,90	
4,5	4,50-4,95	1	1	1	2	N*0,88*0,85*0,90	1,3464
6	6,00-6,45	1	1	1	2	N*0,88*0,85*0,90	1,3464
7,5	7,50-7,95	-	UD	-		N*0,78*0,95*0,90	
9	9,00-9,45	1	1	1	2	N*0,78*0,95*0,90	1,3338
10,5	10,50-10,95	1	1	1	2	N*0,68*1,00*0,90	1,224
12	12,00-12,45	-	-	-		N*0,68*1,00*0,90	
13,5	13,50-13,95	11	15	13	28	N*0,58*1,00*0,90	14,616
15	15,00-15,45	-	-	-		N*0,58*1,00*0,90	
16,5	16,50-16,95	1	1	1	2	N*0,58*1,00*0,90	1,044
18	18,00-18,45	-	-	-		N*0,58*1,00*0,90	
19,5	19,50-19,95	3	3	4	7	N*0,58*1,00*0,90	3,654
21,0	20,50-21,00	-	-	-		N*0,58*1,00*0,90	

SK-3 Spt Değerleri							
DER.	ARALIK	N15	N30	N45	TOP.	Narazi	Ndüz
1,5	1,50-1,95	3	2	4	6	N*0,88*0,75*0,90	5,406
3	3,00-3,45	3	4	3	7	N*0,88*0,75*0,90	4,158
4,5	4,50-4,95	1	1	2	3	N*0,88*0,85*0,90	2,0196
6	6,00-6,45	-	UD	-		N*0,88*0,85*0,90	
7,5	7,50-7,95	2	2	1	3	N*0,78*0,95*0,90	2,0007
9	9,00-9,45	1	1	1	2	N*0,78*0,95*0,90	1,3338
10,5	10,50-10,95	-	-	-		N*0,68*1,00*0,90	
12	12,00-12,45	-	UD	-		N*0,68*1,00*0,90	
13,5	13,50-13,95	-	-	-		N*0,58*1,00*0,90	
15	15,00-15,45	2	2	3	5	N*0,58*1,00*0,90	2,61
16,5	16,50-16,95	-	-	-		N*0,58*1,00*0,90	
18	18,00-18,45	1	1	1	2	N*0,58*1,00*0,90	1,044
19,5	19,50-19,95	-	-	-		N*0,58*1,00*0,90	
21,0	20,50-21,00	1	2	3	5	N*0,58*1,00*0,90	2,61

Tablo 4.16. SPT verilerine göre zemin

(N) Darbe Sayısı	Nisbi Yoğunluk	Relatif sıkılık
4>	Çok gevşek	0,15>
4-10	Gevşek	0,15-0,35
10-30	Orta	0,35-0,65
30-50	Sıkı	0,65-0,85
50 <	Çok sıkı	0,85<

(N) Darbe Sayısı	Kıvam	Serbest basınç direnci (kg/cm ²)
2>	Çok yumuşak	0.25 >
2-4	Yumuşak	0.25-0.50
4-8	Orta	0.50-1.00
8-15	Katı	1.00-2.00
15-30	Çok katı	2.00-4.00
30<	Sert	4.00 <

İnceleme alanında yapılan düzeltilmiş Spt verilerine göre zeminin, Çok Gevşek-Gevşek-Orta bir zemin olduğu belirlenmiştir.

İnceleme alanında yapılan Tablo 4. 16'a göre Spt verilerine göre zeminin, Yumuşak-Orta-Katı-Çok katı bir zemin olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.7. SPT arazide numune alımı

4.4.2. Presiyometre deneyi

Presiyometre deneyi, zeminin yük-deformasyon davranışını belirlemeye yönelik yerinde (in-situ) gerçekleştirilen bir deney yöntemidir. Temel prensibi, önceden açılmış bir sondaj kuyusuna indirilen genişleyebilir silindirik bir probun şişirilmesi sırasında, prob içerisindeki basınç ve hacim değişimlerinin eşzamanlı olarak ölçülmesine dayanmaktadır.

Bu deney ile zemin tabakalarının elastisite modülü, limit basıncı, basma dayanımı, kohezyon ve sürşarj gerilmesi gibi mühendislik parametreleri doğrudan yerinde belirlenebilmektedir. Ayrıca, elde edilen veriler zemin davranışının doğrusal olmayan özelliklerinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Çalışma alanında açılan sondaj kuyularında yapılan araştırmalar kapsamında, SK-2 ve SK-3 numaralı kuyularda toplam 4 adet Presiyometre deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, yerinde zemin özelliklerinin doğru şekilde belirlenmesini sağlamak amacıyla farklı derinlik aralıklarında uygulanmış olup, zemin profilinin mühendislik açısından değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

4.5. Hidrojeoloji

Kırşehir şehrinde sıcak ve ılıman iklim görülmektedir. Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir. Köppen-Geiger'e göre iklim Csb'dir. Kırşehir merkez ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 10.0'dır. Yıllık ortalama yağış miktarı: 454 mm. İncelenen parsel alanı ve yakınında küçük dere, çay, nehir, göl ve benzeri su kaynağı yer almamaktadır.

İnceleme alanında yapılan sondajlar sırasında; SK-1, SK-2 ve SK-3 nolu kuyularda 3.00 m'de yeraltı suyuna rastlanılmıştır. Zeminin yüksek şişme özelliği göz önünde bulundurulmalı ve temel hesapları bu veriler doğrultusunda yapılmalıdır.

İnşaat kazı çalışmaları ile yapıların kullanım sürecinde yüzey ve sızıntı sularının temellere zararlı etkide bulunabileceği düşünülerek gerekli drenaj tedbirlerinin mutlaka alınması gerekmektedir. Özellikle yağışlı mevsimlerde atmosferik koşullar sebebiyle oluşan yüzey sularının temelleri olumsuz etkileyeceği düşünülerek; temel sisteminin geçirimsiz bir özellikte olmasına dikkat edilmeli, yüzeyden sızacak sulara karşı izolasyon ve çevre drenaj tedbirleri alınmalı ve temelin suyla teması önlenmelidir.

4.6. İnceleme Alanı Mühendislik Jeolojisi

Çalışma alanı; Açılan sondaj kuyularına göre temelin oturacağı alan Üst Miyosen Koyu Kahverenkli Kumlu Kil birimleri ile temsil edilmektedir.

İnceleme alanında açılan sondajlarda alınan (Şekil 4.7) SPT ve UD numunelerinin atterberg limitleri belirlenerek, kıvamlilik indeksi ve sıkışma indeksi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Kıvamlilik ve Sıkışma indeksine göre sınıflama:

I_c : Kıvamlilik İndeksi

W_n : Doğal nem (su içeriği)

PI : Plastisite indeksi

LL : Likit limit

Kıvamlilik İndeksi $I_c = (LL - W_n) / PI$

Sıkışma İndeksi $C_c = 0.009(LL - 10)$

Tablo 4.17. SPT ve UD sonuçlarına göre zeminin kıvam ve sıkışma indeksi sonuçları

Sondaj Kuyusu Adı	Numune Türü	Derinlik (m.)	Su İçeriği	Atterberg Limitleri		I _c Kıvamlilik İndeksi	C _c Sıkışma
				LL (%)	PI (%)		
SK-1	UD	4,50-5,00	22,5	44,9	23,3	0,96	0,31
SK-1	SPT	6,00-6,45	21,3	44,6	24,2	0,96	0,31
SK-1	SPT	7,50-7,95	25,9	43,5	19	0,93	0,30
SK-2	UD	3,00-3,50	23,2	43,6	21	0,97	0,30
SK-2	SPT	4,50-4,95	23,8	42,9	19,9	0,96	0,30
SK-2	SPT	10,50-10,95	22	42	20,1	1,00	0,29
SK-3	SPT	4,50-4,95	26	41,6	17,1	0,91	0,28
SK-3	UD	6,00-6,50	25	45,8	23,2	0,90	0,32
SK-3	SPT	9,00-9,45	21,8	45,2	24,5	0,96	0,32

Kıvamlılık İndeksi :

Tablo 4.18. Kıvamlılık indeksi (Ic) ve Plastisite arasındaki ilişki (Leonards,1962)

Kıvamlılık İndeksi (Ic)	Tanım
< 0	Akışkan (Çamur)
0 – 0.25	Çok Yumuşak
0.25 - 0.50	Yumuşak
0.50 - 0.75	Yarı sert (sıkı)
0.75 - 1.00	Sert
> 1.00	Yarı katı (Çok sert)

Tablo 4.18'a göre; inceleme alanındaki zeminler, Sert Kıvamlılıktadır.

