

168796

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ VE YERALTI SU SEVİYESİNİN
DÜŞÜRÜLMESİNDE WELL-POINT METODUNUN
KIRIKKALE İLİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

BARAN TOPRAK

OCAK 2005

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak İnşaat Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans Tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Tez Jürisi Üyeleri

Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

Doç. Dr. Mehmet ORHAN

Yrd. Doç. Dr. Osman YILDIZ

ÖZET

ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ VE YERALTI SU SEVİYESİNİN DÜŞÜRÜLMESİNDE WELL-POINT METODUNUN KIRIKKALE İLİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

TOPRAK, Baran

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

Ocak 2005, 91 sayfa

Yapıların, statik ve dinamik etkilere dayanımı, bir mühendislik esasıdır. Çerçeve sistemlerinin, kuvvetlere karşı güvenliliği, yapı ömrü açısından, tek başına yeterli değildir. Yapı-zemin etkileşiminin iyi analiz edilmediği hallerde, asıl yıkıcı etkinin zeminden kaynaklandığı, deprem kuşağındaki ülkemizde bir gerçektir.

Bu tez çalışmasında, zemin iyileştirme yöntemlerinin amacı uygulanış şekilleri incelenmiş, zemin iyileştirme yöntemlerinden, well-point sistemi irdelenmiştir. 2000-2004 yılları arasında Kırıkkale ilinde yapılmış olan zemin etüt çalışmalarının bir çoğu tablo haline getirilmiştir. Bu veriler mahallelere

göre ayrılmış, bu verilerin doğrultusunda well-point sistemiyle zemin iyileştirme önerileri yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Well-point sistemi, Yer Altı Su Seviyesi, Zemin İyileştirme Yöntemleri, Kırıkkale



ABSTRACT

GROUND IMPROVEMENT METHODS AND WELL-POINT METHOD IN LOWERING GROUND WATER LEVEL AND EVALUATION OF APPLICABILITY IN KIRIKKALE

TOPRAK, Baran

Kırıkkale University

Institute of Science and Technology

Department of Civil Eng., M. Sc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

January 2005, 91 pages

Structural stability and safety against static and dynamic forces is a basic principle of construction engineering. Safety against forces on frame systems, is not only enough for building life. In a condition of not well analysed, if the interaction between construction and ground, serious problems affecting structural stability and safety may occur, especially in earthquake zones including our country.

In this thesis; aim and application of common ground treatment methods and well-point systems were investigated. Number of the ground investigations made between 2000 and 2004 years, in Kırıkkale city, made as

charts. This data is listed by quarters and ground treatment suggestions by well-point method were made.

KEY WORDS: Well-point System, Ground Water Level, Ground Treatment Methods, Kırıkkale



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince konu seçimi ve yönlendirmeleriyle yardımcı olan danışmanım Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ'a, tavsiyeleriyle katkıda bulunup yardımını esirgemeyen Doç.Dr.Mehmet ORHAN'a, bilgilerinden her zaman yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Osman YILDIZ'a, elindeki tüm kaynak ve verileri paylaşan Jeo. Müh. Esra ALTUNDAĞ'a, çalışmam boyunca tüm desteğini bana veren canım aileme, ihtiyaç duyduğum her an yanımda bulduğum fedakar eşim Eda Gökçe TOPRAK'a ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Özetleri	3
1.2. Çalışmanın Amacı	8
2. MATERYAL VE YÖNTEM	9
2.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri	9
2.1.1. Mekanik Modifikasyonlar	10
2.1.1.1. Dinamik Modifikasyon	10
2.1.1.2. Titreşimli Kompaksiyon	12
2.1.2. Hidrolik Modifikasyonlar	16
2.1.2.1. Taş Kolonlar	16
2.1.2.2. Ön Yükleme ve Düşey Drenler	19
2.1.2.3. Yeraltı Su Seviyesinin Düşürülmesi	23
2.1.3. Fiziksel ve Kimyasal Modifikasyonlar	23
2.1.3.1. Kompaksiyon Enjeksiyonu	23
2.1.3.2. Jet Grout	29
2.1.3.3. Patlatma	38

2.1.3.4. Kimyasal Enjeksiyon	41
2.1.3.5. Dondurma	49
2.1.4. Donatılandırma	50
2.1.4.1. Geosentetikler	50
2.1.4.2. Zemin Çivilemesi	58
2.2. Well-Point Sistemi	59
2.2.1. Well-Point Sisteminin Amacı	60
2.2.2. Well-Point Sistemi Kurulmadan Önce Yapılan Arazi Çalışmaları	61
2.2.3. Well-Pointlerin Özellikleri	63
2.2.4. Well-Point Kuyularının Düzenlenmesi	70
2.2.5. Well-Pointlerin Tesis Derinliği	74
2.2.6. Sistemin Çalıştırılması	78
2.2.6.1. Emme Pompalı Well-Point Sistemi	78
2.2.6.2. Jet Pompalı Well-Point Sistemi	79
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	81
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	85
KAYNAKLAR	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. Me'nard Kompaktör	10
2.2. Titreşimli Sıkıştırma Esnasında Sahanın Genel Görünümü	13
2.3. Çukur Açılması	14
2.4. Kazı Çukurunun Doldurulması	15
2.5. Taş Kolon Yöntemi	18
2.6. Ön Yükleme ve Düşey Dren Uygulaması	20
2.7. Düşey Drenlerin Kesiti	21
2.8. Muhafaza Borusunun İndirilmesi	25
2.9. Karıştırıcı	25
2.10. Kompaksiyon Enjeksiyonu Uygulama Metotları	27
2.11. Jet Grout Sistemi	30
2.12. Jet Grout Püskürtme Sistemleri	32
2.13. Kumlu Zeminin İyileştirmesi	42
2.14. Metro Tünelleri İçin Uygulama Türleri	47
2.15. Enjeksiyon Boru Yerleşim Planları	48
2.16. Örgülü Geotekstil	51
2.17. Geomembranların Genel Kullanım Alanları	53
2.18. Geotekstillerin Genel Kullanım Alanları	54
2.19. Geotekstillerin Uygulanması	55
2.20. Bitümlü Güçlendirilmiş Membran	57
2.21. Well-Point Sisteminin Genel Görünümü	60

2.22. Çeşitli Kuyu Sistemleri	62
2.23. Well-Point Sistem Kesiti	64
2.24. Üç Kademeli Well-Point Sistemi	65
2.25. Tek Taraflı Kazı Hendeği Koruması	68
2.26. Çift Taraflı Kazı Hendeği Koruması	69
2.27. Well-Point Sistemi Düzenleme Şekilleri	70
2.28. Emme Pompası İle Pompalama Yapıldığında Elde Edilebilecek Maksimum Düşüm	71
2.29. Tek Kademeli Well-Point Sistemi	73
2.30. Kademeli Well-Point Sistemi	73
2.31. Geçirimsiz Birim Üzerinde Yer Alan İnce Bir Akiferde Well-Point Sistemi İle Drenaj	78
2.32. Kademeli Well-Point Sistemi İle Derin Kuyu Pompasının Kullanımı ..	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1. Jet Grout Parametreleri	36
2.2. Rölatif Maliyet	49
2.3. Geosentetiklerin Rölatif Maliyetleri	58
3.1. Kırıkkale İli Sondaj Kuyuları Verileri	82



1. GİRİŞ

Nüfusun önlenemez artışı, yapı alanlarının daralması, yerleşim yerlerinin ve çalışma alanlarının çok katlı teşkil edilmesine ve dinamik özellik olarak yapıların kütle olarak daha ağır teşkil edilmesine yol açmıştır.

Toplu taşımacılıkta geline nokta daha çok bireyi daha az sürede taşıma ilkesine dayanır duruma gelmiştir.

Zamanla insana hizmet eden yol, köprü ve konutlar daha ciddi ve günümüz ihtiyacını karşılamak amacı ile daha geniş ve ağır yapım ilkesine dayanır. Bu nedenle yapıların zemine ilettiği yüklerde katlanarak artmış ve zeminin kendi taşıma gücünü aşmıştır.

Genişleyen sanayi, yerleşim alanları sınıf olarak yapı için istenmeyen zemin bölgelerini bu alanların kullanılma zorunluluğunda bırakmış ve riskleri de beraberinde getirmiştir.

İnsanoğlunun gelişen teknolojiye, herhangi bir zemin bölgesine ilgili bir yapıyı yapmama lüksü kalmamıştır. Sanayide artan rekabetle beraber zaman açısından neredeyse hammadde ve işleme yapıları yan yana olması istenmektedir. Ulaşım yapılarında köprüler ve köprülü kavşaklar zorunluluk haline gelmiş viyadükler ulaşılamaz yapılar olmaktan çıkmıştır.

Günümüz Türkiye'sinde depremin ve depremin getirdiği yıkımlar daha çarpıcı ortaya çıkmış, yapılar kadar zeminin ıslah edilmesi de önem kazanmıştır. Öncelik uygun zemine uygun kat oranıyla sağlanmaya çalışılmış

fakat yapı alanlarının önem sırası, yapı alanlarının daha verimli kullanımını zorunlu hale getirmiştir.

Zemin iyileştirilmesi bir ihtiyaç olmaktan çıkmış, amaç ve kapsamı genişletilmiş neredeyse tüm yapılarda başvurulacak bir yol haline gelmiştir. Köprü ayakları altına yapılan muhtelif kazık sistemleri, karayollarındaki ciddi drenaj sistemleri, bina temel altlarındaki pompaj ve drenaj sistemleri günümüzde sıkça kullanılan iyileştirme sistemleridir. Çok katlı ve oturma etkisine müsait olmayan yapılarda zemin iyileştirmesi yapılmadan yapı teşkil etmek neredeyse imkansızdır.

Kullanılacak zemin iyileştirme teknikleri bölgenin topoğrafik durumu, iklim durumu, ulaşım durumu ve yapılara getireceği ek maliyetlere bağlı olarak değişebilir.

Zemin, taşıma gücü probleminden dolayı incelenmekle beraber içerdiği materyaller ve bileşenleri açısından da iyileştirme gereksinimi bulunmaktadır. Zemin muhtevastaki çeşitli mineraller ve su yapı için olumsuzluk barındırabilir. Örnek olarak killi zeminlerde fazla su şişme etkisi, normalden az su ise büzölme etkisi göstermektedir.

Yapı için olumsuzluklar sıralandığında ilk sıralarda zemindeki mevcut su akla gelmektedir. Söz konusu suyu daimi veya geçici olarak uzaklaştırmak yapı için son derece gerekli ve istenen bir durumdur. Neredeyse yapıların tarihi kadar eski olan klasik drenaj sistemlerinin yanı sıra günümüz drenaj yöntemleri de bu faydasının yanı sıra, sulama ve içme suyu sağlamak, ıslak zeminlerin yapı teşkili için kurutulması, yer altı su seviyesinin sürekli olarak

düşürülmesi gibi faydalar sağlayarak yapılarda istenmeyen suların çeşitli amaçlarla uzaklaştırılmasına yardımcı olur.

Yapılar için sadece suyun uzaklaştırılması değil, uzaklaştırılan suyun belli bir amaca hizmet edecek şekilde konumlandırılması modern çağımızın en büyük gereksinimidir.

1.1. Kaynak Özetleri

W.F.Van Impe'nin, 1989 yılında yaptığı "Soil Improvement Techniques and Their Evolution" adlı çalışmada, dinamik kompaksiyon için uygun zemin türleri ve şekilleri incelenmiştir. Kompaksiyonda kullanılacak ekipman ve relatif maliyetler hakkında çalışmalar yapılmıştır.⁽¹⁾

Robert D. Holtz ve William D. Kovacs'ın 1981 yılında yaptığı "Geotechnical Engineering" adlı çalışmada, dinamik kompaksiyon yönteminin ilkeleri ve uygulanış şekilleri ortaya konularak yöntemin uygulanışında bazı matematiksel formüller ortaya konmuştur.⁽²⁾

O.G.Ingles ve J.B.Metcalf'in 1973 yılında yaptığı "Soil Stabilisation" adlı çalışmada, dinamik ve titreşimli kompaksiyon alanlarında uygulanış şekilleri açısından incelemeler yapılmıştır.⁽³⁾

V.R. Schaefer'in, 1997 yılında yaptığı "Ground Improvement, Ground Reinforcement, Ground Treatment Developments" adlı çalışmada, vibroflotasyon alanında uygun zeminler belirlenmiş, uygulanış şekilleri ve sağlanan faydalar ortaya konmuştur.⁽⁴⁾

D.A. Greenwood'un, 1975 yılında yaptığı "Methods of Treatment of Unstable Ground" adlı çalışmada vibroflotasyon'un gelişimi, uygulanışı ve maksimum ıslah derinlikleri incelenmiştir.⁽⁵⁾

İnşaat mühendislerinin, Amerika Birleşik Devletleri'nde kurduğu bir dernek olan "The Institution of Civil Engineers", 1976 yılında yayınladığı "Ground Treatment by Deep Compaction" adlı yayında, titreşimli sıkıştırma yöntemini ve sahada uygulanış şekillerini incelemiştir.⁽⁶⁾

J.A. Charles, 1993 yılında yaptığı "Building on Fill" adlı çalışmada, vibroflotasyonun gelişimini, yöntemin avantaj ve dezavantajlarını, sınırlamalarını incelemiştir.⁽⁷⁾

U. Ergun, 1992 yılında O.D.T.Ü'de düzenlenen "Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği" adlı seminerde taş kolonların yapım ilkelerini ve kullanım alanlarını ortaya koymuştur.⁽⁸⁾

"Ulusal Otoyollar İdaresi" olan ve Amerika Birleşik devletlerinde bulunan "Federal Highway Administration", 1983 yılında yaptığı, "Design and Construction of Stone Columns" adlı yayında, taş kolon yönteminin arazide aplike edilmesi ve kullanım alanları konusunu incelemiştir.⁽⁹⁾

U. Ergun, 1983 yılında yaptığı yayında taş kolon yönteminin kullanım alanlarını ilk kez ayrıntılı olarak ortaya koymuştur.⁽¹⁰⁾

U. Ergun, 1999 yılında O.D.T.Ü'de düzenlenen "Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği" adlı seminerde zemin kolon etkileşimlerini ve taş kolonların muhtevasını ayrıntılarıyla ortaya koymuştur.⁽¹¹⁾

Goughnour ve Bayuk, 1979 yılında yaptığı, “Ground Improvement”adlı çalışmada, taş kolonların taşıma kapasitelerini incelemiştir.⁽¹²⁾

Greenwood ve Kirsch, 1984 yılında yaptığı, “Ground Treatment by Deep Compaction” adlı çalışmada, taş kolonların taşıma kapasiteleri ve sınırlandırmalarını incelemiştir.⁽¹³⁾

A. Özalp, 2002 yılında yaptığı, “Geoteknik Bilgisi ve Zeminler Mekaniği” adlı yayında, ön yükleme ve düşey dren yönteminin, gelişimini,kullanım alanlarını ve amaçlarını incelemiştir.⁽¹⁴⁾

Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan Nipex coop. adlı şirket,” www.nipex.com “adlı internet sayfalarında, ön yükleme ve düşey dren uygulamalarını şekillerle göstererek ikincil oturmaya katkısı olmadığını yayınlamışlardır.⁽¹⁵⁾

M. Mollamahmutoğlu, 2003 yılında, “Zemin Yapısı ve Stabilizasyonu” adlı dersin notlarında, ön yükleme ve düşey dren sistemlerinin araziye uygulanışı konusunu incelemiştir.⁽¹⁶⁾

Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan “James Warner Compaction Grouting” adlı şirket, internet sayfalarında, kompaksiyon enjeksiyonu uygulamalarını şekillerle göstererek karıştırıcı kapasiteleri, karıştırma oranları ve malzemeler hakkında bilgiler vermiştir.⁽¹⁷⁾

Melegari, 1997 yılında yaptığı çalışmada, jet grout yönteminin kullanım alanlarını ve uygulama şekillerini ayrıntılarıyla incelemiştir.⁽¹⁸⁾

E. Toğrol,1994 yılında, “Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Beşinci Ulusal Kongresi” ‘nde yaptığı, “Jet Grout Kolonlarının Yapımında Kalite Denetimi” adlı yayında jet grout kolonlarının muhtevalarını incelemiştir.⁽¹⁹⁾

H.T. Durgunoğlu,1998 yılında, “Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi” ‘nde yaptığı, “Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirmesi Üzerine Bir Uygulama” adlı yayında jet grout kolonlarının uygulanış şekillerini ve aplikasyonunu incelemiştir.⁽²⁰⁾

E.Okay, 1987 yılında yaptığı yayında, jet grout sisteminin uygulanışındaki üç farklı yöntemi incelemiş ve ayrıntılarıyla açıklamıştır.⁽²¹⁾

Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan “Raymond Concrete Pile Division” adlı şirket, internet sayfalarında, kimyasal enjeksiyonun uygulamalarını şekillerle göstererek, kumlu zeminlerde kimyasal enjeksiyon uygulanışını incelemiştir.⁽²²⁾

M. Mollamahmutoğlu, 1996 yılında gerçekleştirilen “Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Ulusal Kongresi” ‘nde, “Ankara-Keçiören Bölgesi Kuşcağz Spor Tesisleri Zemin İyileştirmesi” adlı yayınında, kimyasal enjeksiyon sisteminin araziye uygulanışı ve zeminle etkileşimi konusunu incelemiştir.⁽²³⁾

U. Ergun, 2001 yılında İller Bankasında yapılan “Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği” seminerinde, “Zemin İyileştirme Yöntemleri” adlı yayınında, geosentetiklerin kullanım alanları ve kimyasal özelliklerini incelemiştir.⁽²⁴⁾

“Yollar İdaresi” olan ve Amerika Birleşik devletlerinde bulunan “Community Services Division Main Local Roads Center”, 2002 yılında yaptığı yayınlarda, örgülü ve örgüsüz geotekstil malzemelerinin kullanım alanları konusunu incelemiştir.⁽²⁵⁾

T.C.Bayındırlık Bakanlığı, 1993 yılında yaptığı, “Jeosentetikler” adlı yayında, bitümle güçlendirilmiş membranların kullanım alanlarını incelemiştir.⁽²⁶⁾

R.H. Yılmaz, 1990 yılında yaptığı, “Geogridlerin ve Geotekstillerin Şev Stabilizasyonunda Kullanımları” adlı yayınında, geogrid ve geotekstillerin kullanım alanlarını ve rölatif maliyetlerini incelemiştir.⁽²⁷⁾

A. Birand, U. Ergun, O.Erol; 2002 yılında yaptığı, “Foundation Engineering 1” adlı ders(CE 366) kitabında, well-point sisteminin gelişimi, aplikasyonu, fayda ve maliyetlerini incelemiştir.⁽²⁸⁾

Dehne, 1986 yılında yaptığı, “Ground Water Lowering” adlı yayında, well-point sisteminin uygulanış şekillerini incelemiştir.⁽²⁹⁾

A. Johnson, 1954 yılında “Drillers’ Journal” teknik yayınında basılan “Dewatering by Well-Point System” adlı yayında well-point sisteminin uygulanış ve applike yöntemlerini incelemiştir.⁽³⁰⁾

Su Kaynakları Teknik Yayınları olan ve Amerika Birleşik Devletlerinde yayınlanan “Water Resources Technical Publication” adlı yayında, kademeli well-point sistemleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve debi hesaplamaları yapılmıştır.⁽³¹⁾

Altundağ Mühendislik, Kırıkkale ilinde faaliyet gösteren, sondaj, zemin etüt rapor ve incelemeleri yapan jeoloji firmasıdır. Şirketin kurucusu ve sahibi Jeoloji Mühendisi Esra Altundağ'dır. Tez çalışmasında, gerekli olan veriler değerlendirmeye esas olacak şekilde Altundağ mühendislik tarafından sağlanmıştır.⁽³²⁾

1.2. Çalışmanın Amacı

Öncelikle yaygın kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerinin amacı ve etkili olduğu zemin türleri belirlenmiştir. Uygulanış şekillerine göre bu yöntemlerin tarihi gelişimleri, etkili olduğu zemin türleri, avantaj ve dezavantajları, sınırlandırmaları, araziye uygulanış şekilleri şekillerle anlatılıp açıklanmaya çalışılmıştır.

Well-point sisteminin amacı, kullanıldığı zemin türleri, pompaj türleri, arazi uygulanışı incelenmiştir. Pratikte yapılan örneklerin sağladıkları faydalar belirlenmiştir. Avantaj ve dezavantajları belirlenerek, rölatif maliyetleri belirtilmiştir.

Araştırmada elde edilen bulgular olarak Kırıkkale ilinin 2000-2004 yılları dahilinde yapılmış zemin etüt sondaj verileri incelenerek mahallelerin yaklaşık Y.A.S.S. çizelge haline getirilmiş ve incelenmiştir.

Sonuç olarak Y.A.S.S. göz önüne alınarak mahallelerde zemin iyileştirme ve well-point sisteminin uygulanabilirliği incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin iyileştirme yöntemlerinin genel amaçları; kayma mukavemetinin artırılması (τ, c, ϕ), kompresibilitenin azaltılması (sıkışabilirliğin minimizasyonu), permeabilitenin azaltılması, sıvılaşma potansiyelinin azaltılması, hacimsel değişmelerin kontrol altına alınması (şişme, rötre, vb) olarak sıralanabilir.

Zeminin cinsi, maliyetin kapsamı, yapının öngördüğü oturma sınırları ve kullanım alanı göz önüne alındığında zemin iyileştirme yöntemleri de farklılıklar göstermektedir. Bu yöntemlerin uygulanış şekillerine göre ayrımı literatürde uygulanan ve kabul gören sistemdir.

Bu anlamda zemin iyileştirme yöntemleri dört ana başlıkta toplanır:

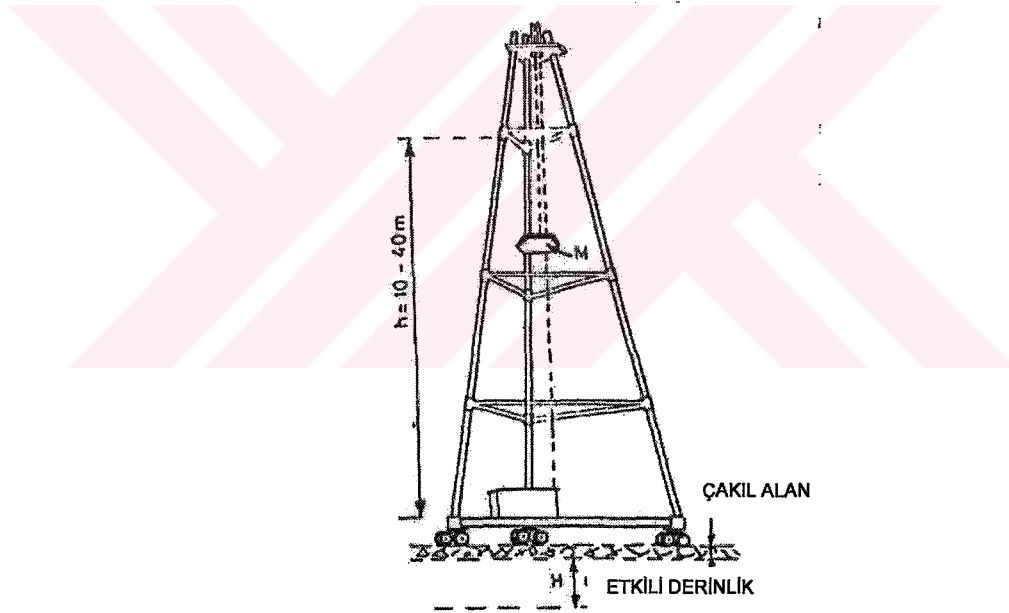
1. Mekanik modifikasyonlar
2. Hidrolik modifikasyonlar
3. Fiziksel ve kimyasal modifikasyonlar
4. Donatılandırma⁽¹⁾

2.1.1. Mekanik Modifikasyonlar

2.1.1.1. Dinamik Modifikasyon

Dinamik modifikasyonlar tasarlanan mühendislik yapısının oturacağı temelin taşıma kapasitesinin yetersiz olması durumunda mekanik ve dinamik yollarla uygulanan iyileştirme yöntemidir.

Dinamik kompaksiyon yöntemi ile zeminlerin iyileştirilmesi, ağır bir kütlenin belirli bir yükseklikten tekrarlı bir şekilde düşürülmesi esasına dayanır. Belli bir kütlenin araziye tekrarlı şekilde düşürülmesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Me'nard Kompaktör ⁽¹⁾

Düşüş sırasında oluşan şok dalgaları doygun olmayan granüle malzemede yoğunluğun artmasını sağlamaktadır. Yöntemin değişkenleri başlıca enerji (kütle, düşüş yüksekliği), bir noktadaki düşüş sayısı (genellikle

5-10) ve sıkıştırma yapılan noktaların yüzeydeki şeklidir (merkezden merkeze 5-15 m).⁽²⁾

Yük olarak betonarme blok, beton doldurulmuş çelik sac ve civatalanmış çelik plaklar kullanılmaktadır. Bu yüklerin en çok kullanılanları 6-30 ton arasında değişmekte özel durumlar için 170 tona kadar çıkabilmektedir. Vuruş yüksekliği genellikle 10-30 m arasında olmakla beraber 40 m ye kadar çıkabilmektedir.⁽²⁾

İstenilen derinlikte sıkışma sağlamak için en büyük sıkıştırma yüküyle düşüme başlanır daha sonra düşüm yükleri azaltılarak sıkıştırma işlemine devam edilir.

Ağırlık düşürme metodunun uygulanabileceği alanın özelliklerinin tanımlanması ve kohezyonlu zeminlerin plastisitesinin belirlenmesi son derece önemlidir. Kohezyonu yüksek zeminler için son derece uygundur. Tercih edilen zemin mutlak surette granüle zemin olmalıdır.

Sıkılaştırma yüzeyi, planlanan yapının taban alanından sismik dalgalar doğrultusunda daha fazla olmalıdır.

Yerleşim bölgelerinin titreşimlerden etkileneceği düşünülerek yerleşim bölgelerinin yakınında ağırlık düşürme yöntemi sakıncalıdır. Maksimum etkili derinlik 40 m ye kadar olmakla beraber sıvılaşma riski olan zeminlerde sıkça kullanılır.⁽²⁾

Yöntemin rölatif maliyeti, sadece vinç ve ağırlık oluşturmadaki harcamalarla sınırlıdır. Ayrıca sökülüp taşınma kolaylığıyla maliyet

düşmektedir. Rölatif maliyet m^2 de 2,5-3 USD olarak gerçekleşmekte ve iyileştirme yöntemlerinden en ucuz olanlardan birisi olmaktadır. ⁽³⁾

2.1.1.2. Titreşimli Kompaksiyon

1930 yıllarından bu yana uygulanan tarihi eskiye dayanan bir yöntemdir. Titreşimli sıkıştırma metodunun temel prensibi zemini mekanik olarak sıkıştırarak daha yoğun bir hale getirmek, böylece kayma dayanımını arttırmak ve sıvılaşma riskini azaltmaktır. ⁽⁴⁾

Titreşimli sıkıştırma daha çok silt oranının %12 - %15'ten ve/veya kil oranının %3'ten az olduğu temiz kumlar için uygundur. Bunun nedeni silt ve kil boyutlu taneler titreşimleri sönümler ve iyileştirmenin etkisini azaltır. Daha killi zeminler (ince dane oranının daha yüksek olduğu zeminler) için taş dolgunun kullanılması tekniğin siltli ve killi kumlarda da kullanılmasına izin vermektedir. ⁽⁴⁾

Zemine kazık çakmanın tersine, vibroflotasyon mevcut zemini geliştirmek ister. Bu da sığ derinlikteki yayılı temel kullanımına izin verir. ⁽⁵⁾

Titreşimli sıkıştırma için tipik derinlikler 3-15 m arasında değişmektedir. Fakat 1m sığ olabileceği gibi iyileştirme 36m derinliğe kadar da inilebilir. Genellikle yüzeyden tüm penetrasyon derinliğine kadar sıkıştırma sağlanabilir. Bununla birlikte penetrasyon derinliğinin altında daha az yoğunlaşma olur. ⁽⁴⁾

Titreşimli sıkıştırma yönteminde kullanılan tipik ekipman genellikle vibroflot denilen elektrikli yada hidrolik titreştirici, jeneratör ve su

pompasından oluşur. Bu titreştirici 2-4 m uzunluğunda, 3000 devir/dakikalık frekans ve 10-23 mm amplitüdle yatay olarak titreşim yapan torpido şeklinde titreşim sondasından oluşur. Titreştirici uzunluğu, iyileştirilmek istenen derinliğe göre ayarlanabilen bir boruya tutturulmuştur.⁽⁴⁾

Vibroflot sıkıştırma derinliğine bağlı olarak 60-100 tonluk paletli vinçlerden sarkıtılır. Vibroflotasyonun araziye uygulanış şekli Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Güç ünitesi vincin arka tarafına monte edilebilir.⁽⁴⁾

Titreşimli sıkıştırma yöntemiyle iyileştirilen zeminin yoğunluğu ve içsel sürtünme açısı ortalama 5-8 derece artırılmış olur. Buna bağlı olarak çok daha fazla kayma dayanımı elde edilebilir. Temel oturması yarıdan fazla azalır ve zemin sıvılaşmaya karşı daha dirençli hale getirilir. Titreşimli modifikasyonda kullanılan vibroflot aleti Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