Sıkışma İndeksi :

Tablo 4.19. Zeminlerin sıkışabilirliği (Sowers,1979)

Tanım	Sıkışma İndisi (Cc)	Likit limit (%)
Düşük sıkışabilirlik	0 – 0,19	0 – 30
Orta sıkışabilirlik	0,20 – 0,39	31 – 50
Yüksek sıkışabilirlik	> 0,40	> 51

Tablo 4.19'e göre inceleme alanındaki zemin Orta sıkışabilirliği sahiptir.

Tablo 4.20. Kohezyonlu zeminlerin plastisite indisine göre sınıflandırılması (Burmister, 1951)

Plastisite İndisi (PI) (%)	Yuvarlandığında en		
	küçük çap (mm)	Plastisite derecesi	Tanımlama
0	-	Plastik Değil	Silt
1 – 5	6	Önemsiz derecede plastisiteli	Killi silt
5 – 10	3	Düşük plastisiteli	Silt ve kil
10 – 20	1,5	Orta plastisiteli	Kil ve silt
20 – 40	0,8	Yüksek plastisiteli	Siltli kil
Büyük 40	0,4	Çok yüksek plastisiteli	Kil

Tablo 4.20.'a göre inşaat alanındaki zemin Orta-Yüksek plastisiteli bir zemindir.

Tablo 4.21. Şişen killerde muhtemel hacim değişiklikleri (Chen, 1975)

Laboratuvar ve Arazi Deneyleri			Şişme Yüzdesi (%)	Şişme (KN/m ²)	Basıncı	Şişme Derecesi
200no'lu elekten geçen	Likit Limit(%)	SPT Darbe Sayısı	(%)			
>95	>60	>30	>10	>1000		Çok yüksek
	40-60	20-30	5-10	250-1000		Yüksek
	30-40	10-20	1-5	50-250		Orta
<30	<30	<30	<1	50		Düşük

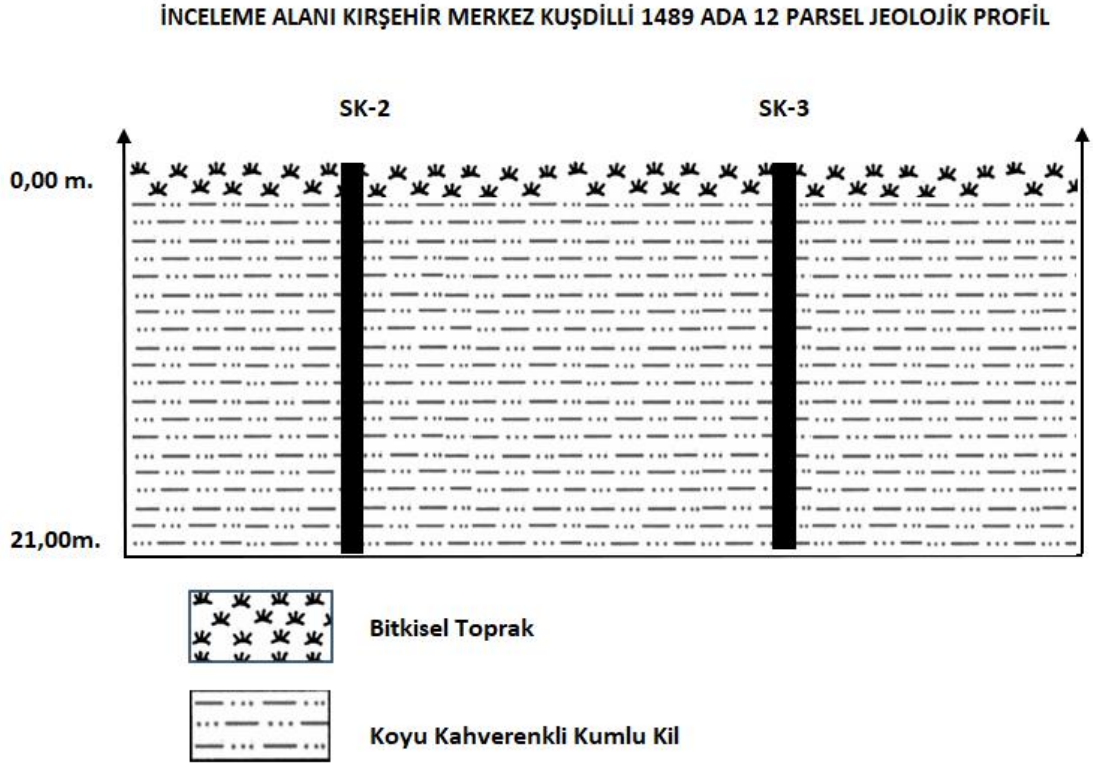
Tablo 4.21'ye göre; İnceleme alanındaki zemin, Yüksek şişme özelliğindedir.

Tablo 4.22'e göre inceleme alanında gözlenen birimler için zemin grupları ve zemin sınıfı değerlendirmeleri "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2019)" esaslarına göre yapılmıştır. Zemin grubu ZE grubudur.

Tablo 4.22. Yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(VS) 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 $PI \leq 20$ ve $w \leq \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası $c_u \leq 25$ kPa içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir 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.			

4.7. Jelojik Kesit



Şekil 4.8. İnceleme alanında açılan sondaj jeolojik kesit

Bu jeolojik etüt çalışması; inceleme alanında geçilen birimler aşağıdaki Tablo 4.23’de belirtilmiştir.

Tablo 4.23. Kuyulardaki YASS-derinlik ilişkisi

S. No	Koordinat	YASS	Derinlik(m)	Açıklama
SK-1	39.1432	3.00 m	0,00-1,50	DOLGU
	34.1563		1,50-21,00	KOYU KAHVERENKLİ KUMLU KİL
SK-2	39.1431	3.00 m	0,00-1,50	BİTKİSEL TOPRAK
	34.1563		1,50-21,00	KOYU KAHVERENKLİ KUMLU KİL
SK-3	39.1431	3.00 m	0,00-1,50	BİTKİSEL TOPRAK
	34.1564		1,50-21,00	KOYU KAHVERENKLİ KUMLU KİL

İnceleme alanında açılan sondajlarda; 3.00 m’de yeraltı suyuna rastlanılmıştır. İnşaat alanına sonradan gelecek yüzey sularının etkisi de göz ardı edilmemelidir.

İnceleme alanında yapılan çalışmalarda zemin Üst Miyosen yaşlı Koyu Kahverenkli Kumlu Kil birimlerden oluşmaktadır.

- Jeofizik çalışmalarda Sıvılaşma riski yüksek çıkmıştır.
- Bina temeline sonradan gelebilecek yüzey sularının önlenmesi
- Yapı zeminin homojen ve tek tip olması
- Temel Zeminini ilerde etkileyebilecek yükten fazla bir yüke maruz bırakılması
- Yükü temele erken koymak ve yapının inşaatı bitmeden önce uzun süre etki ettirilmesi tedbirlerinin alınması önerilir.
- Zemin ZE grubu, SPT vuruşları düşük, sıvılaşma riski olduğu için zemin iyileştirilmesi yapılması gerekliliğinden dolayı JET-GROUT yöntemine başvurulmuştur.

4.8. Jet Grout Projelendirme ve Uygulaması

Temel sondajlarından elde edilen zemin profiline göre 0,50-21,00 m arası Killi-Kum olduğundan dolayı Jet- Kolon Taşıma Gücü hesabı Kumlu zemine göre hesaplanmıştır.

4.8.1. Sahada uygulanan jet kolon taşıma gücü hesabı

$$Q_d = Q_{euc} + Q_{esür}$$

Jet – Kolon Uç Direnci Hesabı;

$$Q_{uc} = (C \times N_c + \gamma \times I \times L \times N_q + 0,5 \times N_\gamma \times D \times \gamma \times I) \times A_p \quad A_p = \pi r^2$$

$$C=1,00 \quad \Phi=30,0 \quad N_c=18,99 \quad N_q=8,31 \quad N_\gamma=4,39 \quad \gamma^I=8,14 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 10 \text{ m (Kolon boyu)} \quad D = 0,6 \text{ m (Kolon çapı)} \quad r = 0,3 \text{ m (Kolon yarı çapı)}$$

$$Q_{uc} = (C \times N_c + \gamma^I \times L \times N_q + 0,5 \times N_\gamma \times D \times \gamma^I) \times A_p$$

$$Q_{uc} = [(1,00 \times 18,99) + (8,14 \times 10 \times 8,31) + (0,5 \times 4,39 \times 0,6 \times 8,14)] \times 3,14 \times 0,09$$

$$Q_{uc} = 25,17 \text{ t} \quad Q_{euc} = Q_{uc} / 2,0 \quad Q_{euc} = 123,47 \text{ kN}$$

Jet - Kolon Sürtünme Direnci Hesabı;

$$Q_{sür} = C \times A_s \quad A_s = 2 \pi r \times L$$

$$L = 10 \text{ m (Jet kolon boyu)}$$

zemin tabakası 1. katman kalınlığı: 7.00 m radye temel alt kotu:3.00 m

1. katmandaki jet grout kolon uzunluğu L1:7,00 m C1= 41.31 kN/m², (Laboravutar sonuçlarına göre)

$$r = 0,3 \text{ m (Kolon yarı çapı)}$$

$$Q_{sür1} = (4,21 \times 2 \times 3,14 \times 0,3 \times 7,00)$$

$$Q_{sür1} = 544.53 \text{ kN}$$

2.katmandaki jet grout kolon uzunluğu L:3,00 m C2= 36.07 kN/m², (Laboravutar sonuçlarına göre)

$$r = 0,3 \text{ m (Kolon yarı çapı)}$$

$$Q_{sür2} = (3,68 \times 2 \times 3,14 \times 0,3 \times 3,00)$$

$$Q_{sür2} = 20,80 \text{ t } Q_{e_{sür}} = Q_{sür1+2} / 2$$

$$Q_{e_{sür}} = 38,16 \text{ t (Sürtünme direnci) } Q_d = Q_{e_{uc}} + Q_{e_{sür}}$$

$Q_{e_{uc}}$ jet grout kolon uç direnci ve $Q_{e_{sür}}$ kolon sürtünme direnci dikkate alınarak;

$$Q_d = 497.95 \text{ kN (Bir jet kolonunun taşıyabileceği yük kapasitesi)}$$

4.8.2. Toplam jet kolonlarının taşıyacağı yük miktarı

10,88m x 17,16=194,33 m² lik inşaat alanına 2.00 m aralıklarla 77 adet jet kolonu hesaplanmaktadır.

$$50,74 \times 77 = 38,304.54 \text{ kN}$$

$$\sigma_{ort} = 38,304.54 / 194,33$$

$$\sigma_{ort} = 197.18 \text{ kN/m}^2$$

Islah edilmeden önceki ortalama Taşıma Gücü Değeri 350.22 kN/m² dir. Islah edildikten sonraki Taşıma Gücü;

Jet kolon aralıkları 2.00 x 2.00 m karelaj seçim yapılarak hesap yapılırsa,

A_{Islah}=4,00 m² ; Jet-kolon etki alanı (2.00x2.00m) :

$$(A_{Jet})=0.283 \text{ m}^2 ; D2\pi \text{ Jet-kolon kesit alanı, } A_{jet}=3.14 \times 0.60^2 / 4 = 0.283 \text{ m}^2$$

$$(A_{pnet})=4,00 \text{ m}^2 ; \text{ Net etki alanı } (A_{pnet})=4.00-0.283=3.72 \text{ m}^2$$

$\sigma_{em,ıslah}=(35,70*3,72 + 50,74) / 3,72 = 479.12 \text{ kN/m}^2$ hesaplanmıştır.

Parsel için hesaplamalar göz önüne alındığında ıslah sonrası zeminin öngörülen emniyetli gerilme değeri 478.73 kN/m^2 olarak belirlenmiştir.

Islah edilmeden önceki Zemin Yatak Katsayısı $K_s = 14,012,626.2 \text{ kN/m}^3$ Islah edildikten sonraki Zemin Yatak Katsayısı;

$$K_s = 40 \times 1.4 \text{ qt}$$

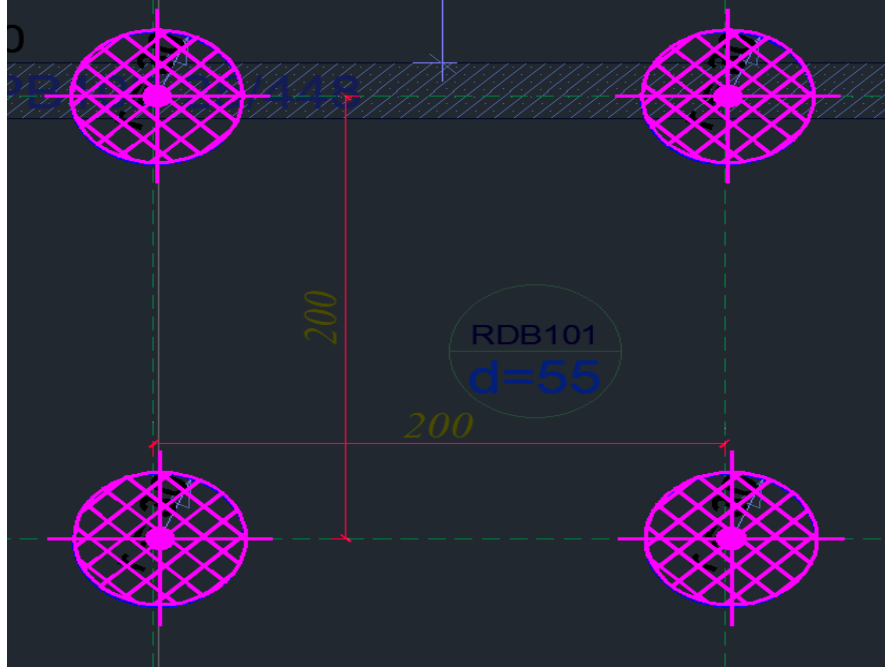
$$K_s = 26,793,348 \text{ kN/m}^3 \text{ alınabilir. Yerel Zemin Sınıfı ZE}$$

4.8.3. Jet Grout oluşturulmasında gereken parametreler

Sahada uygulanan Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 'daki jet imalatlarının planı ve uygulaması için gerekli parametreler aşağıdaki Tablo 4.24'de verilmiştir.

Tablo 4.24. Jet Grout oluşturulmasında gereken parametreler

JETGROUT Kolon Boyutları	Ø60 cm, L=10,00 m	NozzleÇapı	2mm
JETGROUT Yöntemi	JET-1	Enjeksiyon Kar. Özgül Ağrl.	1,48kg/dm ³
DozajMiktarı	450kg/m ³	Jet Çıkış Hızı	V≈230m/sn
Su/ÇimentoOranı	1/1	GROUT Miktarı	Q≈1,45lt/sn
EnjeksiyonBasıncı	400-450Bar	Geri Çekme Adım Boyu	5cm
1m.KolondakiÇim.M ik.	127kg	1m Kolon Oluşumu için SÜRE	≈120sn
1m.Kolondaki Grout.Hac.	≈120dm ³	Her Kademe için(5cm'lik) SÜRE	≈6sn
NozzleSayısı	2		



Şekil 4.9. Radye Temel Altı Islah Jet Planı



Şekil 4.10. Sahada Jet-Grout Uygulanması

4.8.3.1. $\Phi 60$ kolon çapı için enjeksiyon basıncı

Jet grout kolonlarında istenilen çapın elde edilebilmesinde en kritik parametrelerden biri enjeksiyon basıncıdır. Enjeksiyon basıncı, kolon çapı üzerinde doğrudan etkili olup, aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