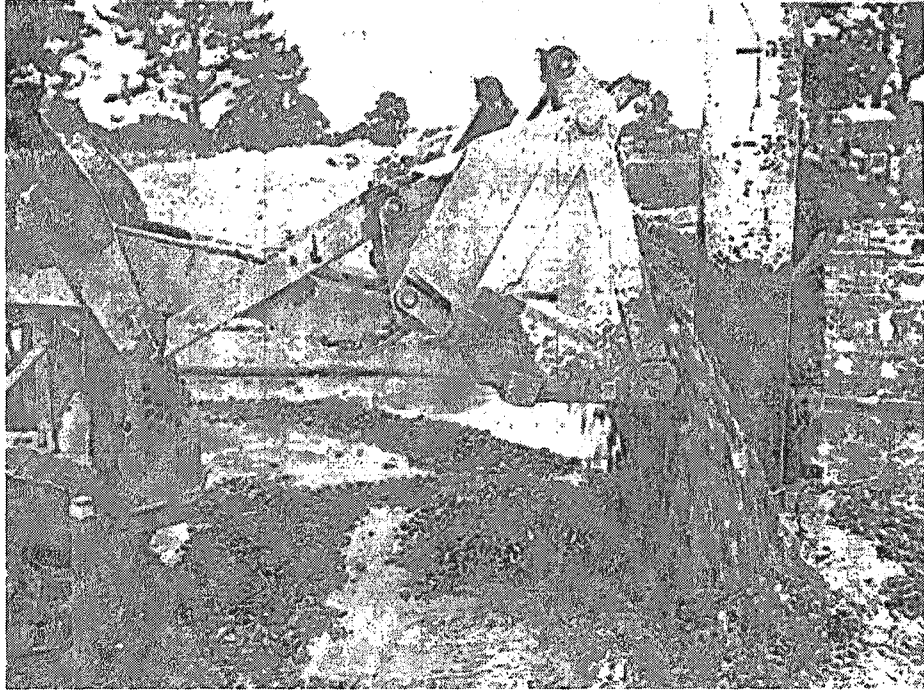


Şekil 2.2. Titreşimli sıkıştırma esnasında sahanın genel görünümü ⁽⁶⁾



Şekil 2.3. Çukur Açılması ⁽⁶⁾

1989 Loma Prieta Depremi titreşimli sıkıştırma metoduyla iyileştirilmiş zeminlerin ne kadar etkili olduğunu göstermiştir. Bu deprem sonrasında titreşimli sıkıştırma metodu uygulanan alanlarda sıvılaşma olmamışken; komşu arazilerde iyileştirilmemiş yerlerde çok fazla oturma, yayılma ve kum kabarmasına maruz kalmıştır. ⁽⁴⁾



Şekil 2.4. Kazı Çukurunun Doldurulması ⁽⁶⁾

Yöntemin yapım tekniği, basit hızlı ve esnektir. Geleneksel konut yapılarına ve hafif endüstriyel yapıların zeminlerinin iyileştirilmesine başarıyla uyum sağlar. Tüm alanın üniform olarak iyileştirilmesi şart değildir. Alanların taşıma kapasitelerini aşan durumlarda ve risk bölgelerine göre lokal iyileştirmelerde mümkündür. Yöntem mevcut yapıların yakınında kullanılabilme özelliğine sahiptir.⁽⁷⁾

Yöntem bir takım sınırlandırmaları da beraberinde getirir. Öncelikle ıslak metot için su kaynağına ihtiyaç vardır. Eğer zemin organik veya kimyasal reaksiyonla çözülüp hacmi azalabilecek bir madde içeriyorsa, bu malzemelerin çıkarılıp granüle dolguyla değiştirilmesi gerekir. Bahsedilen maddeler titreşimle bozulacak ve elverişsiz duruma gelecek maddelerdir. Gömülü geniş engeller uygulamanın başında çıkarılması gerekmektedir. Aksi taktirde uygulama maliyeti tahmin edilemez şekilde artış gösterir. Kazı

çukurunun doldurulması Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Gürültü seviyesi az olsa da çevresel sorunlar yaşanabilir. Titreşimlerin bitişik yapılarda veya gömülü yapılarda oturmaya sebep olacağı ihtimali önemle değerlendirilmelidir.Yöntemde etkileşimi elemine etmek için 2-5 m'lik mesafeler önerilir.

Sistemin sağladığı faydaya göre rölatif maliyeti oldukça düşüktür.Geniş hacimli bölgeler için kullanılan ucuz ve hızlı yöntemlere örnek olarak gösterilebilen sistemin yaklaşık maliyeti 3.5 USD/m²'dir.⁽³⁾

2.1.2. Hidrolik Modifikasyonlar

2.1.2.1. Taş Kolonlar

Taş kolonlar yöntemi, malzemesinin kolayca temin edilebilen ve ucuz olan taş olmasından dolayı oldukça tercih edilenlerdendir. Güvenlik, düşük maliyet, tasarım kolaylığı, etki, uygulama süresi ve uygulanabilirliği göz önüne alındığında iyileştirmeye etkisi tartışılmaz boyuttadır.

Taş kolonlar inşa edildikten sonra amaç, zemine gelen yükleri ortaklaşa taşımaktır. Meydana gelen fayda iki türdür.Birincisi yanal vibrasyondan dolayı zeminin kendisini sıkıştırmak.İkincisi ise taş kolonların taşımaya etkisi ile zemin taşıma kapasitesini arttırıp düşey dren gibi çalışarak oturmaya hızlandırmaktır.⁽⁸⁾

Çok geniş kullanım alanı mevcuttur:

1.Temel zeminlerinin stabilizasyonunda, toprak dolguların ve yol dolgularının desteklenmesinde,

2.İnce taneli yumuşaktan sert kadar killerde ve gevşek siltli kumlarda, köprü ayağı ve tutucu yapıların desteklenmesinde,

3.Heyelan stabilizasyonlarında,

4.Kumlarda sıvılaşma potansiyelinin azaltılmasında,

5.Uygun koşullarda birincil konsolidasyon için gereken zamanın azaltılmasında başarıyla uygulanabilmektedir.⁽⁹⁾

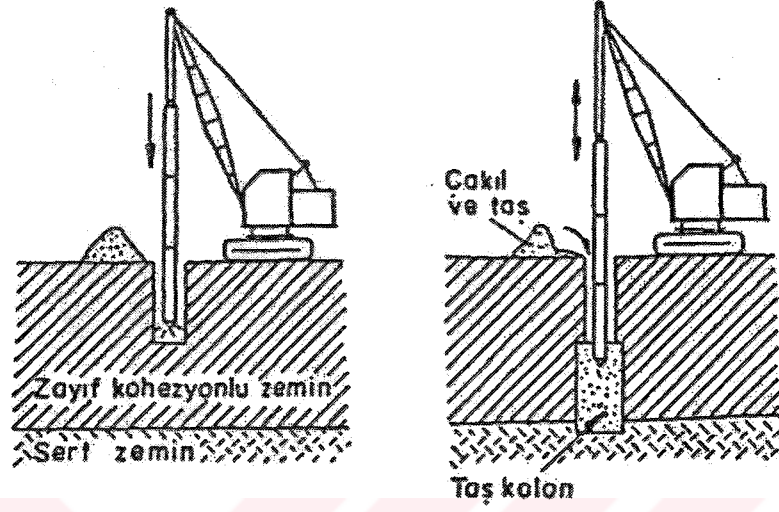
Uygulanacak alanın taş ile doldurulmadan önce sıvı jeti ile açılması gerekir. Jetin ucundaki sıvı püskürtme aleti prob olarak adlandırılır. Genellikle prob ağırlığı 2 ton civarındadır ve vinç yardımıyla zemine tatbik edilir. Prob zeminde dakikada 5 m ilerler.Prob'a bu yöntemde 20-50 kN/m² düşey basınç yaptırılır.Taş kolon sisteminde prob aynı zamanda 90 kN/m² lik yatay vibrasyon etkisi uygular.İstenilen derinlik elde edildikten sonra prob yukarı çekilirken her 30 cm de bir durdurulup 30-100 hp yanıl vibrate etkisi kullanılır.

Yöntemin öncelikli kullanım alanı suya doymun yumuşak killerdir.Bunun yanı sıra suya doymun sıvılaşmaya yatkın granüle zeminlerde de kullanıma elverişlidir.⁽¹⁰⁾

Taş malzeme, zemin içine dik olarak, 0,60-1,0 m çapındaki muhafaza çukurları vasıtasıyla genellikle 20 m derinliğe kadar yerleştirilip sıkıştırılır.

Kolon, içine yerleştirilen 0,40-0,60 cm büyüklüğündeki granüle malzeme ile doldurulur. Taş kolon projelerinde yaklaşık 0,3 m kalınlıktaki daneli zeminden bir yastık sahada kolonların üzerine serilir. Üçgen veya kare yerleşim planında merkezden merkeze taş kolon ara mesafeleri 1,5-3,5 m

arasında değişmektedir. Kolonların uç kotta sert bir formasyona girmesi istenir. Taş kolon sisteminin uygulanaşı Şekil 2.5'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Taş Kolon Yöntemi ⁽¹¹⁾

Kolon-zemin davranışını etkileyen faktörler arasında;

- 1.Zeminin drenajsız mukavemeti
- 2.Yatay jeolojik gerilme
- 3.Radyal gerilme-birim boy değıştirme özellikleri
- 4.Başlangıçtaki kolon boyutu
- 5.Kolon malzemesinin özellikleri

Kolon taşıma kapasiteleri genellikle 200-350 kN aralığında bulunmaktadır. ^(12,13)

Yeterli sıklık için yöntemin uygulanışından hemen sonra SPT-N ve CPT-qu değerlerine bakılır. Örnek olarak SPT-N başlangıçta 5- 10 değerlerinde ise işlemten sonra SPT-N>30 olmalıdır. ($Dr > \%70$)

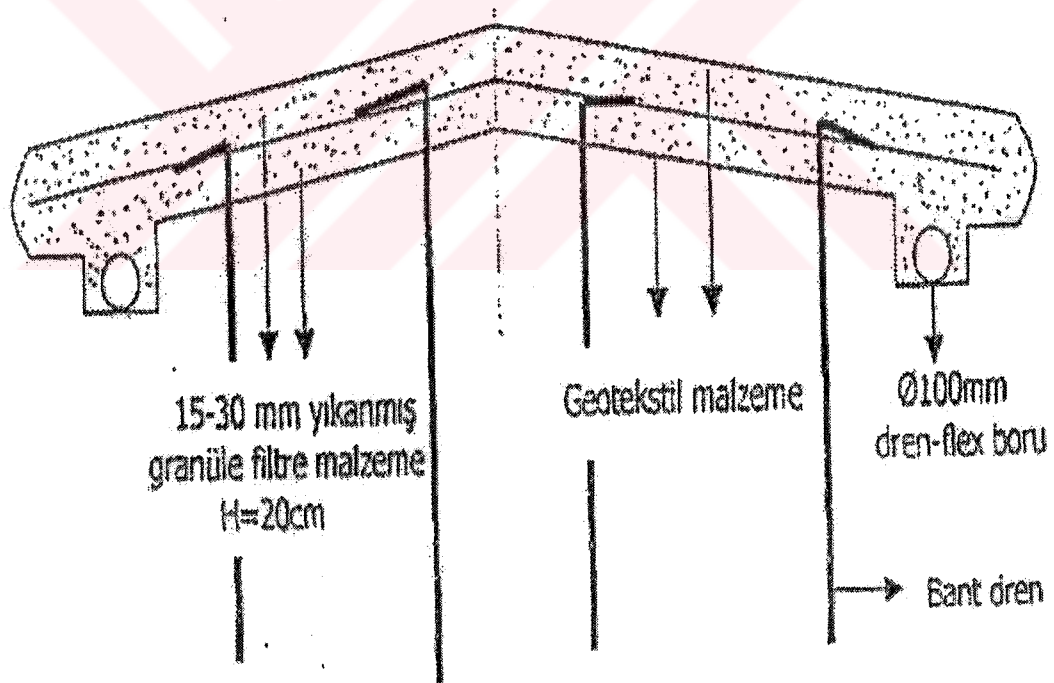
Kullanılan malzemenin ucuza elde edilebilen taş olmasından dolayı esas maliyeti oluşturan yerleştirilmesinde kullanılan ekipman kirası oluşturmaktadır. Vibro kompaksiyon, kompaksiyon enjeksiyonu ve jet grouting'e göre oranla oldukça ucuz fakat derin kompaksiyon'a göre kullanışı pratik olmadığı için daha pahalıdır. Rölatif maliyet 2 USD/m² civarındadır.

2.1.2.2. Ön Yükleme ve Düşey Drenler

Suya doymuş kohezyonlu zeminler çok düşük taşıma gücüne sahip zeminler olup uygun temel zemini değildir, büyük konsolidasyon oturmalarına müsaittirler. Bu tip zemin ıslahı, zemin yüzeyine dolgu (sürşarj) malzemesi koyarak sabit yük altında uzun bir süre tutarak ön konsolidasyona uğraması sağlanır. Bu işlem yıllarca sürebilir. Süreyi kısaltabilmek için kum dren veya bant dren uygulayarak stabilizasyon sağlanabilir. Suya doymuş kohezyonlu zeminlerin ıslahında kullanılan en yeni yöntem bent dren sistemidir.⁽¹⁴⁾

Zamanın çok önemli olduğu yüzyılımızda önyükleme süresinin kısaltılması için yüklemeler bent dren (wick drain) uygulanması ile beklenen konsolidasyon oturması çok kısa sürede alınmaktadır. Dren vasıtasıyla zemin boşluklarındaki su yukarıya alınarak oturmalar son derece hızlı yapılır. Düşey drenlerin ikincil oturmaya karşı hızlandırıcı etkisi yoktur.⁽¹⁵⁾

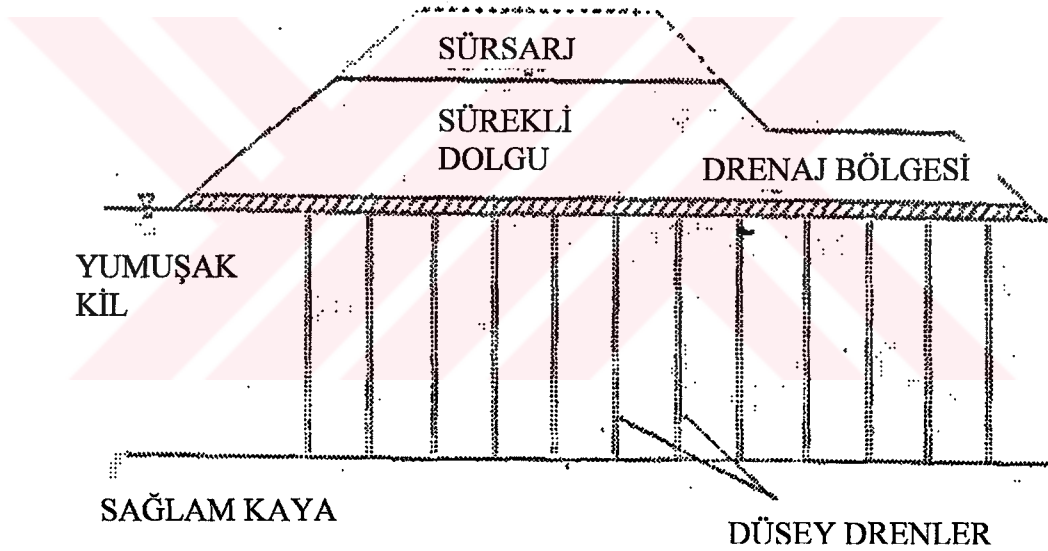
Taban zeminini %2 balık sırtı olacak şekilde bitkisel toprak sıyrılması yapılarak enine su deşarjına izin verecek şekilde hazırlanır. Alan büyüklüğüne göre her 50 metrede bir enine drenaj kanalları ve her iki yanda %1 eğimli toplayıcı ana kanallara bağlanır. Ön yükleme ve düşey dren yönteminin uygulanışı Şekil 2.6'da gösterilmiştir. 250 gr/m² lik geotekstil malzeme 30 cm bindirmeli olarak kanal tabanları da dahil olmak üzere serilir. Boyuna ve enine kazılan bu drenaj kanallarına ϕ 200mm lik dren-flex borular döşenir. 15mm-30 mm yıkanmış granüle kırma taş 20 cm kalınlığındaki filtre malzemesi geotekstil malzeme üzerine serilerek sıkıştırılır.⁽¹⁶⁾