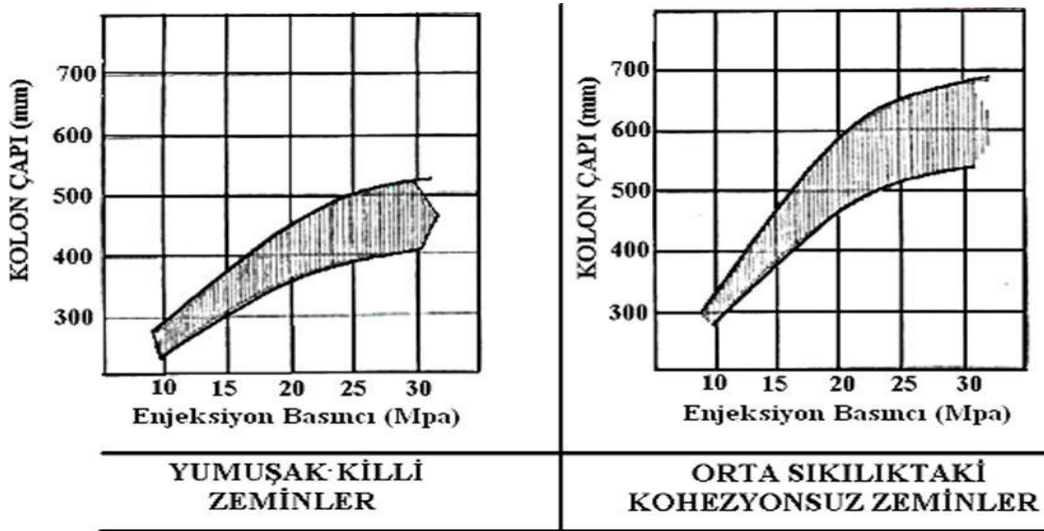
Düşük Basınç: 200–250 bar

Orta Basınç: 300–400 bar

Yüksek Basınç: 400–700 bar

Kolon çapı ile enjeksiyon basıncı arasında genel olarak doğrusal bir ilişki mevcuttur; yüksek basınç seviyeleri genellikle daha büyük çaplı kolonların oluşmasına olanak tanımaktadır. Ancak, bu ilişki her zaman doğrusal olarak ilerlememekte; yani basınç artışı her durumda kolon çapında artışa neden olmamaktadır. Bunun temel nedeni, kolon çapının yalnızca uygulanan basınca değil, aynı zamanda zaman faktörüne de bağlı olmasıdır. Jet grout kolonlarının çapı, uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak gelişir. Bu nedenle, kolonun oluşturulması için harcanan zaman, yalnızca çap büyüklüğünü değil, aynı zamanda kolonun geometrik bütünlüğünü ve homojenliğini de doğrudan etkilemektedir.

Şekil 4.11'da, enjeksiyon basıncı ile elde edilen kolon çapı arasındaki ilişki grafiksel olarak sunulmuştur. Bu grafik, farklı basınç düzeylerinin kolon çapı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı biçimde ortaya koymakta olup, uygulama parametrelerinin doğru belirlenmesinde yol gösterici niteliktedir.



Şekil 4.11. Oluşturulan kolon çapı ve basınç arasındaki ilişki

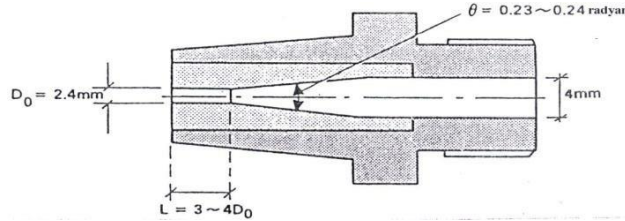
4.8.3.2. Püskürtme ağızlığının (nozzle) büyüklüğü

Jet grouting tekniğinin etkin ve başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için, püskürtme ağızlığı (nozül) tasarımı büyük önem arz etmektedir. Bunun temel nedeni, enjeksiyonla zemine iletilen harcın enerji seviyesi ve debisinin, püskürtme ağızlığının çapı ve enjeksiyon basıncı ile doğrudan ilişkili olmasıdır.

Püskürtme ağızlıklarının çapı genellikle 1.5 mm ile 8.0 mm arasında değişmekte olup, bu çaplar uygulama amacına, sistem tipine (Jet 1, Jet 2, Jet 3) ve iyileştirilecek zemin türüne göre optimize edilmektedir. Daha küçük çaplı ağızlıklar, daha yüksek çıkış hızlarına ve dolayısıyla daha geniş yayılma etkisine neden olmakta; bu da harcın zeminle daha etkin karışmasını sağlamaktadır.

Shizabaki ve Ohta tarafından önerilen ideal püskürtme ağızlığı tasarımı Şekil 4.12’de sunulmuştur. Bu tasarımda, enjeksiyon harcının yayılma karakteristiği ağızlık çapına bağlı olarak analiz edilmiştir. Araştırmalara göre, püskürtme ağızlığı çapı küçüldükçe, enjeksiyon harcının yayılma mesafesi artmakta; bu durum, özellikle düşük geçirgenlikli zeminlerde daha etkili bir karışım ve kolon homojenliği sağlamaktadır.

Bu bağlamda, uygun nozul çapının seçimi, hem kolon çapı hem de kolon içindeki malzeme homojenliği açısından kritik bir tasarım parametresi olarak değerlendirilmelidir.



Şekil 4.12. Tek delikli püskürtme ağızlığı (Nozzle) (2001 EN 12716 standardı)

Püskürtme ağızlığı çaplarına her bir püskürtme ağızlığı için akış oranı Tablo 4.24 ‘de gösterilmektedir.

Tablo 4.25. Püskürtme ağızlığı çapı ve akış oranı

Su/Çimento = 1

Enjeksiyonun Özgül Ağırlığı = 1.52

	Püskürtme Ağızlığı Çapı										
	1.4	1.6	1.8	2.0	2.4	2.8	3.0	3.2	3.5	4.0	4.5
Püskürtme Ağızlığı İçin Akış Oranı											
Basınç	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.
300	18	24	30	37	53	73	83	95	114	148	188
350	20	26	32	40	58	79	90	103	123	160	203
400	21	27	35	43	62	84	96	110	131	171	217
450	22	29	37	45	65	89	102	116	139	182	230
500	23	31	39	48	69	94	106	123	147	192	242
550	25	32	41	50	72	98	113	129	154	201	254
600	26	34	42	52	76	103	118	134	161	210	266

4.8.3.3. Enjeksiyon harcının çeşidi ve miktarı

Jet grout uygulamalarında kullanılan enjeksiyon harcı, temel olarak su ve çimento karışımının 1:1 ile 1:1.5 oranlarında hazırlanmasıyla elde edilmektedir. Hazırlanan harcın özgül ağırlığı, uygulanan karışım oranına bağlı olarak 1410–1570 kg/m³ aralığında değişmektedir.

Enjeksiyon harcında kullanılacak su/çimento oranı, çeşitli faktörlere bağlı olarak belirlenmelidir. Bu faktörler arasında uygulanan jet grouting sistemi, iyileştirme tipi, ve zeminde oluşturulması planlanan iyileştirme elemanlarının hedeflenen mukavemet değerleri yer almaktadır.

Su/çimento oranı genellikle 0.7 değerinin altına düşürülmemekte olup, bu eşik değer altındaki karışımlar çoğunlukla bentonit katkısının harca dâhil edilmesi durumunda tercih edilmektedir. Bentonit katkısı, enjeksiyon harcının akışkanlığını artırmak ve geçirimsizlik perdelerinin imalatına olanak sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Kullanılan bentonit miktarı, çimento ağırlığının %0.4 ile %1.0'i arasında değişmektedir.

Çimento miktarı genellikle 350–700 kg/m³ aralığında olmakla birlikte, uygulamalarda sıklıkla 450 kg/m³ değerinde standart karışım oranı tercih edilmektedir. Ancak, zemin içerisinde belirli bir yer altı suyu akışı mevcut ise, bu durum enjeksiyon harcının yıkanma riskini

artırmakta ve iyileştirmenin etkinliğini azaltabilmektedir. Bu tür koşullarda, harcın dayanımını ve kararlılığını artırmak amacıyla uygun kimyasal katkı malzemelerinin kullanılması önerilmektedir. Söz konusu katkı maddeleri, çimento ağırlığının %0.03 ile %0.04'ü oranında harca ilave edilerek enjeksiyon performansı optimize edilmektedir.

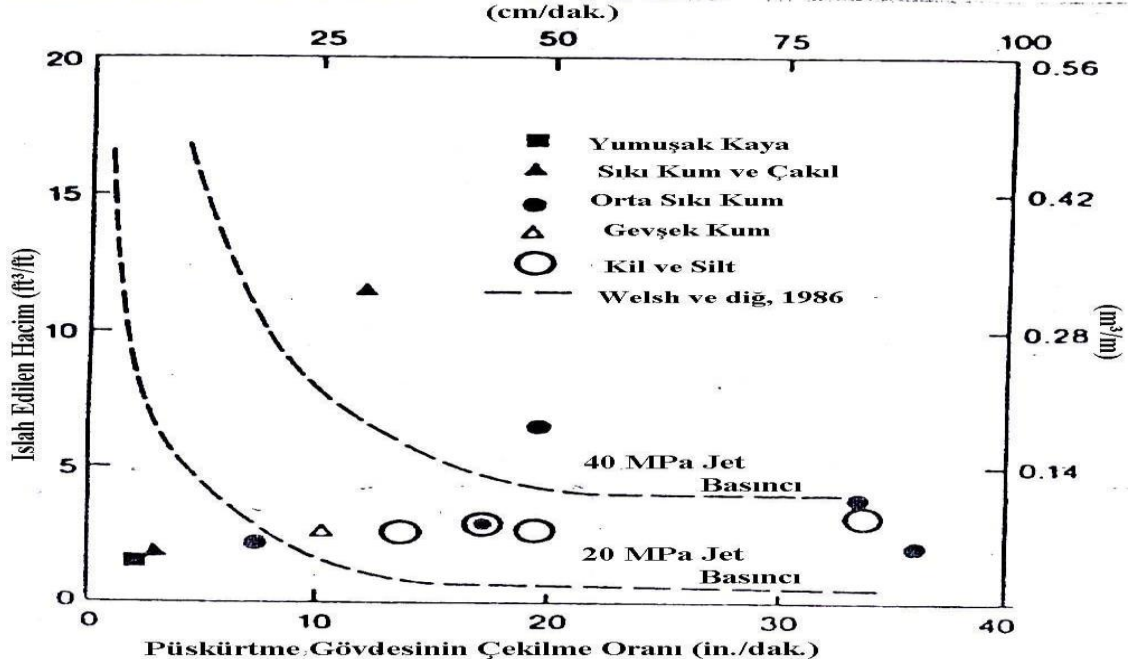
4.8.3.4. Püskürtme gövdesinin (monitörün) döndürülme ve çekilme hızı

Püskürtme gövdesinin çekilme süresi, büyük ölçüde zeminin türüne ve enjekte edilen harcın özelliklerine bağlıdır. Özellikle kohezyonlu (ince daneli) zeminlerde etkin bir parçalanma ve yeterli karışımın sağlanabilmesi için daha uzun süreli bir işlem gerekmektedir. Uygulamalarda, çekilme miktarı genellikle 2–8 cm arasında adımlı olarak yapılmakta olup; en uygun çekilme mesafesi literatürde 4 cm olarak önerilmektedir.

Döndürülme ve çekilme hızları ayrıca kullanılan jet grouting sistemine (Jet 1, Jet 2, Jet 3) ve iyileştirilecek zemin hacmine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İki ya da üç akışkanlı sistemler, tek akışkanlı sisteme kıyasla daha büyük kolon çapları oluşturduğu için uygulama süresi daha uzundur. Bunun nedeni, iyileştirilmesi gereken zemin hacminin daha fazla olmasıdır.

Püskürtme gövdesinin döndürülme hızı uygulamada genellikle 10 ila 20 rpm arasında değişmekte olup, bazı özel durumlarda bu hız 30 rpm seviyelerine kadar çıkabilmektedir. Daha büyük çaplı kolonlar elde etmek amacıyla enjeksiyon basıncının artırılması veya çekilme hızının düşürülmesi stratejileri uygulanabilmektedir. Şekil 4.13'te, püskürtme gövdesinin çekilme hızı ile iyileştirilen zemin hacmi arasındaki ilişki şematik olarak gösterilmiştir. Bu

grafik, uygulama parametrelerinin kolon geometrisi ve etkinlik üzerindeki etkilerini anlamak açısından yol göstericidir

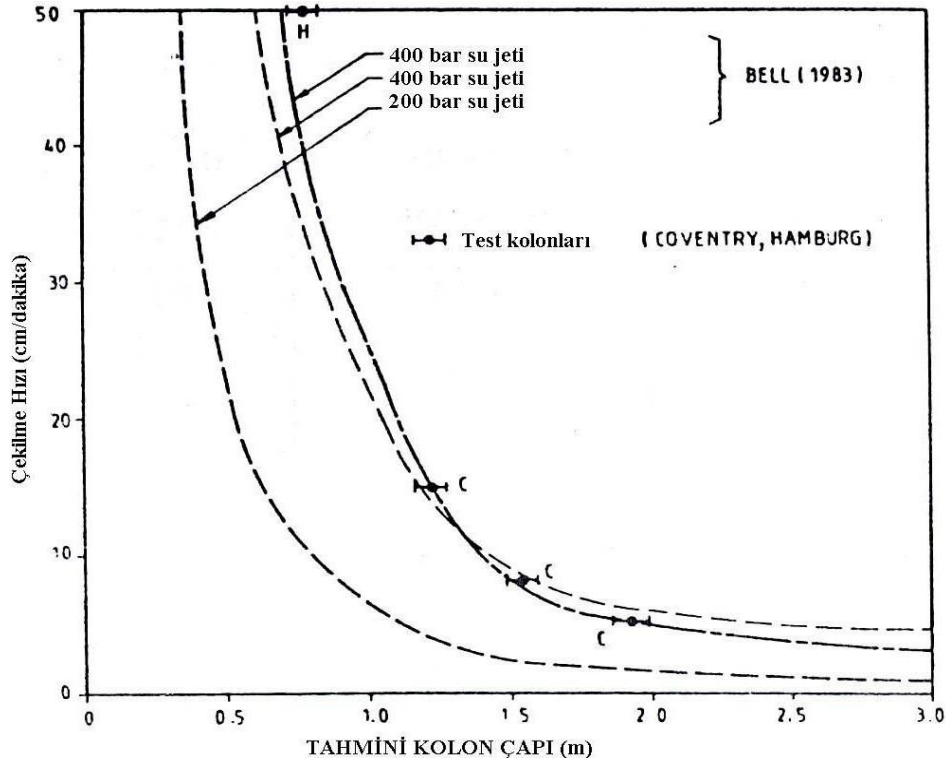


Şekil 4.13. Püskürtme gövdesinin çekilme hızının ıslah edilen hacime etkisi

Yoshida ve Yahiro (1973), farklı zemin türlerinde gerçekleştirdikleri araştırmalar sonucunda, jet grout uygulamasında çekilme hızı ile zemin direncini gösteren SPT (Standard Penetration Test) sayıları arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada, çeşitli zeminlerde elde edilen SPT değerleri ile püskürtme gövdesinin çekilme hızı arasındaki bağıntı Şekil 4.14'de grafiksel olarak sunulmuştur. Bu bağıntı, düşük SPT değerine sahip (gevşek) zeminlerde daha yavaş çekilme hızlarının tercih edilmesi gerektiğini, daha yüksek SPT değerine sahip (sıkı veya katı) zeminlerde ise görece daha hızlı çekilme hızlarının uygulanabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım, jet grout kolonlarının homojenliği ve yapısal bütünlüğü açısından önemli bir tasarım kriteri olarak değerlendirilmektedir.

Zeminin Tanımı	Çekilme Hızı	N = SPT Sayısı				
		cm/dak.				
		10	20	30	40	50
Kil						$N < 10$
Silt						$N < 10$
Kum			$N > 50$	$50 > N > 30$	$N < 30$	
Kumlu ve Çakallı			$N > 50$	$N < 50$		
Kiltaş			$N > 50$			

Şekil 4.14. Zemin çeşidi ile püskürtme gövdesinin çekilme hızı arasındaki ilişki



Şekil 4.15. Tahmini kolon çapı ile püskürtme gövdesinin çekilme hızı arasındaki ilişki

Aşağıdaki şekilde ise zeminde imal edilen kolon çapı ile monitörün döndürülme hızı arasındaki ilişki gösterilmektedir.

60 cm çap için gerekli olan parametreler aşağıda verilmiş olup, test kolonları ile aşağıdaki parametrelerin kontrolü yapılarak yerinde çap ve mukavemetin yeterli olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Su / çimento oranı = 1 olarak kullanılacaktır.