Şekil 2.6. Ön Yükleme Ve Düşey Dren Uygulaması

Topoğrafik ekip tarafından projesine uygun olarak sahada aplikasyonu yapılan bant dren noktalarında, filtre malzemesi bir işçi tarafından açılır ve geotekstil malzeme 10 cm çapında kesilerek ön delgiye hazır hale getirilir. Ön yükleme ve düşey dren yönteminin sistem kesiti Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

Ön delgi $\phi 100\text{mm}$ auger yardımı ile SPT si yüksek Ön delgi gerektiren tabaka (8.50mt) geçilene kadar yapılır.Ön delgi forajından çıkan malzeme filtre ve geotekstil malzemesinin kirlenmesine müsaade edilmeden sahadan uzaklaştırılır.Ön delgisi yapıp forajından çıkan malzeme uzaklaştırılan kuyu 3 mm çapındaki yıkanmış dere malzemesiyle, yani kum şilte ile doldurulur.⁽¹⁶⁾



Şekil 2.7. Düşey Drenlerin Kesiti

Prefabrik bant drenler baklava dilimi kesitinde bir mandrel yardımı ile ve bu işlem sırasında yırtılmasına mani olacak şekilde zemine sürülür ve istenilen proje derinliğine indirilir.⁽¹⁶⁾

Bant yerleştirme için sabit yük ve sabit hız (min 15cm/sn) tercih edilir.Ancak zeminde SPT si yüksek tabakalarla karşılaşıldığında vibrasyon etkisi kullanılır.⁽¹⁶⁾

Bant drenlerin düşeyden 6 cm/mt den daha fazla sapmaması sağlanır.Düşey sapmaların kontrolü su terazisiyle yapılır.Bantların yerleştirilmesi sırasında zeminde rselenmenin en az olmasına zen gösterilir.İlerleme hiçbir şekilde düşey ağırlık (şahmerdan) yöntemiyle yapılmaz.

Mandrel; bant drenlerin zemine sürülmesi için kullanılan bir araç olup ayrıca sürülme sırasında bantların yırtılmasını,kesilmesini ve aşınmasını önleyen koruyucu bir elemandır. Kesiti baklava dilimi (eşkenar) olan mandrel özel çelikten imal edilmiş olup toplam boydaki kesit alanı 100 cm² yi geçmemelidir. Bant dren boyu ve zemin durumu dikkate alınarak 2 yada 3 ayrı set kullanılır.

Düşey sentetik drenaj elemanı,vinç gidajına monte edilmiş PTC vibro ile özel çelikten imal edilmiş baklava dilimi kesitli mandrel vasıtasıyla zemine sokularak yapılır.Bant dren ,dren borusu içinden geçmekte olup, uç kısmında dren tutucu alt sac plaklar kullanılır.⁽¹⁶⁾

Dışarıda hazırlanan bant drenler mandrelin bağlı olduğu sacın üzerindeki makaradan geçen spiral gaz telinin yardımıyla mandrelin alt tarafından içine alınır. Vinç,n delgisi yapılıp kum şiltesi konulan noktaya yanaşarak vibro yardımıyla mandreli gerekli derinliğe indirerek, bant dreni bırakıp yukarı çıkar. Dren bantlar filtre malzemesi üzerinde 50 cm kalacak şekilde bırakılır.

Filtre malzemesi üzerinde bırakılan 50 cm lik dren bantlar yzeyim eğimi istikametinde 45 derece olacak şekilde yatırılıp zemine tutturulur. Bu bantların

üzerine de 15 cm filtre malzemesi serilip üzerine geotekstil malzeme,altta serilen geotekstil malzeme ile birleştirilerek filtre malzemesi bohçalanarak kapatılır.

Drenlerin tamamlanmasına müteakip yükleme dolgularına başlanmıştır. Konsolidasyon oturmalarını kontrol etmek üzere; oturma kolonları oluşturulmuştur. Oturma plakları teraziye alınarak düzgünlüğü sağlanmış, dolgu yapımı süresince dikkatle korunmuştur.⁽¹⁶⁾

Ön yükleme ve düşey drenlere maliyet açısından yaklaşıldığında; vibroflotasyon işlemiyle hemen hemen aynı fiyatta gerçekleştiği görülür. Isıtma,dondurma gibi işlemlerden hayli ucuz taş kolonlara göre 2-3 kat fiyatlıdır.

Düşey dren işleminin günümüz şartlarında 3 USD/m² olduğu bilinmekte ve baz alınmaktadır.⁽¹⁵⁾

2.1.2.3. Yeraltı Su Seviyesinin Düşürülmesi

Geçici ve kalıcı olmak üzere yer altı su seviyesinin düşürülerek kuru bir çalışma ortamı sağlamak; yer altı suyunun yapılara zararlarını önlemek amacıyla başvuru sistemleridir. Yaygın kullanılan sistemin ayrıntıları Bölüm 2.2'de işlenmiştir.

2.1.3. Fiziksel ve Kimyasal Modifikasyonlar

2.1.3.1. Kompaksiyon Enjeksiyonu

Tanım olarak enjeksiyon; uygun çimento şerbetleri veya buna benzer malzemeler kullanmak suretiyle yapı temellerinin ulaşılması güç

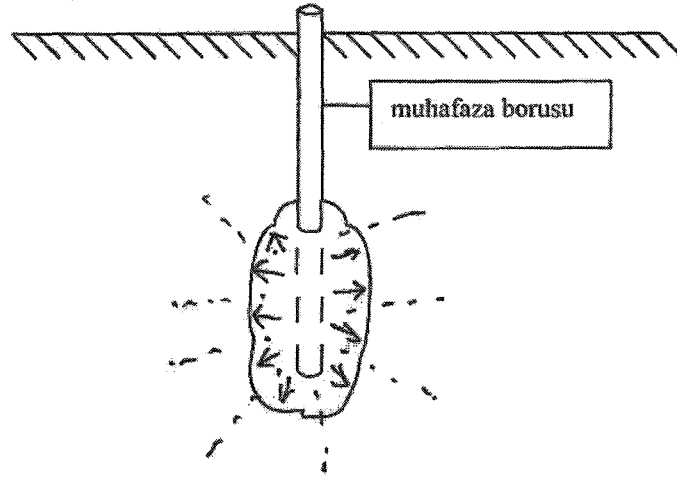
kısımlardaki derz, çatlak ve boşlukları tıkayarak geçirimsiz kılma işlemidir. Bu işlemin başlıca amacı yapının oturduğu kütlenin boşluklarını doldurarak süzülen suya karşı geçirimsizlik sağlamak, temelin mukavemetini ve elastik özelliklerini iyileştirmektir. ⁽¹⁰⁾

Enjeksiyonun amaçları:

- 1.Aşırı oturmaları önlemek amacıyla boşlukları doldurma.
- 2.Yeni yapılar veya mevcut yapıların büyütülmesi halinde zeminin emniyetli gerilmesini arttırma.
- 3.Yeraltı su akımını kontrol etme.
- 4.Sınır hafriyatlarda veya kazık çakımı gibi işlemlerde gevşek veya orta gevşek kohezyonsuz zeminin oturmasını önleme.
- 5.Tünel kazıları esnasında deplasmanların kontrol altında tutmak için.
- 6.lksa problemlerini rahatlatmak amacı ile zemin güçlendirilmesi.
- 7.Kazıkların düşey ve yatay kapasitelerini arttırma amacı ile enjeksiyon.
- 8.Sıvılaşmaya karşı gevşek kum tabakalarını taşlaştırma.
- 9.Temeli alttan destekleme işleri.
- 10.Şev stabilizasyonu.
- 11.Şişen zeminlerin stabilizasyonu ⁽¹⁰⁾

Bu yöntemle su, kum, çimentonun karıştırılmasıyla elde edilen akıcılığı düşük karışım belli basınç altında zemine enjekte edilir. Muhafaza borusunun zemin içerisine indirilmesi Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Karışım nüfuz ettiği zemin tanelerini öteleyerek sıkıştırır ve duyarlı bir zon oluşturur.Böylelikle

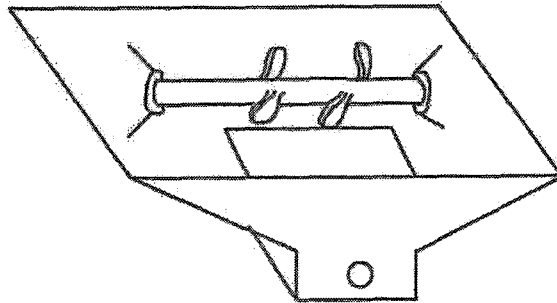
zemin enjekte edilen malzeme etrafında hacim değişikliğine uğrayarak sıkışır hem de enjeksiyon malzemesinin desteğini alır.



Şekil 2.8. Muhafaza Borusunun İndirilmesi

Enjeksiyon basıncı sayesinde kum, çimento, su ve katkı malzemelerinden oluşturulan harcın kütlesi artar. Böylelikle zemin daneleriyle harç yer değiştirerek zemini sıkıştırır.⁽¹⁰⁾

Harç karışımını homojen bir şekilde karıştırmak için, Şekil 2.9'da görülen yatay pervaneli karıştırıcılar kullanılır.⁽¹⁷⁾



Şekil 2.9. Karıştırıcı ⁽¹⁷⁾

Kullanılan pompa 42kg/cm^2 (4200 KN/m^2) 'lik basınçlarda çalışabilmelidir. Hatta tercihen 6900 KN/m^2 lik basınçlara dayanabilen pompalar önerilir. Genel olarak enjeksiyon basınçları 2 - 4 Mpa arasındadır.⁽¹⁷⁾

Enjeksiyon malzemesinin içindeki agreganın hepsi No 8 eleğinden geçen kumdur. Daha kaba bir kum kullanıldığında malzeme içindeki su dışarı süzülebilir. No 200 eleğinden geçen malzeme miktarı %10 ile %30 arasında değişebilir. Enjeksiyon karışımı ince kum, portland çimentosu, su ve katkı maddelerinden oluşur. (%12 çimento 28 kg/cm^2 lik bir karışım verir)

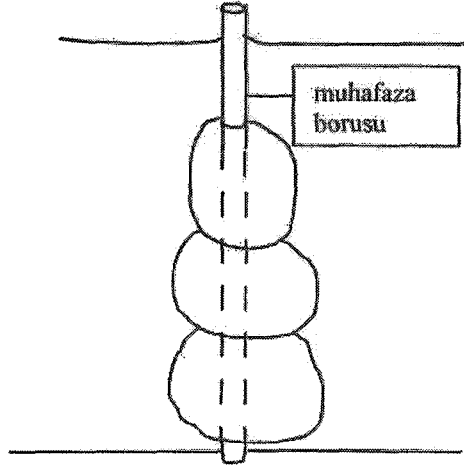
Katkı maddelerinin kullanılmasının amacı plastiklik ve enjeksiyonlanabilme özelliklerinin artırılması içindir.⁽¹⁰⁾

Enjeksiyon yapılan zemin derinliği yüzeyden en az 3-5m olmalıdır. Üçgen delik yerleşim planı kullanılır ve mesafe aralığı 1m-5m-5m'dir. Primer ve sekonder delikler kullanılır , enjeksiyon alış miktarları kaydedilir. Delikler genellikle temel altlarında veya temel altlarına doğrudur. Açık sahalarda pek kullanılmaz. Çevre delikler öncelikle enjeksiyonlanır. Enjeksiyon derinlik itibariyle basamak basamak yapılır. Her seferinde 0,75 -1,0 m lik delik enjeksiyonlanır.⁽¹⁰⁾

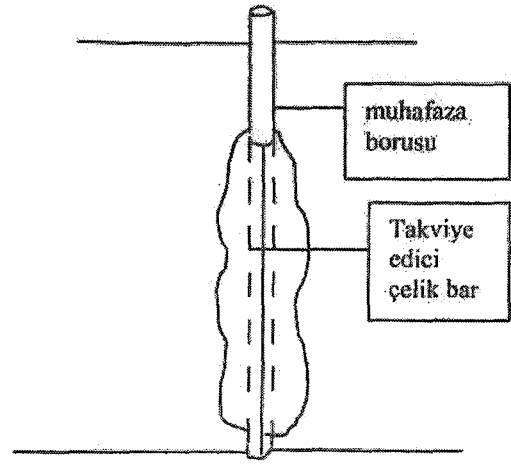
Kompaksiyon enjeksiyonu Şekil 2.10'da görüldüğü gibi iki şekilde yapılır;

1. Yukarıdan aşağıya doğru
2. Aşağıdan yukarıya doğru

Yukarıdan aşağıya kompaksiyon enjeksiyonu



Aşağıdan yukarıya kompaksiyon enjeksiyonu



Şekil 2.10. Kompaksiyon Enjeksiyonu Uygulama Metotları

Yukarıdan aşağıya doğru kompaksiyon enjeksiyonu;

1. Enjeksiyonlanacak zemine en az 1.5 m girecek bir delik açılır.
2. Muhafaza borusu ile kuyu arası çabuk priz alan çimento ile tıkanır.
3. Muhafaza içinden delme işlemi yapılır.En fazla 3-3,5m olmak koşulu ile 1-2,5 m aralıklarla ilerlenir, refü alınıncaya kadar enjeksiyon karışımı pompalanır. Zemin yüzeyinin hafif deplasmanı da refüye işaret eder.
4. 3. işlem bir önceki basamaktaki enjeksiyon sertleştikten sonra tekrarlanarak planlanan enjeksiyon derinliğinin dibine inilir.

Aşağıdan yukarıya doğru kompaksiyon enjeksiyonu;

1. Enjeksiyonlanacak zemin derinliğinin tabanına kadar delinir.
2. Zemin tabanına bir metre kalana kadar muhafaza borusu indirilir. Muhafaza borusu deliğe sıkıca oturtulur.
3. Refü alınıncaya kadar enjeksiyon malzemesi pompalanır.