Tablo 4.26. Basınç-nozzle ilişkisi

Minimum basınç	bar	400	400	400
Püskürtme ucu (nozzle) adedi	adet	2	2	2
Püskürtme ucu (nozzle)				
çapı	mm	1.8	2.0	2.4
Monitör devri	d/dak	18	18	18
Birim kolon için çimento				
Minimum basınç	bar	500	500	500
Püskürtme ucu (nozzle)				
adedi	adet	2	2	2
Püskürtme ucu (nozzle)				
çapı	mm	1.8	2.0	2.4
Monitör devri	d/dak	18	18	18

Tüm bu değerlendirmeler ışığında zemin parametreleri statik projelerde kullanılabilir.

4.9. İmalat Kontrolü ve Deneyleri

4.9.1. Karot numunelerinin alınması

Jet grout kolonlarının mühendislik performansının değerlendirilmesi amacıyla, arazide elde edilen silindirik numuneler üzerinde laboratuvar ortamında standart basınç deneyi yapılmalı ve jet grout elemanlarının basınç dayanımı belirlenmelidir. Numune alma işlemi, uygulama sırasında kolondan yaş halde alınan piston numuneleriyle ya da prizini almış kolonlar üzerinden alınan karot numuneleriyle gerçekleştirilmelidir.

Karot numuneleri, imal edilen kolonlardan, üretim tarihinden itibaren 28 gün sonra, TS 10465 standardına uygun olarak alınmalıdır. Söz konusu standart, “Beton Deney Metotları – Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini” esaslarını kapsamaktadır. Standart basınç dayanım testine ek olarak, numunelerde deformasyon ölçümleri de yapılmalı ve bu veriler doğrultusunda jet grout kolonlarına ait elastisite modülü (E_{JG}) belirlenmelidir. Elde edilen dayanım değerlerinin, taşıyacakları servis yüklerini belirli bir emniyet katsayısı altında güvenli bir şekilde karşılayabildiği teknik olarak ortaya konmalıdır.

4.9.2. Kazık süreklilik deneyi

Kazık çap ve boy sürekliliğinin denetlenmesi için kazık süreklilik deneyi (integrity test) imal edilen her jet grout kolonunda yapılması tavsiye edilir. Bu deneyi kazık yüklene deneyine göre daha ucuz olup kısa sürede sonuç alınabilmektedir.

4.9.3. Çap kontrolü

Jet grout kolonunun projede istenilen ortalama çapının elde etmek için gerekli imalat parametreleri test kolonları oluşturularak belirlenmelidir. Çalınma platformunda imalatı tamamlanan kolonlardan bazıları kazılarak kolon meydana çıkartılmalı ve kolon boturları ölçülerek istenen çapın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir.

4.9.4. İmalat esnasında dikkat edilmesi gereken durumlar

Jet grout kolonlarının zemin üzerine işaretlenmesi, alanında yetkin bir ölçüm ekibi tarafından hassasiyetle gerçekleştirilmelidir. Her bir jet grout kolonu, uygulama projelerinde belirtilen koordinatlara göre yerleştirilmeli ve kolon merkezi, tasarım konumundan en fazla ± 75 mm sapma ile oluşturulmalıdır.

Delgi işlemi sırasında, delgi ucu mümkün olduğunca düşey ekseninde tutulmalı; düşeylikten sapma oranı $1/50$ 'yi geçmemelidir. Bu sınırın aşılması, kolon geometrisinde düzensizliklere ve taşıma gücü kaybına neden olabileceğinden, uygulama esnasında delgi ekipmanının düzgünlüğü sürekli olarak kontrol edilmelidir.

Enjeksiyon karışımı, su ve çimento karışımından oluşmalı ve su/çimento oranı (kütlece) 0,5 ile 1,5 arasında olmalıdır. Bu oran, zemin cinsine ve beklenen kolon dayanımına göre önceden yapılacak laboratuvar denemeleriyle optimize edilmelidir.

Bir jet grout kolonunun imalatı tamamlandıktan sonra, çevresindeki alanın rijitliğinin tam olarak oluşması için en az 24 saat beklenmeli; bu süreden önce, tamamlanan kolonun yaklaşık 2 çap çevresindeki bölgede yeni bir delgi yapılmamalıdır. Uygulama bu kurala uygun şekilde atlamalı olarak devam ettirilmelidir. Bu uygulama, komşu kolonlar arası çimento şerbeti geçişlerini ve kolon şekillerini kontrol altında tutarak istenilen kesit dayanımlarının sağlanmasını amaçlamaktadır.

4.9.5. Proje kriterlerinin imalat esnasında değerlendirilmesi

Jet grout uygulamasında belirlenen proje kriterlerinin arazide yapılacak ön kalibrasyonu çalışmaları sonucu değerlendirilmelidir. Bu duruma özellikle kolon çap-boy ve mukavemet,

kolon özelliklerini belirleyeceğinden proje kriterlerini sağlayan parametrelerin optimum değerlerinin tespiti tekrar yapılmalıdır.

4.9.6. İmalatın raporlaması

İmalatta jet grout kolonlarının yerleşim planların (aplikasyon) uyulmalıdır. Aplikasyon numaralandırılan kolonların imalat tarihi detaylı olarak günlük raporlarda mutlaka tutulmalıdır. Jet grouting uygulama planı ve bütün kayıtlar işin tamamlanmasından sonra da muhafaza edilmelidir.

4.10. Jet Grout Uygulamasına Yönelik Detaylar

Bu rapor Kırşehir İli, Merkez İlçesi, konut yapısı için ihtiyaç duyulan Jet enjeksiyonlu kolonlu zemin ıslahı için hazırlanmıştır

Jet grout kolonlarında temel altında 1 m boy için 60 cm çapa sahip kolonlarda 120 kg PÇ42.5 Çimento kullanılacak olup, su/çimento oranı 1'dir.

77 adet Jet Grout Kolonu 10 m derinliğinde 700 m çimento enjeksiyonu olup, 1 m için 120 kg çimento kullanılarak toplam 92,40 ton çimento kullanılacaktır.

Jet grout kolonlarında temel altında 60 cm çapa sahip kolonların aralıkları jet grout projesinde verilmiş olup, jet grout kolon boyu 10,0 m'dir.

Bir adet yükleme deneyi (proje yükünün % 50 artırılmış değeri) yapılmalıdır.

Her 20 kolonda bir integrity (süreklilik) deneyleri ve her 30 kolonda bir karot numune alınması (28 günlük basınç dayanımı) ve tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılması uygun olacaktır.

Jet Grout imalatı yapılmadan önce projedeki bütün kod , mesafe, uzunluklar kontrol edilmeli proje ile uyumsuzluk söz konusu ise imalata başlamadan projeyi hazırlayanlar ile temasa geçilmelidir.

Yapılacak yapılarda yer üstü sularına karşı mutlaka önlem alınmalıdır.

Kazı işlemleri sırasında gerekirse yer altı suyuna karşı önlem alınmalıdır. Temel inşaatının mutlaka kuru zemin koşullarında yapılması gerekir.

Yerinde çalışmalarda farklı bir durumla karşılaşılması, temel inşaatı ve zemin iyileştirilmesi konularında problem yaşanması durumunda tarafımıza mutlaka haber verilmelidir.

Konu ile ilgili tüm proje ve hesaplamalarda temel ve yapı ile ilgili kısımların inşaatında yürürlükte olan tüm yapı deprem yönetmeliklerine, genel ve fenni şartnamelere uyulacaktır.

Jet Grout imalatları tamamlandıktan sonra jet kolonun üst kotundan itibaren 40 cm kalınlığında yastık tabakası oluşturulmalıdır.

Jet Grout Projenlendirme Sonrası Statik Proje Kullanılacak Parametreler Tablo 4.27’de verilmiştir.