4. Muhafaza borusu bir miktar çekilir.

5. Tekrar enjeksiyon yapılır.Son iki işlemler sırasıyla tekrar tekrar uygulanarak yüzeye erişilir.⁽¹⁰⁾

Yukarıdan aşağıya doğru enjeksiyon daha pahalı olmasına rağmen aşağıdan yukarıya doğru enjeksiyondan daha avantajlıdır.

Delik başına daha fazla alış miktarına sahiptir.Daha tesirlidir.Derine gidildiği için daha yüksek basınçlar uygulanabilir.Eğer problemlı zemin yüzeyde başlıyorsa bu yöntem kaçınılmazdır.

Pompalama hızının kontrolü bu enjeksiyon yönteminin esasıdır.Maksimum enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon miktarı bu hıza bağlıdır.

Hızlı pompalama ekonomiktir.Ancak basınç yükselmesine neden olur ve üstteki tabakaların kalkmasına veya göçmesine neden olabilir.Bunun için enjekte edilen malzeme miktarını ve kompaksiyonu limitlemekte fayda vardır.

Sonuç olarak pompalama hızı esas olarak basınç miktarı ve basıncın yükselme hızı ile ilişkilidir.Bunlarda;

1. Zemin tipi

2. Sıkıştırma derecesi

3. Su muhtevası

4. Enjeksiyon derinliği

5. Zemin ve yapıdan kaynaklanan çevre basınçlarına bağlıdır.

Zayıf zeminlerde çok iyi sonuç verir. Kumlu çakıllı zeminlerde uygulanır. Yöntem elverişli drenajı sağlamak için killerde de kullanılır.

Kullanılan ekipman ve malzeme masrafı vardır. Kullanılan çimento miktarına göre maliyeti de artar. Dinamik kompaksiyon ve vibrokompaksiyondan maliyeti daha fazladır.⁽¹⁰⁾

2.1.3.2. Jet Grout

Jet grout kolonlarının ülkemizdeki kullanımı 1988 yılında İSKİ Atıksu Derin Tünelleri Projesi ile başlamış olup 1998 yılından itibaren bu kullanım, yüksek kapasiteli ekipmanların devreye girmesiyle birlikte yaygınlaşmıştır. Jet grout yöntemi geçici ve kalıcı zemin iyileştirilmelerinde ve yapı yüklerinin daha derin tabakalara aktarılması amacı ile kullanılır.

Derin temeller, istinat duvarları, batardolar, cut-off duvarlar, şev stabilitesi, zemin ankrajları, tüneller, geniş temel alanlarında zemin iyileştirilmesi, mevcut yapıların restorasyonu ⁽¹⁸⁾, temel takviyesi, sığ kazılarda şevlerin tutulması, kazı tabanından su gelmesinin önlenmesi, şev stabilitesinin iyileştirilmesi, ek bina temeli yapılması, oyulmaya karşı korunma gibi oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir.^(19,20)

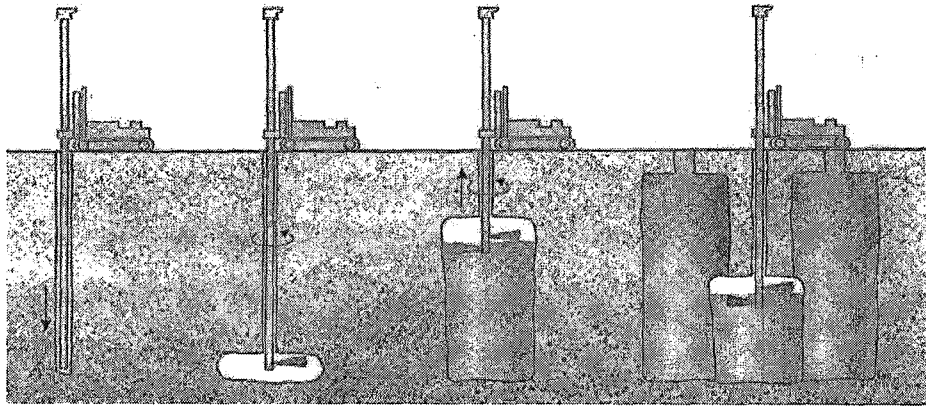
Jet grout gerek uygulandığı zeminlerin kil, şilt, kum, çakıl, alüvyal zemin gibi büyük farklılık göstermesi gerekse kullanılma alanlarının çeşitliliği bakımından son yıllarda oldukça öne çıkan bir zemin iyileştirme yöntemidir.⁽¹⁸⁾

Bu sistem zeminin cinsine, geçirgenliğine, dane boyutunun dağılımına bakılmaksızın her türlü zeminde uygulanabilir. Yumuşak kil ve şiltten, kum ve çakıla birçok zemini bu yöntemle iyileştirmek mümkündür. Jet Grout yönteminin sistem kesiti Şekil 2.11’de görülmektedir.

Yöntemin uygulanmasında iki aşama bulunmaktadır;

1. Delme aşaması: Bu aşamada, Şekil 2.11'de görüldüğü gibi, projenin gerektirdiği kolonun imal edileceği derinliğe kadar delme borusu indirilir. Bunun için borunun dibindeki kesici uç ve boru eksenine dik, bir veya daha fazla "nozzle"a sahip özel bir püskürtme valfindan yararlanılır. Böylece zemin içine ufak çaplı (90 mm-100 mm) bir delik açılır.

2. Püskürtme aşaması: Bu aşamada ise delgi borusu yukarıya doğru çekilirken çimento harcı yüksek bir basınçla püskürtülür. Püskürtmenin etkisini arttırmak ve harcı üniform bir şekilde yaymak için delgi borusu bir yandan da kendi eksenini etrafında döndürülür. Bu püskürtme sonucu zemin aşınır ve yapısı bozularak çimentoyla kolayca karışacak hale gelir. Çimento piriz ini alır ve zemin içinde bir zemin-çimento kolonu oluşur. Püskürtme işlemine zemin yüzüne yaklaşık 20 cm kala son verilir ya da devam ettirilir fakat yüzeye yakın yaklaşık 50 cm sinde zeminin basınçla paralanması sonucunda istenilen zemin çimento karışımı elde edilemediği için bu kısım kırılarak alınır. Gerekliyse üst kısım beton dökülerek düzeltilir.



Şekil 2.11. Jet Grout Sistemi

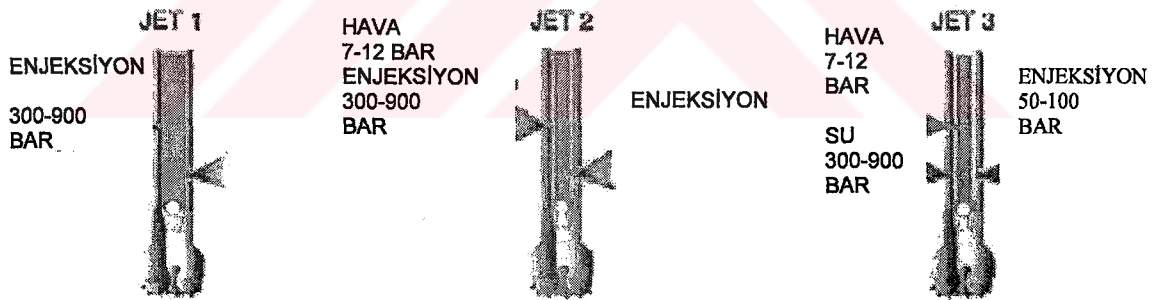
Jet grout üç farklı uygulama tekniğiyle gerçekleştirilebilir. Bu üç teknik şematik olarak Şekil 2.12'de görülmektedir. Bunlar mono jet, çift jet ve üçlü jet olarak adlandırılırlar.^(18,21)

1. Mono Jet (Single Fluid System): Delgi ve enjeksiyon işleminin aynı boru aracılığıyla yapıldığı yöntemdir. Bu sistemde delgi borusunun altındaki bir nozzle'dan basınçlı su verilerek istenilen derinliğe kadar bir delik açılır. Yüksek hızlı su jeti 1-2 mm çaplı bir nozzle'dan yüksek basınçla çıkarken rijit bir cisim gibi davranır ve zemini etkin bir şekilde örseler. İstenilen derinliğe inildikten sonra suyun verildiği nozzle kapatılır. Delgi borusu kendi eksenini etrafında döndürülerek yukarıya doğru yavaş bir şekilde çekilmeye başlanır ve bu arada çapı 1,5-3,5 mm olan nozzle'lardan harç püskürtülür. Bu sistemde kolonlar oluşturulurken zeminin aşındırılmasında sadece basınçlı harçtan yararlanılır. Enjeksiyon basıncı 300-600 bar arasında değişiklik gösterebilir. Oluşan kolon çapları kilden 60-80 cm ve çakılda 60-100 cm'dir. Mono jet, jet grout yöntemleri arasında en basitidir. Diğer iki yöntemle göre daha ucuz ve daha sessizdir. Bu yöntem özellikle tünellerde, yatay veya yataya yakın doğrultularda başarıyla uygulanabilir.

2. Çift jet (Duble Fluid System): Mono jetin hava kılıfıyla takviye edildiği yöntemdir. Eş merkezli iki borudan oluşur. Delme aşaması üç yöntemde de aynıdır. Bu yöntemde kolonlar oluşturulurken zemin basınçlı harç ve basınçlı hava ile aşındırılır. Çift jetin önemli mahsuru basınçlı hava ile aşındırılırken harcın püskürtüldüğü zeminin hava içeriği artar ve zemin-çimento karışımının mukavemeti düşer. Enjeksiyon basıncı mono jetle

aynıdır. Hava basıncı 8-12 bar arasındadır ve bu basınç etkisiyle kolon çapları %60-80 oranında artış gösterir.

3. Üçlü Jet (Triple Fluid System): Bu yöntem çok kohezyonlu zeminler içinde büyük çaplı kolonların üretilmesinde kullanılır. Bu yöntemde kolonlar oluşturulurken zemin aşındırılması basınçlı harç, basınçlı su ve basınçlı hava yolu ile sağlanır. Delme aşaması tamamlandıktan sonra delgi borusu yukarıya doğru çekilirken su jetiyle zemin parçalanır bu arada hava jeti dağıtma işlemini yapar ve borunun daha aşağısında yer alan bir nozzle ile harç püskürtülür. Su basıncı 400-600 bar, hava basıncı 8-12 bar arasındadır. Enjeksiyon basıncı ise diğer iki yönteme göre daha düşük olup 30-80 bar arasındadır. Bu yöntemle 2.0-2.5 m çaplı kolonlar elde edilebilir. Ancak nihai kolon basınç dayanımı diğer iki yöntemle oluşturulan kolonlara göre daha düşüktür.^(19,20)



Şekil 2.12. Jet Grout Püskürtme Sistemleri

Bir kolonun yapımından 2-3 gün geçmeden hemen yanındaki kolonların yapımına başlanmamalıdır. Yüksek basınçlı püskürtme pirizi tamamlanmamış kolonu tahrip edebilir. Bu bakımdan kolonların yapım sırası dikkatle planlanmalıdır.

Uygulamanın başarısını belirleyen değişkenler şunlardır:

1. Zemin/Çimento karışımının kalitesi: Harç karışımı önemli olup su/çimento oranının ağırlıkça 1/1 civarında olması yeterlidir. Bu oranın 0.7'nin altına düşmesi uygun değildir. Kullanılan çimento yeterince ince daneli olmalıdır.

Jet grout kolonundan alınan karot numuneleri üzerinde yapılan deneylerle kolonun birim hacim ağırlığı belirlenir. Pratikte zemin-çimento karışımının birim hacim ağırlığı 16-22 kN/m³ arasında olmalıdır.

Ayrıca enjeksiyon karışımında kullanılacak su, tortu ve yabancı maddelerden arındırılmış tatlı su olmalıdır. Basınçlı enjeksiyon sırasında delici takımın etrafından dışarıya belli miktarda zemin materyalinin taşması uygun görülür. Bu durum su-çimento bileşimi ile karıştırılan zemin içinde aşırı basınç oluşmadığına işaret eder. Aşırı basınç oluşması halinde kolonlarda süreksizlik problemi görülebilir. Bazı zeminlerde harem kuma (bleeding) özelliklerinin düzeltilmesi gerekir. Zeminin gereğinden fazla harca gereksinim gösterdiği bu gibi durumlarda harem içine bentonit veya taş tozu katılır.

2. Yapılmış kolonun bütünlüğü ve boyu: Kolon imalinin üzerinden 28 gün geçtikten sonra alt ucundan yüzeye 0.5 m kalana kadar sürekli bir şekilde karot alınır. Karot alınırken kolonun uzun eksenini boyunca açılan delikler betonlanarak kapatılır.

3. Kolon çapı ve mekanik özelliklerinin bağlı olduğu faktörler: Püskürtülen harç bir yandan zeminin parçalanmasına yol açarken bir yandan da zemin-çimento kolonları oluşturarak zeminin özelliklerini

iyileştirmektedir. Meydana gelen kolonların çapı ve mekanik özellikleri başlıca dört faktöre bağlıdır.

- a- Zeminin cinsi ve özellikleri (dane çapı dağılımı, serbest basınç direnci, su muhtevası, kıvam limitleri)
- b- Harcın bileşimi
- c- Püskürtme basıncı
- d- Nozzle'ların bulunduğu delgi borusunun dönme ve yukarı çekilme hızları

Jet grout kolonları yapılırken kolon çevresinden kolon yarıçapı kadar uzaklıktaki zeminde artan basınç nedeniyle sıkışmalar olur.

4. Kolonun geçirimsizliği: Geçirimsizlik isteniliyorsa püskürtme harcına bentonit eklenir. Daha önce zemin-çimento karışımının kalitesini denetlemek amacıyla açılan karot delikleri su geçirimsizliğini denemek için kullanılabilir. Bu deliklerde sabit seviyeli permeametre deneyi yapılabilir.

5. Zemin/çimento karışımının mukavemeti: Zemin-çimento karışımının mukavemetinin belirlenmesi amacıyla jet-grout kolonlarının imalinden en az 28 gün sonra numune alınıp alınan numuneler üzerinde laboratuarda basınç deneyleri yapılır. Kolonların imal edildiği zemine ve çalışma parametrelerine bağlı olarak mukavemet, alüvyon zeminlerde 60-70 MPa, kumlu zeminlerde 30 MPa, az siltli kum zeminlerde 10 MPa olabilmekte, kil yüzdesi fazla ise 1.5-2.5 MPa olmaktadır. Yüksek plastisiteli killerde çimento miktarını arttırmadan 2-3 MPa değerinin üstüne çıkılamamaktadır.

6. Kolonun taşıma gücü: Jet grout kolonlarından taşıyıcı elemanlar olarak yararlanılması söz konusu ise, bunlar üzerinde yükleme deneyi yapılır. Bu deney test kolonu üzerinde yapılır. İlk dökülen kolon kazılarak ortaya çıkarılır ve boyutları, düşeyliği, zemin-çimento karışımının mukavemeti ve birim hacim ağırlığı belirlenir. Jet-grout kolonlarında düşeyden sapma 1/75'den fazla olmamalıdır.

Jet grout işleminde uygulama parametreleri şunlardır:

1. Enjeksiyon basıncı
2. Nozzle sayısı ve çapı
3. Delgi borusunun dönüş hızı
4. Delgi borusunun yukarı çekilme hızı

Bu parametreler uygun hesaplamalar sonunda sabitlenerek oluşturulan kolon çaplarının aynı kalması sağlanır. Jet grout sisteminin parametreleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Aşağıdaki hususlara bağlı olarak bu parametreler değişebilir.⁽¹⁸⁾

- Zemin şartları (zemin cinsi, granülometresi, sıklığı, SPT'si, Atterberg limitleri, su muhtevası)
- İstenilen kolon çapı
- İstenilen zemin taşıma gücü
- Uygulanan jet grout tekniği

Çizelge 2.1. Jet Grout Parametreleri

JET-GROUT PARAMETRELERİ	Tek Akışkanlı		Çift Akışkanlı		Üç Akışkanlı	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Jet-grout şerbeti enjeksiyon basıncı (kg/cm ²)	200	600	300	600	30	70
Jet-grout şerbeti akış hızı (litre/dk)	40	120	70	150	70	150
Hava basıncı (kg/cm ²)	-	-	6	12	6	12
Hava akış hızı (litre/dk)	-	-	2000	6000	2000	6000
Su enjeksiyon basıncı (kg/cm ²)	-	-	-	-	200	500
Su akış hızı (litre/dk)	-	-	-	-	70	150
Şerbet için nozzle çapı (mm)	1.5	3.0	1.5	3.0	4.0	8.0
Su için nozzle çapı (mm)	-	-	-	-	1.5	3.0
Rotasyon hızı (rotasyon/dk)	10	25	5	10	5	10
Geri çekilme hızı (cm/dk)	10	50	7	30	5	30

Özel bir pompayla oluşturulan işletme basıncı, ihtiyaca göre 1-800 atm arasında değişebilir. Bu basınç nozzle çıkışında kinetik enerjiye dönüşür. Böylece nozzle vasıtasıyla enjekte edilen karışım, basıncı sıfıra kadar azalan yüksek hızlı sıvı projeksiyonu haline gelir.⁽¹⁸⁾

Belirli bir bölüme ait enjeksiyon zamanı delgi borusunun dönüş ve yukarı çekilme hızlarına bağlı olup otomatik olarak kontrol edilir. 65-70 cm çapındaki jet grout kolonunun 1 m si yaklaşık 45 sn de tamamlanır.

İşletmenin ortalama randımanı ,zemin cinsine göre önemli oranda değişebilecek olan sondaj sürelerine bağlıdır ve enjeksiyon zamanları planlama ihtiyaçlarına uyacak şekilde ayarlanır.

Eğer karışımlar pompalanabilir viskozite sınırları içindeyse enjekte edilebilirler. Basit bir arazi deneyi ile bunu tespit etmek mümkündür. Enjeksiyon karışımının 1 litresi Marsh hunisinden 35-40 sn içerisinde akıyor ise karışım pompalanabilir. Enjeksiyon karışımı çimento, bentonit, bitüm veya reçine tipinde olabilirler. Belirli ölçülerde değişmekle birlikte, çok kısa olan donma süreleri proje ihtiyaçlarına göre ayarlanabilmektedir.⁽¹⁸⁾

Jet-grout yapımında, jet grout yapımı için uyarlanmış bir sondaj makinası, basınçlı püskürtme için gerekli bir çimento pompası, çimento silosu, su deposu ve mikserden oluşan bir düzenek kullanılır.

Avantajları şunlardır:

1. Mevcut yapıların stabilitesi için zararlı yan etkilerinin olmayışı: Yüksek enerjili püskürtme harcı, komşu yapıların stabilitesi üzerinde olumsuz sonuçlara yol açan zemin seviyesindeki gerilmelere sebebiyet vermeksizin yalnızca etki yarıçapı (R_a) içerisindeki zeminin karışımını sağlar.

2. Bir su yatağı altında uygulanması: Jet grout uygulamasında su mevcudiyeti hiçbir problem yaratmaz ve birkaç dakika içinde donmaya imkan veren katkı maddelerinin kullanılması suretiyle sızıntı durumlarında bile bu yöntem yürütülebilir.

3. Geometrik çeşitlilik: Enjeksiyon parametrelerine uygun olarak hareket etmek suretiyle ince ayırma plakaları, çeşitli çaplarda düşey ve yatay silindirler ve genel olarak her türlü geometrik şekil elde edilebilir. Her türlü zemin şartında uygulanabilir. Önceden belirlenecek geometrik ölçüler

çerçevesinde uygulanacağından malzeme sarfiyatının yaklaşık olarak önceden hesaplanabilir.

4. Genelde çimento-su karışımı kullanıldığı için kimyasal enjeksiyon gibi çevre kirliliği yaratmaz. Dar sahalarda enjeksiyon işinin başarıyla gerçekleştirilebilir.⁽²¹⁾

5. Kullanılan parametrelerin çeşitliliği sayesinde zeminin boşluk suyu basıncını değişmez. Zemin iyileştirme derecesi yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Titreşim ve gürültü minimumdur. Permeabilite kontrol edilebilir. Mevcut yapının altından temel altına iyileştirme yapılabilir. Servis borularına (su, doğalgaz, elektrik, vs.) zarar vermeden çalışma imkanına sahiptir. Alternatif yöntemlere göre daha hızlı gerçekleştirilebilir.

6. Teoride 100 m ye kadar uygulanabildiği belirtilmektedir. Ülkemizde en fazla 34 m derinliğe kadar uygulanmıştır.⁽¹⁸⁾

65-70 cm çapındaki jet grout kolonunun 1 m'sinin yaklaşık maliyeti 15 dolardır.⁽¹⁸⁾

2.1.3.3. Patlatma

Kohezyonsuz zeminlerin kompaksiyonunda, birim ağırlık artarken aynı zamanda, kayma mukavemeti de artar. Kohezyonsuz zeminlerde, kompaksiyon sonucunda, zeminin sıkılık derecesi artmaktadır. Bu nedenle, granüle zeminler, kompaksiyon sonucunda, daha yüksek taşıma gücüne sahip olurlar. Granüle zeminler üzerinde yapılan pek çok kompaksiyon

deneyi, rölatif sıklık Dr'nin artması ile birlikte kayma mukavemeti açısının da arttığını göstermiştir.⁽¹⁶⁾

Zeminin sıklık derecesi arttıkça aynı zemine ait oturmalar da belirgin olarak azalmaktadır. Yurdumuzda kullanılmayan bu yöntem ile kohezyonsuz gevşek zeminler, boşlukları azaltılarak sıkıştırılmaktadır. Ana prensip, zemin içinde patlatma yaparak, kayma (S) ve diğer dalgaları (P)  retmek ve zemini sıkıştırmaktır.

Birbirini izleyen küçük patlamalar, bu yöntemin en önemli kısmını oluşturur. Bu yöntemde 20-25 m'de, % 70-80 sıklık değerine ulaşılır. Bu yöntemle genellikle % 60 dinamit, % 30 jelatin dinamit ve ammonit kullanılır.⁽¹⁶⁾

Patlatıcının konulacağı alan 3 ile 8 m arası değişmektedir. Arzu edilen sıklıkça ulaşmak için, patlatıcılar birkaç farklı alana yerleştirilir. Defalarca yenilenen denemelerde; aralıklı küçük patlamaların, aynı anda gerçekleştirilen tek patlamadan, sıkılaşma açısından daha etki olduğu görülmüştür. Patlatmadan dolayı şok dalgaları zeminde sıvılaşmaya sebep olur.

Hemen hemen patlatma yapılan zeminin, 1 m'lik üst kısımda sıkışma meydana gelmez. Bundan dolayı, zemindeki sıkışmayı sağlamak için silindirler kullanılır.

Bu yöntem, suya doygun zeminler için uygundur. Patlatma, zeminde sıvılaşmaya yol açar. Zeminin gevşek yapısı g  erek, boşluk su basınçlarının da düşmesiyle, zemin sıkılaşır. Bu olay esnasında ise, su ve gaz çıkışı görülür. Ayrıca, yüzeyde kum kaymaları da görülmektedir.

Patlatma yönteminde, istenilen derinliğe çeşitli yöntemlerle boru yerleştirilir. Bu yöntemlere vibrasyon, jet v.b örnekler verilebilir. Patlayıcı boru içine yerleştirir. Ve daha sonra, boru geri çekilerek delik doldurulur.

Patlayıcı olarak dinamit, TNT, ammonit kullanılabilir. Patlayıcılar planlanan şekilde patlatılır. Gevşek zeminlerde, daha az patlayıcı kullanılmaktadır.⁽¹⁶⁾

İyileştirilecek zeminin dane çapı bakımından durumu, vibrokompaksiyon kriterindekinin aynıdır. Uygulama derinliği, bazı baraj vadilerinde 70-100 metreye kadar yapılmıştır.

Patlatma tasarımında, üç boyutlu tesir küreleri göz önüne alınarak, üç boyutlu patlayıcı ara mesafeleri hesaplanır. En üst sıra patlayıcılar etkili yarıçaptan (zemin yüzeyinden) daha derine yerleştirilmezse, zemin yüzeyinde krater oluşur ki ;bu da istenmeyen bir sonuçtur.⁽¹⁶⁾

Zeminin, tabii ortalama izafi sıklığma göre, sıkıştırma ve oturmalar fark göstermektedir. Patlatma projelerinde, düşey birim boy kısalması % 2 ile %10 arasında değişmektedir. Tekrarlı ve gecikmeli patlatmalar (1-5 saniye), tek bir büyük veya çok sayıda aynı anda patlamadan daha tesirli olmaktadır. Doygun olmayan katmanların, önce doyurulması gerekmektedir. Löss zeminlerde, bu yöntem başarılı şekilde kullanılabilir.⁽¹⁶⁾

Maliyet yönünden, diğer gördüğümüz yöntemlerden daha ekonomiktir. Fakat, uygulamasının doğru yapılması gerekir. Verilerin çok iyi bir şekilde, hesaplamalarla birlikte kullanılması gerekir.⁽¹⁶⁾

2.1.3.4. Kimyasal Enjeksiyon

Enjeksiyon, zemin ya da kaya formasyona enjekte edilen materyalin, formasyonun fiziksel özelliklerini değiştirmesi işlemidir.

Kimyasal enjeksiyon ise, partikül içermeyen enjeksiyon malzemesinin zeminin içerisindeki akışkanlarla yer değiştirmesi olarak tanımlanır.

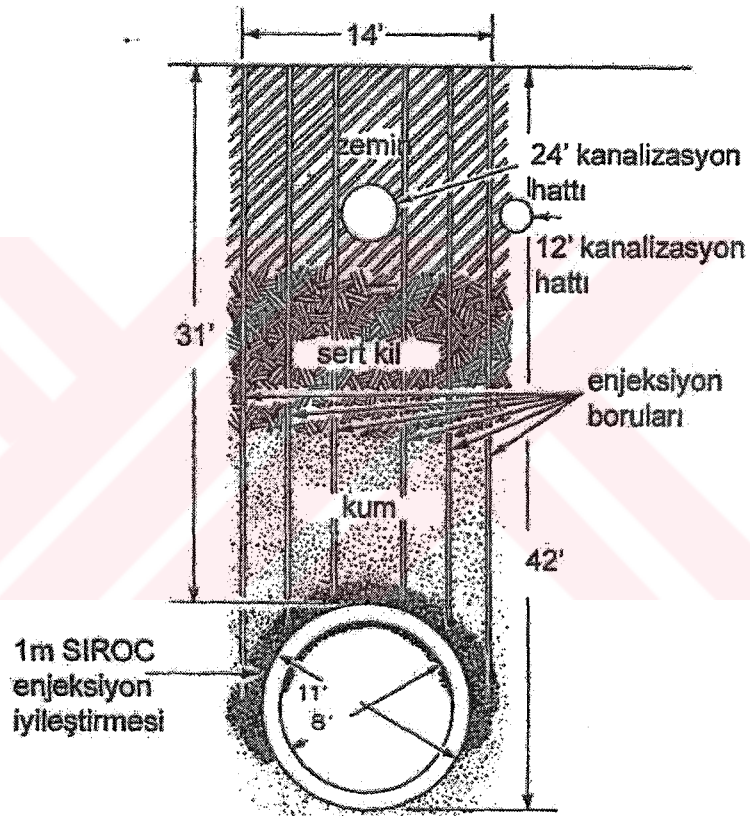
Ayrıca, kimyasal enjeksiyon, su gibi davranan fakat belirli bir zaman sonra, katı, yarı katı veya jel biçiminde tepki veren kimyasal reaktif çözeltinin enjeksiyon edilme işlemi olarak da tanımlanmaktadır.

Cheveland, Ohio'da mevcut iki bina arasına yeni bir yapı tasarlanmış ve bu kapsamda kuru ve gevşek kum olan temel zemininden 3.5 m'ye kadar kazı yapılması gerekmiştir. Binaların altındaki zeminin kazı sırasında hareket etmemesi için zemin iyileştirilmesi planlanmıştır. Başka bir ifadeyle kazı nedeniyle yapı temellerinin oturması önlenmesi ve kumlu zemini yerinde tutmak amaçlanmıştır. Kumlu zeminlerin iyileştirilmesi Şekil 2.13'de şematik olarak gösterilmiştir.

Kimyasal enjeksiyonun amaçları aşağıdaki gibidir:

- Sızıntıyı kontrol etmek amacıyla, formasyonları geçirimsiz hale getirmek
- Zeminin mukavemetini arttırmak ve deforme olabilirliği azaltmak
- Zeminin erozyon tehlikesini önlemek
- Zeminin sıvılaşma riskini ortadan kaldırmak

- Homojen yapıdaki ayrı yapı elemanlarını bağlamak, kemer barajlarda olduğu gibi
- Tarihi ve yığma yapıların rehabilitasyonu ve güçlendirilmesi
- Kaya ve tünel astarı arasındaki boşlukları doldurmak
- Öngerme ve betonarme yapıların güçlendirme tablolarını sabitlemek, vs. amaçları için kimyasal enjeksiyon yapılır.



Şekil 2.13. Kumlu Zeminin İyileştirmesi ⁽²²⁾

Birleşimlerine göre 3 temel enjeksiyon türü vardır:

- Süspansiyonlar: Sıvı ortamda, küçük katı parçacıklar dağılmıştır.

- Emülsiyonlar: Dağılmış fazda küçük sıvı damlacıklardan oluşur.

Örnek:bitüm ve sudur.