Tablo 4.27. Jet Grout projelendirme sonrası statik proje kullanılacak parametreler

Islah Öncesi Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı (q_t)	35,70 t/m ²
Islah Sonrası Temel Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı (q_t)	48,80 t/m ²
Islah Öncesi Oturma Miktarı	4,87cm
Islah Sonrası Oturma Miktarı	3,40cm
Bina Temel Derinliği ve temel tipi	Radye Temel
Temel Boyutları	10,88 m x 17,16 m
Yeraltı Su Seviyesi	3,00 m
Bina Yüğü	1941,20 t
Yerel Zemin Sınıflaması	ZE
Zemin Yatak Katsayısı	1428,02 t/m ³
Islah Sonrası Zemin Yatak Katsayısı	2730,80 t/m ³
Bina Önem Katsayısı	1
Bina Kullanım Sınıfı	3
Başlangıç Sıvılaşma Potansiyeli	Yok
Islah Sonrası Sıvılaşma Potansiyeli	Yok
Tavsiye Edilen Temel Altı Islah Yöntemi	Jet Grout Kolonları

4.11. Jet Grout ve Deprem Etkileri

Jet groutun, zemin iyileştirme teknikleri arasında, özellikle sıvılaşma riski taşıyan ve yumuşak zeminlerde yapı temellerinin güvenliğini artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu teknik, yüksek basınçlı çimento enjeksiyonu ile zemin kolonları oluşturarak zemin özelliklerini iyileştirir ve deprem etkilerine karşı direnç sağlar.

1. Sıvılaşma riskinin azaltılması: Jet grout uygulamaları, zeminlerdeki geçirgenliği azaltarak deprem sırasında oluşabilecek aşırı boşluk suyu basıncını sınırlar. Bu sayede sıvılaşma potansiyeli düşer ve zeminin taşıma kapasitesi artar. Özellikle Kanada’da yapılan bir projede, jet grout kolonları ve deprem drenajları kullanılarak sıvılaşma riski azaltılmış ve zemin deformasyonları kontrol altına alınmıştır.

2. Taşıma gücünün artırılması: Jet grout kolonları, zeminlerin kayma mukavemetini ve elastisite modülünü artırarak temel sistemlerinin deprem yükleri altında daha güvenli bir performans sergilemesini sağlar. Bu iyileştirme, yapıların oturmasını ve yer değiştirmelerini azaltarak sismik dayanıklılığı artırır.

3. Deformasyonların azaltılması; Jet grout ile oluşturulan kolonlar, zemin hareketlerini sınırlayarak yapı temellerinin düşey ve yatay deformasyonlarını azaltır. Bu durum, özellikle sıvılaşma riski taşıyan zeminlerde yapıların stabilitesini artırır.

4. Sismik davranışın iyileştirilmesi; Jet grout kolonları, zeminlerin sismik davranışını iyileştirerek yapıların deprem sırasında daha stabil ve güvenli olmasını sağlar. Bu iyileştirme, özellikle sıvılaşma potansiyeli yüksek zeminlerde önemlidir.

Jet grout yöntemi, aşağıdaki durumlarda etkili bir zemin iyileştirme çözümü sunmaktadır:

- Sıvılaşmaya yatkın kumlu zeminler,
- Yumuşak kil ve silt tabakaları,
- Deprem riski yüksek bölgelerdeki yapı temelleri,
- Tünel, baraj ve liman yapılarının zemin iyileştirilmesi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, inşa edilecek konuta ilişkin gerçekleştirilen zemin etütleri sonucunda, zeminin ZE grubu içerisinde yer aldığı, Standart Penetrasyon Testi (SPT) vuruş sayılarının düşük olduğu ve sıvılaşma potansiyelinin bulunduğu belirlenmiştir. Bu nedenlerle zemin iyileştirme çalışmalarının gerekli olduğu kanaatine varılmış ve iyileştirme yöntemi olarak Jet Grout tekniği tercih edilmiştir.

5.1. Sonuç

Proje sahasında, boyu $L = 14.0$ m ve çapı $D = 60$ cm olan jet grout kolonları, $s = 1.7$ m aks aralığı ile inşa edilmiştir. Bu uygulama sonucunda sahada %17.40 oranında alan iyileştirmesi sağlanmıştır ($ar = \%17.40$).

- Yapı temellerinin oturacağı dolgu birimine ait drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değeri 20 kPa olarak belirlenmiş; bu zemin birimi için temel tasarım dayanımı 80 kPa olarak hesaplanmıştır.
- Jet grout yöntemiyle gerçekleştirilen iyileştirme sonrasında, dolgu birimi için kompozit kohezyon değeri Eşitlik 2.10 kullanılarak hesaplanmış ve $ckomp = 190$ kPa bulunmuştur.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) Bölüm 4.1.2 kapsamında tanımlanan yöntem doğrultusunda, bu kompozit kohezyon değeri kullanılarak taşıma gücü yeniden hesaplanmış ve temel tasarım dayanımının 700 kPa seviyesine ulaştığı belirlenmiştir.
- Sahada en fazla oturma meydana gelmesi beklenen dolgu, katı kil ve katı-çok katı kil tabakalarında, elastik (δ_i) oturma miktarı hesaplanmış ve yaklaşık 25.2 cm seviyesinde ani oturma oluşabileceği öngörülmüştür.
- Zemin iyileştirmesi sonrasında, dolgu ile birlikte katı ve katı-çok katı kil birimlerine ait kompozit elastisite modülü (E_{komp}) değerleri belirlenmiş ve aynı eşitlik kullanılarak oturma hesapları yeniden yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda, iyileştirilmiş zemin koşullarında ani oturma miktarının (δ_i) yaklaşık 2.5 cm düzeyine düştüğü hesaplanmıştır.
- Elde edilen sonuçlar, sahada öngörülen oturma problemlerinin jet grout yöntemiyle etkin bir şekilde giderilebildiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmadan elde edilen başlıca bulgular şunlardır:

1. Jet grout yöntemi; hızlı inşa süreci, düşük maliyet, farklı zemin türlerinde uygulanabilirlik ve geniş kullanım alanları nedeniyle günümüzde yaygın olarak tercih edilmektedir.
2. Yapılar, zeminden bağımsız olarak tasarlanamaz; dolayısıyla temel zeminin özellikleri proje aşamasında mutlaka dikkate alınmalıdır.
3. Kırşehir İli Merkez İlçesi Nasuhdede Mahallesi zeminleri düşük taşıma gücüne sahiptir.
4. Yapı yüksekliği arttıkça, yük ile orantılı olarak temel zeminin taşıma gücü kritik hale gelmekte; bu durum temel sisteminin seçiminde inşaat mühendisliği açısından önem arz etmektedir.
5. Genel uygulama alışkanlığı olarak tercih edilen radye temel sistemleri her bina için tek başına yeterli bir çözüm olmayabilir.
6. Özellikle taban arazilerde hazırlanan yapı projelerinde, jeolojik etüt sonuçlarına bağlı olarak jet grout yöntemi, temel iyileştirme alternatifi olarak her zaman dikkate alınmalıdır.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada gerçekleştirilen analizler sonucunda, jet grout yöntemi ile yapılan zemin iyileştirme uygulamalarının, sıvılaşma riskinin azaltılması ve yapı temellerinde meydana gelen düşey deformasyonların kontrol altına alınması açısından etkili bir mühendislik çözümü sunduğu sonucuna varılmıştır. Jet grout yöntemi ile iyileştirilen zeminlerde, taşıma gücünde artış sağlandığı, oturma miktarlarının azaldığı ve genel zemin davranışının daha güvenli bir hale geldiği gözlemlenmiştir. Gelişen hesaplama teknolojileri sayesinde, zemin iyileştirme uygulamaları sonlu elemanlar yöntemi ile detaylı şekilde analiz edilebilmekte, bu sayede iyileştirme sonrası zeminin olası mühendislik davranışı önceden öngörülebilmektedir. Ancak, bu tür analizlerin sahadaki gerçek veriler ile desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, tasarım ve analiz süreçlerinde elde edilen teorik bulguların, uygulama sonrası gerçekleştirilecek yerinde (in-situ) deneylerle doğrulanması gerekmektedir. Bu tür doğrulama çalışmaları, hem tasarım güvenliğini artırmakta hem de olası mühendislik hatalarının önüne geçilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

1. Jet grout yöntemi ile yapılan zemin iyileştirme çalışmalarında, laboratuvar deneyleri ile arazi gözlemleri birlikte değerlendirilmelidir.
2. Sayısal analiz sonuçları, mutlaka saha verileri ile karşılaştırılmalı ve model parametreleri bu veriler doğrultusunda güncellenmelidir.
3. Sıvılaşma potansiyeli yüksek olan zeminlerde, jet grout uygulaması öncelikli iyileştirme yöntemi olarak tercih edilmelidir.
4. Jet grout yöntemiyle iyileştirilen alanlarda, uzun dönem performans takibi için arazi gözlem sistemleri kurulmalı ve düzenli veriler toplanmalıdır.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N., & Al Atik, L. (2010). Scenario spectra for design ground motions and risk calculation. *In Proceedings of the 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto.*

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı [AFAD]. (2019). *Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması*. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>

Akin, M., Akkaya, İ., Akin, M. K., Özvan, A., & Ak, Y. (2019). Impact of jet-grouting pressure on the strength and deformation characteristics of sandy and clayey soils in the compression zone. *Journal of Civil Engineering,*

Al-Khadaar, R. M., & Ahmed, M. D. (2023). Review of jet grouting practice around the world. *Journal of Engineering,*

Bildik, S., & Savaşeri, K. (2019). The evaluation of the performance of improved soils experimentally and numerically. In *8. Uluslararası Geoteknik Sempozyumu* (s. 555-568). İstanbul.