- Solüsyonlar: İki veya daha çok sıvı homojen moleküllerin karışımından oluşur. Örnek, sodyum silikat.⁽¹⁶⁾

İyi bir kimyasal enjeksiyon maddesinde bulunması gereken özellikler aşağıdaki gibidir:

1. Suda çözülebilen bir madde olmalıdır, çünkü maliyeti en düşük olan çözücü sudur.
2. Zehirsiz olmalı, yeraltı sularına karışarak çevre sağlığını tehdit etmemelidir.
3. Pompalama süresi boyunca pompalama özelliklerinin değişmemesi için jelleşme zamanına kadar özkütlesi ve viskozitesi değişmemelidir. Jelleşme süresine ulaşıldığında ani katılaşma olmalıdır.
4. Zeminde bulunan doğal kimyasal maddelerden ve minerallerden etkilenmemeli, özelliklerini kaybetmemelidir.
5. Kolay bulunan ve maliyeti yüksek olmayan bir madde olmalıdır.
6. Zeminin özelliklerine uygun olmalı, zemine istenilen geçirimsizliği, taşıma gücünü sağlayacak nitelikte olmalıdır.
7. Jelleşme süresi kontrol edilebilir olmalıdır.
8. Enjeksiyon sırasında pompaya ve borulara zarar vermeyen, korozyona sebep olmayan bir madde olmalıdır.

9. Parlayıcı, patlayıcı olmamalı, depoda saklama koşullarına uygun olmalıdır.⁽¹⁶⁾

Zemin formasyonunu, enjeksiyon olabilme yeteneğine sahip olmalıdır. Enjeksiyon olabilirlik özelliğine "groutability" denir. Enjeksiyon olabilirlik özelliği aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

1. Dane Dağılımı: Zeminin sınıflandırması, sondaj kuyularından alınan örneklerin laboratuvar ortamında elek analizi ve hidrometre deneyleri sonucunda USCS'e (Unified Soil Classification System) göre yapılır.

2. Boşluk Oranı ve Porozite

3. Yoğunluk ve Rölatif Sıkılık

4. Permeabilite: Suyun bir boru ya da tünelden akması, hızına göre, laminar veya türbülanslı olarak isimlendirilir. Belirli bir limit hızdan önce suyun akışı daima laminardır. Bunun için, Reynolds sayısı tanımlanmıştır.

Penetrasyonu etkileyen faktörler mutlak olarak göz önüne alınmalıdır. Herhangi bir ortama enjekte edilecek enjeksiyonun penetrasyonu, enjekte edilecek ortamın ve enjeksiyonda kullanılacak tekniğin bir fonksiyonudur. Genellikle, hızlı jelleşen enjeksiyonlar kısıtlı iyileştirme sunarlar. Birbirlerine yakın enjeksiyon delikleri ve hızlı enjeksiyon oranlarına gereksinim duyarlar.

Kimyasal enjeksiyonun iki özelliği süreklilik ve penetre olabilirlik olarak tanımlanır. Kimyasal enjeksiyonlar, çimento enjeksiyonlarına göre sınırlı bir mukavemet iyileştirmesi sağlarlar. Buna rağmen pratik amaçlarla, zemin formasyonunun mukavemetinin kimyasal enjeksiyonlarla iyileştirmesi önemli bir yer kaplamaktadır. Zemin boşluklarındaki akışkanlarla yer

değiştiren enjeksiyon malzemesi, zemin danelerinin arasındaki rölatif hareketi engeller. Böylece zemin ortamının kayma dayanımı arttırmış olur.

Enjeksiyonla iyileştirilmiş zemin ortamının en önemli mukavemet faktörü, zemin suya doygun iken ölçülen kayma gerilmesidir. Birçok literatürde kuru haldeki mukavemet özellikleri göz önüne alınmaktadır. Bu durum olası hataları peşinde getirmektedir. Zeminden su yok olduğunda zemin büzölür. Zemin daneleri ile enjeksiyon arasındaki büzölme kapiler çekme kuvvetlerinin artmasına neden olur.

Viskozite akışkanın bir özelliğidir. Akışa ya da içsel sürtünme kuvvetlerine karşı koyma yetisi olarak tanımlanır. Genel ölçme birimi centipoise'dır (cP). Viskozite enjeksiyonun zeminin boşluklarına girmesini belirleyen önemli faktördür. Ayrıca enjeksiyon akışabilirliği hidrolik iletkenlik (permeabilite) ile de ilgilidir.⁽¹⁶⁾

Enjeksiyon malzemesinin ilk karıştırılması ile jel formunu almasına kadar geçen süreye denir. Pompalanabilirliğe göre, jelleşme süresinin kontrolü önemlidir. Jelleşme süresi, enjeksiyonu oluşturan, aktivatör, inhibitör ve katalizörün değişen oranlarının bir fonksiyonudur. Jelleşmeden sonra kimyasal enjeksiyon mukavemet kazanmaya devam eder. İstenilen özelliklere ulaşılıncaya kadar geçen süreye iyileşme zamanı (cure time) denir.

Bazı enjeksiyonlar sıcaklıktaki değişime, yeraltı suyu tarafından sulandırılmaya, pH değerini belirten yeraltı suyunun kimyasına ve pompalama sistemindeki çözünmemiş katılara duyarlıdır. Bu faktörler jelleşme süresini etkiler. Zehirli enjeksiyonların uygulama için zorunlu olarak sečilmesi durumunda, üreticinin direktifleri uygulanmalıdır. Planlama sırasında zehirli

enjeksiyonlar seçilecek ise, çevresel açıdan yaratacağı problemler göz önüne alınmalıdır.

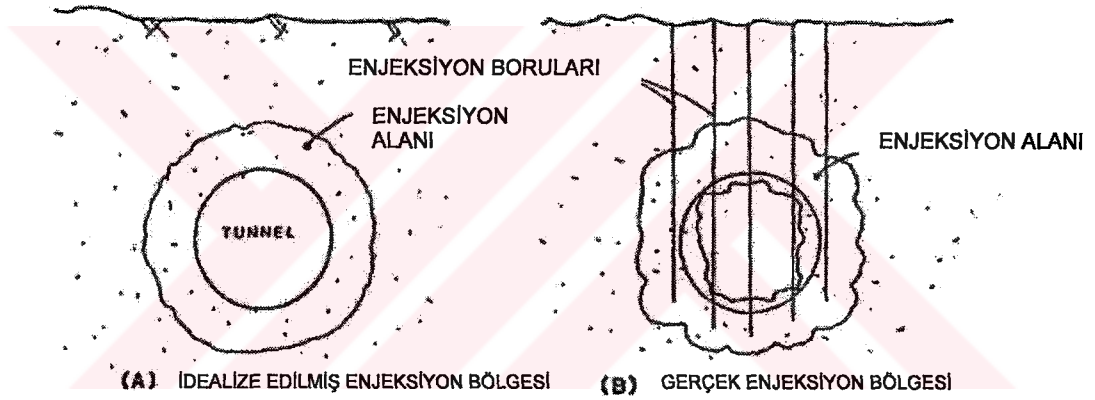
Enjeksiyon pompalandıktan sonra kötü koşullara karşı koyabilme yeteneği olarak tanımlanır. Bu kötü koşullar, ıslanma, kuruma, donma ve çözülmenin mevsimsel ve hava ya da yeraltı suyu şartlarındaki değişimlerinden oluşan devinimsel etkilerdir. Zeminde bazı kimyasal enjeksiyonların özellikleri yitirmesine neden olabilirler. Enjeksiyon boru yerleşim planları Şekil 2.15'de gösterilmiştir.

Kimyasal enjeksiyonların viskoziteleri oldukça düşüktür. Katı parçalar içermezler. Bu sebeple zemin içerisindeki küçük boşluklara enjekte olabilirler. Kimyasal enjeksiyonlar su hareketini kontrol etmede ve diğer iyileştirme yöntemlerine uygun olmayan zeminin mukavemetinin artırılmasını da sağlarlar. Temellerde, tünellerde, hendeklerde, maden ocaklarında, metrolarda ve kazılarda taşıma gücünün artırılmasında kullanılırlar. Metro tünelleri için uygulama türleri Şekil 2.14'de gösterilmiştir. Ayrıca barajların su geçirimsizliğini sağlama amacıyla diğer yöntemler kombine olarak da kullanılmaktadır.⁽¹⁶⁾

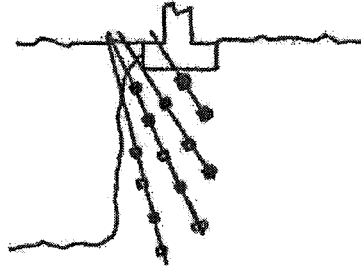
Kimyasal enjeksiyon, partikül enjeksiyonuna göre daha pahalıdır. Büyük boşluklar içeren formasyonlarda çimento enjeksiyonu uygulanır ve gerekirse bu işlemten sonra kimyasal enjeksiyon uygulanır. Killer üzerinde kimyasal enjeksiyonla iyileştirme sağlanamamaktadır. Bazı alanlarda potansiyel zehirsiz etkileri yüzünden kullanımı yasaklanmıştır. Yeraltı suyunun kirlenmesine neden olan türleri vardır.

Enjeksiyon işlemini etkileyen faktörlerin başlıcaları:

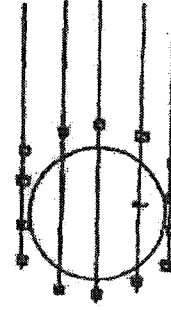
1. Enjeksiyon yapılacak ortamın fiziksel özellikleri
2. Sıcaklık
3. Enjeksiyonun fiziksel ve kimyasal özellikleri
4. Kimyasal enjeksiyonun çevre ile, fiziksel, kimyasal ve biyolojik uyumu
5. Enjeksiyon deliğinin boyutu ve aralığı
6. Sondaj yöntemi ve sondaj deliğinin temizlenmesi



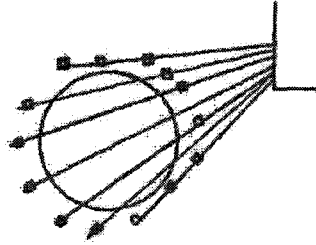
Şekil 2.14. Metro Tünelleri için Uygulama Türleri



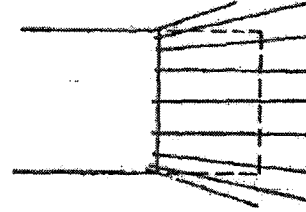
(A) TEMEL ALTI YELPAZE
ŞEKLİNDEKİ YERLEŞİM



(B) YÜZEYDEN PARALEL
YERLEŞİM



(C) HAFRIYAT ÇUKURUNDAN
YELPAZE ŞEKLİNDEKİ YERLEŞİM



(D) ARDIŞIK BAŞLIKLARDAN
YELPAZE ŞEKLİNDEKİ YERLEŞİM

Şekil 2.15. Enjeksiyon Boru Yerleşim Planları

Sistemin rölatif maliyet durumu çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Rölatif maliyet olarak:

Çizelge 2.2. Rölatif Maliyet ⁽²⁶⁾

İyileştirici Yöntem	Uygun Zemin Türü	Uygulama Türü	Özel Avantajları	Özel Dezavantajları	Yaklaşık fiyat (\$/m ³)
Bitüm	Kohezyonsuz zeminler	Spreyleme; karışım	Kullanılabilirlik	Neme karşı hassasiyet	4.5
Çimento	Herhangi bir zemin	Karışım	-	Hızlı katılaşma (2 saat)	2.5
Elektro-katılaştırma	Doymuş killer	Elektrod kuyuları	Yeraltı suyu altında çalışır	Doğru kontrol gerekli	0.5
Dondurma	Herhangi bir zemin	Sondaj deliği	Güvenlik	Tuzlu yeraltı suyu	100
Enjeksiyonlar	Bentonit Bitüm Çimento	Çakıllar Kumlar	Sondaj deliği ile enjeksiyon	- - - dayanıklı değil iri daneli zeminler	25
	Krom-lignin Silikatlar TACSS Akrilamit	Kumlar Siltler	Sondaj deliği ile enjeksiyon	- - Su ile temasta çalışır	70 120 60 120
	Kireç	Killer	Karıştırma	Erken katılaşma yok	- 2
	Kireç kazıklar	Doymuş siltler	Titreşimli kazıklar	Yeraltı suyu altında çalışır	- 3.5

2.1.3.5. Dondurma

Özellikle yeraltı su seviyesinin altındaki zeminlerde, tünel ve kazı inşaatlarında, zemin duraybilitesinin artırılması ve yeraltı su akımının kontrolünde kullanılan çok etkili bir tekniktir. Y.A.S.S. altındaki tüm zeminlerde, kil zeminler hariç, kullanılır.

Zemine 1,2-2 m aralıklarla batırılan dondurma boruları yardımıyla CO₂, CaCl₂, MgCl₂, veya sıvı nitrojen (NL₂) pompalanmasıdır. Sistem üç şekilde gerçekleştirilir.

1. Açık Methot
2. Kapalı Methot
3. Birleşik Methot

Tekniğin uygulanabilmesi için su içeriğinin %10'dan fazla olması gerekmektedir. %9 civarında bir genleşme söz konusu olur. Komşu yapılara zarar vermesi engellenmelidir. Tekniğin bağlı olduğu faktörler:

1. Zemin türü ve formasyonu
2. Zeminin mineral yapısı, sertlik derecesi, termal özellikleri
3. Zeminin su içeriği
4. Yer altı akım hızı ve sıcaklığı
5. Dondurma sıcaklığı ve oranı ⁽¹⁾

2.1.4. Donatılandırma

2.1.4.1. Geosentetikler

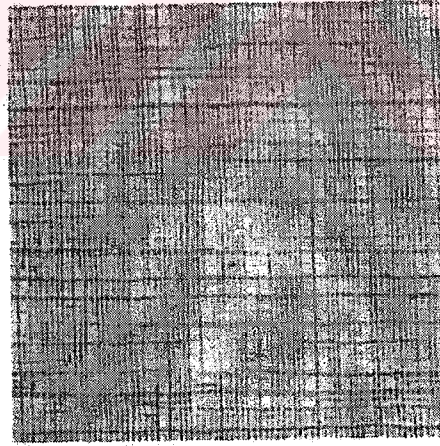
Geotekstil (geosentetik), sentetik hammaddelerden üretilen geçirimli dokuma ve geçirimsiz membran tipi tekstil ürünleri ile bu tanımın dışında kalan ve benzer sentetik hammaddelerden üretilen ağ, ızgara, tabaka, şerit hücre v.s. diğer ürünlere verilen genel isimdir. Bütün sentetik ürünleri kapsadığından "geosentetik" kelimesi de kullanılabilir.

Geotekstillerin hammaddeleri olan polimerler, poliolefin, poliester, poliamid ve PVC olarak farklı karakterde malzemelerden oluşmaktadır. Bunların elastisite modülü, sünme gibi çok sayıda özellikleri değişiklikler

gösterir. Kullanımları hızla artan geotekstillerin belli standartlarla üretimi amacıyla deney aletleri ve prosedürleri geliştirilmiştir.⁽²⁴⁾

Geotekstil, zemin ve kaya ortamlarında kullanılan geçirgen tekstil ürünü olup, sentetik yapılı ürünlerin tümü veya sistemidir. geotekstil yapımında pek çok hammadde kullanılır. Bunların başlıcaları alifatik poliamid (naylon-PA), polipropilen, polietilen-polyester, cam-mineral veya karbon fiberleri, çelik çubuk ve kompozit malzemelerdir.