Bowles, J. (1982). *Foundation analysis and design*. McGraw-Hill Book Co.

Bradley, B. A. (2015). Correlation of Arias intensity with amplitude, duration and cumulative intensity measures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering,*

Croce, P. F., & Madoni, G. (2014). *Jet grouting: Technology, design and control*. CRC Press.

ASTM D1143-20. (2020). *Standard test methods for deep foundation elements under static axial compressive load*. ASTM International.

ASTM D4428/D4428M-14. (2014). *Standard test methods for crosshole seismic testing*. ASTM International.

ASTM D5282-16. (2016). *Standard test method for low strain impact integrity testing of deep foundations*. ASTM International.

Darendeli, M. B. (2001). *Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves* (Doktora tezi). University of Texas at Austin.

Durgunoğlu, T. (2004). Yüksek modüllü kolonların temel mühendisliğinde kullanımı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 39-52.

Durgunoğlu, T., Kulaç, T., & Yılmaz, F. (2002). Zemin mekaniği ve temel mühendisliği. In *9. Ulusal Kongresi* (s. 604-612). Eskişehir.

Erol, O., & Çekinmez, Z. (2018). *Jet enjeksiyon yöntemi*. Yüksel Proje.

- Feyizoğlu, T. (2020). Yerel zemin sınıfı ve deprem özelliklerinin tek boyutlu dinamik davranışa etkisi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Freeman, S. A. (2007). Response spectra as a useful design and analysis tool for practicing structural engineers. *ISET Journal of Earthquake Technology*
- Garassino, A. (1997). *Design procedures for jet grouting*. In *Seminar on Jet Grouting*, Singapore.
- Hardin, D. O., & Drnevich, V. P. (1972). Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*
- Hashash, Y. M. (2024). *DeepSoil V7.0 user manual*. (Rapor / Teknik doküman).
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (1981). *An introduction to geotechnical engineering*. Prentice Hall.
- Iodice, M. (2017). *Road and soil dynamic characterization from surface measurements* (Doktora tezi). University of Southampton, Southampton.
- İyisan, R. (1994). Geoteknik özelliklerin belirlenmesinde sismik ve penetrasyon deneylerinin karşılaştırılması (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- İyisan, R., & Haşal, M. (2011). Zemin büyütmesi ve yerel koşulların spektral ivmeye etkisi. *İTÜ Dergisi*,
- Kocaman, M. (2008). Zemin etütlerinde geoteknik ve jeofizik yöntemlerin kullanılması ve dikkat edilmesi gereken hususlar (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Kokusho, T. (1980). Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range. *Soils and Foundations*,
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall.
- Kuhlemeyer, R. H., & Lysmer, J. (1973). Finite element method accuracy for wave propagation problems. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*,
- Le, K. L., & Ghayoomi, M. (2017). Cyclic direct simple shear test to measure strain-dependent dynamic properties of unsaturated sand. *Geotechnical Testing Journal*,
- Moseley, M. P., & Kirsch, K. (1993). *Ground improvement*. (Yayıncı).
- Nakanishi, W. (1974). (... detay eklenecek, eğer varsa başlık ve yayınevi)
- Özaydın, K. (2011). *Zemin mekaniği*. Birsen Yayınevi.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*,
- PEER. (2024). *PEER ground motion database*. <https://ngawest2.berkeley.edu/>

PLAXIS. (2024, May 7). *Material models manual 2D: PLAXIS 2D 2024.2*. PLAXIS.

Sağlamer, A., & Düzceer, R. (2002). Ground improvement by jet grout columns for the foundations of an automobile plant in Turkey. In *Proceedings of the International Deep Foundations Congress*, Orlando.

Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1970). *Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses* (Report No. EERC-70). University of California.

Seismosoft. (2023). *SeismoApps technical information sheet*. Seismosoft Ltd.

Sun, C. G., Cho, C. S., Son, M., & Shin, J. S. (2013). Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results for Korean soil deposits. *Pure and Applied Geophysics*,

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [TBDY]. (2018). Erdoğan Basım Yayın.

Tempa, K., Sarkar, R., & Dikshit, A. (2020). Parametric study of local site response for bedrock ground motion to earthquake in Phuentsholing, Bhutan. *Sustainability*

Toğrol, E. (1998). Jet grout kolonlarının yapımında kalite denetimi. In *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi* (s. 393-402). İstanbul.

Tonyalı, İ., Horoz, Ç., & Çağlar, S. (2015). Evaluation of soil parameters exchange after soil improvement with jet grouting technique. In *6. Geoteknik Sempozyumu*, Adana.

TS EN 12716. (2002). *Jet grout yöntemi Türk standardı*.

Vucetic, M., & Dobry, R. (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. *Journal of Geotechnical Engineering*

Xanthakos, P. P., & Amramson, L. W. (1994). *Ground control and improvement* (Çeviri ya da orijinal dilde belirtilecek). John Wiley & Sons.

Yahiro, T., & Yoshida, H. (1973). Induction grouting method utilizing high speed. In *Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Moscow.

Yılmaz, A. D. (2016). *Jet grout uygulaması sonrası yapılan kalite kontrol testleri ve değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Zhang, J., Andrus, R. D., & Juang, C. H. (2005). Normalized shear modulus and material damping ratio relationships. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*

Özçelik, F. (2024). Jet Grout İle İyileştirilmiş Killi Zeminlerde Dinamik Davranışının İncelenmesi *Tez*. İstanbul.

Kırşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü arşivi. Kırşehir

Itasca Consulting Group. (2022). *Liquefaction risk mitigation using jet grouting and earthquake drains*. Itasca. <https://www.itascacg.com/consulting/projects/liquefaction-risk-mitigation-using-jet-grouting-and-earthquake-drains>

Zhang, H., Li, Y., & Wang, X. (2021). *Seismic performance of jet grouted columns in soft soils*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 145, 106703. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106703>

Wang, J., & Chen, S. (2020). *Settlement control of foundations using jet grouting under seismic loading*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(5), 04020033. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002267](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002267)

Kim, D., Park, H., & Lee, S. (2019). *Effect of jet grouting columns to mitigate seismic ground deformation*. *Applied Sciences*, 9(16), 3301. <https://doi.org/10.3390/app9163301>

EKLER

EK-1 Kurum İzni



T.C.
KIRŞEHİR BELEDİYESİ
İmar ve Şehircilik Müdürlüğü

Sayı : E-21364669-115-190204

30.07.2025

Konu : Yüksek Lisans Tez Çalışması Hk.

İMAR VE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜNE

Kırşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nde inşaat mühendisi olarak çalışmaktayım. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrencisiyim. Kırşehir Merkez'de uygulanan jet grout uygulaması yapılan yerlerde yüksek lisans tezimde kullanmak amacıyla verilerin kullanılması hususunda; Gereğini ohurlarımıza arz ederim.

Mustafa BAYRAMGÜRLER
İmar ve Şehircilik Müdür V.

EK-2

Kongre Katılım Belgesi



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Hakkı ATİK
Uyruğu	T.C.
Orcid Numarası	0009-0002-8669-6709

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Süleyman Demirel Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2011
Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Tarihi	2025

Bilimsel Yayınlar
Atik, H., & Önal, M. M. (2025, May 24–25). <i>Jet grout uygulamalarında Kırşehir ili örneği</i> (Conference presentation). 5. Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi, Ankara, Türkiye.