Örgülü (Woven) geotekstil, en az iki kümeli yassı yapılı bir üründür. İplikler genelde doğru ve birbirine paralel olarak sıralanır. Bu ürünlerin dokunmasında pek çok teknik kullanılabilir. Dokuma biçimi ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilediğinden, özel uygulamalar yapılabilir. Örgülü geotekstil Şekil 2.16'da görülmektedir.



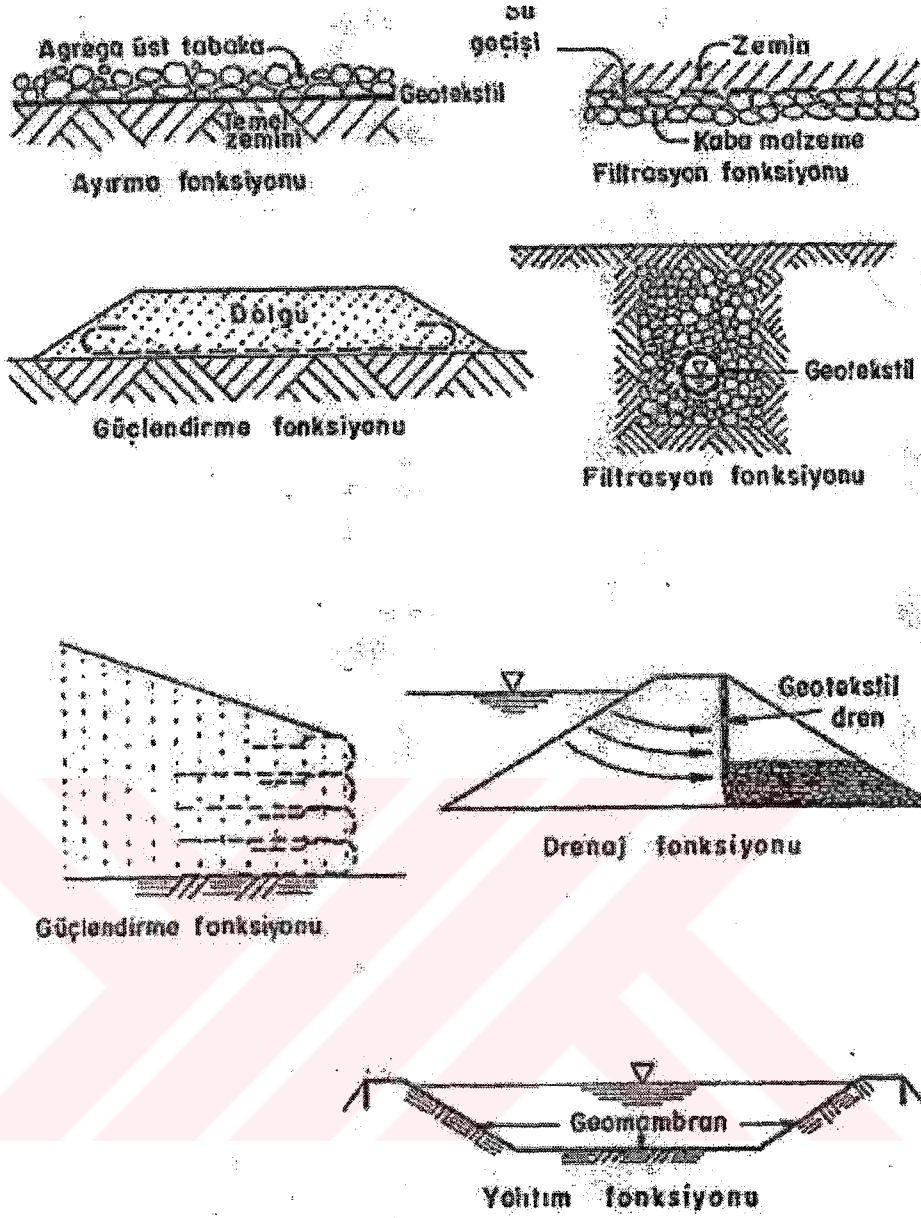
Şekil 2.16. Örgülü Geotekstil ⁽²⁵⁾

Örgüsüz (Nonvoven) geotekstil, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilirler. Ürünün yapıldığı iplik tipi önemli rol oynar. Bunlar; tek filamentli, şeritli, lifli vb. olarak ayrılabilir. Mühendislik fonksiyonu esas

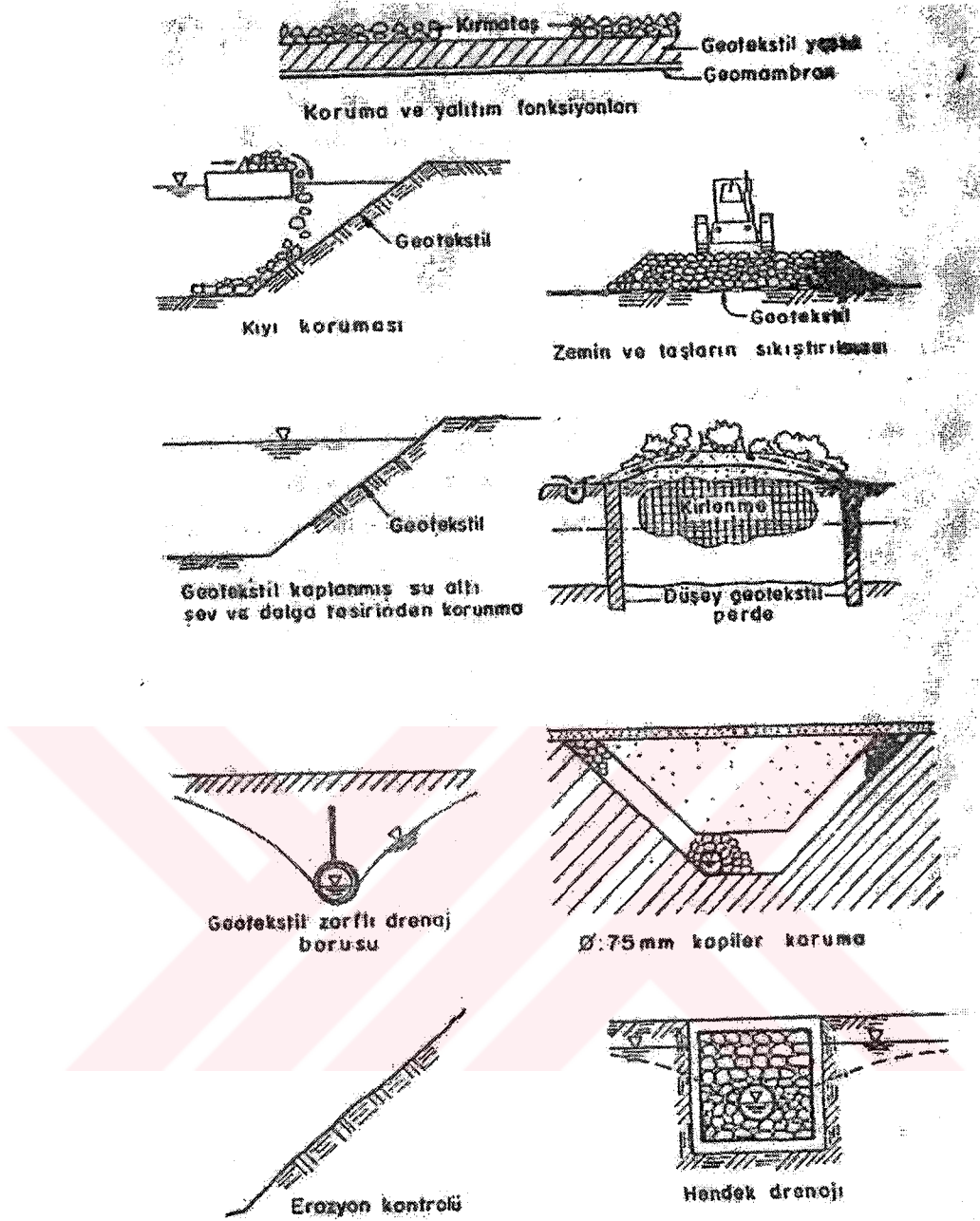
alındığında; filtrasyon, drenaj, güçlendirme, ve/veya koruma olarak da ayrılabilir.

Özellikle drenaj ve filtre uygulamalarında hidrolik özellikler çok önemlidir. Bunlardan en önemlisi de geçirimsizliktir. Suyu geçirme geotekstil düzlemine dik (permittivity) ve su iletme yeteneği (transmissivity) olarak ayrılabilir.

Özellikle mekanik ve kimyasal dayanıklılığa sahip olma, yerleştirme kolaylığı ve maliyet gibi avantajlara sahiptir. Geotekstilinin, en önemli ve temel uygulamada dört temel fonksiyonu vardır: Drenaj, filtrasyon, ayırma ve takviye (güçlendirme). Yol yapımında geotekstilin ana fonksiyonu ayırmadır. Ana malzeme (agrega) tabakalarını kil girişiminden (penetrasyon) dan korur. Trafik yükü altında eğim yeterli ise. suyun drenajına yardımcı olur. Hidrolik yapılarda genelde filtrasyon ana fonksiyon iken. ayırma ikincildir. Düşey drenlerde drenaj temel, filtrasyon ikincildir. Geomembranların genel kullanım alanları Şekil 2.17’de görülmektedir. Geomembranların özelliği belirli ayırma yüzeyleri oluşturmastır.⁽²⁴⁾

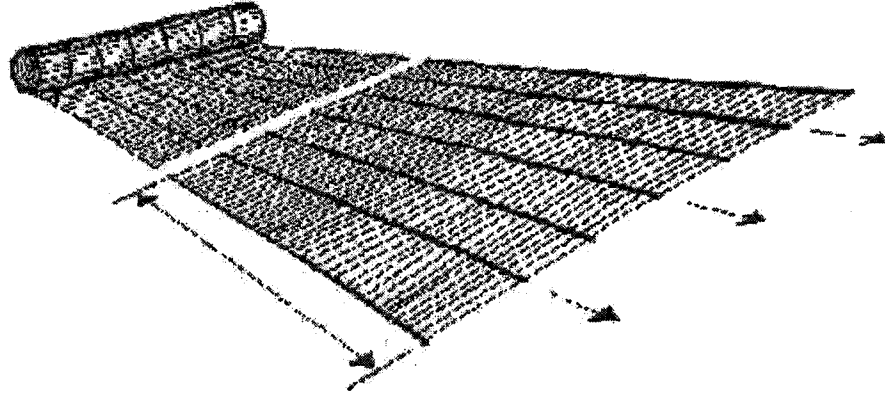


Şekil 2.17. Geomembranların Genel Kullanım Alanları ⁽²⁴⁾



Şekil 2.18. Geotekstillerin Genel Kullanım Alanları ⁽²⁴⁾

Geogridler, geosentetikler arasında kullanımı giderek artan bir türdür. Tekstil türü bir yapıdan ziyade; plastik malzemeler olup, grid oluşturacak şekilde dizayn edilirler. ASTM D-35 e göre tanım ise; düzenli olarak imal edilen çekme dayanımına sahip ve kendini çevreleyen zayıf kaya, zemin kütlesine destek olabilecek malzemedir.



Şekil 2.19. Geotekstillerin Uygulanması ⁽²⁴⁾

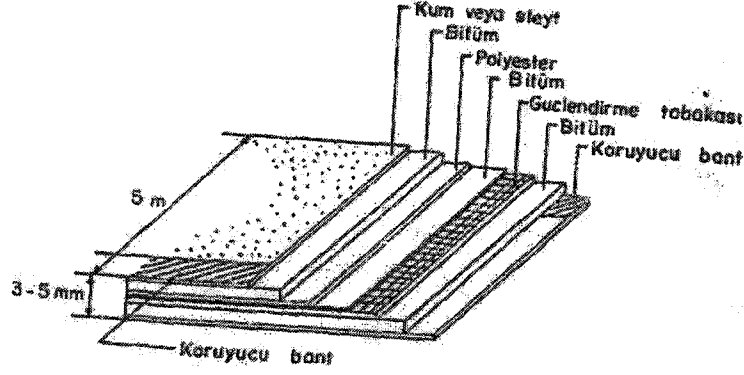
Bir çok teknik kullanılmaktadır. Özellikle de kullanılan polimer etkin rol oynamaktadır. En yaygın olarak kullanılan iki teknik vardır. İlk olarak geogrid, geomembran olarak imal edilir (üniform boşluk dağılımı) ve daha sonra boyuna ve çapraz olarak uzatılır. Geotekstillerin kullanım alanları Şekil 2.18’de görülmektedir.

Diğerlerinin aksine, geogridler temel olarak güçlendirme için kullanılırlar. Özellikle geniş apertür aralıkları filtrasyona uygun değildir. Geotekstillerin uygulanış şekilleri Şekil 2.19’da görülmektedir. Dayanıma katkı için kullanılmaları ise özellikle çekme dayanımlarının yüksek oluşundan kaynaklanır. Genel olarak uygulama alanları aşağıda verilmiştir:

1. Yollarda agreganın altında
2. Dolgu ve kalıcı inşaat alanlarının altında
3. Embankman ve toprak barajların güçlendirilmesinde
4. Şevlerde, heyelan önlenmesinde
5. İstinad duvarlarında destek yapısı olarak

6. Erozyon kontrol yapılarında destek yapısı olarak
7. Baraj abatmanlarında destek yapısı olarak
8. Yumuşak zemin üzerindeki dolgularda
9. İstinad duvarı yüzey panelinde
10. Yollarda asfaltı güçlendirmede
11. Çimento ve beton güçlendirmede
12. Eklemlili kaya kütlelerinde
13. Geotekstil ve geomembranlarda ara malzeme
14. Dolgularda yatay ve düşey genleşmeyi sağlamada
15. Sızıntı, süzölme kontrolünde

Geomembran, geçirimsiz (daha doğrusu geçirimsiz kabul edilen) geosentetiklere verilen isimdir. Sentetik (termoplastik) veya bitümlü ürünlerden yapılır. En çok kullanılan malzemeler: polietilen (HDPE, LDPE), PVC ve etilen kopolimer bitumdur (ECB). Geomembran üretiminde genelde üç ayrı teknik uygulanır. Güçlendirilmemiş membranlar; Şekil 2.20'de görüleceği gibi, polimerlerden ve kalıptan çekilerek elde edilir. Güçlendirilmiş olanlar ise sentetik ürünler veya bitümlü polimer karışımları ile kaplanır veya emdirilir. Güçlendirilmiş-lamine edilmiş geomembranlarda ise genelde sentetik ürünler ve membran birleştirilir. Güçlendirilmiş bitümlü membranlar her biri kendine has fonksiyona sahip farklı elementlerden yapılır.



Şekil 2.20. Bitümlü Güçlendirilmiş Membran ⁽²⁶⁾

- a. Yerleştirilirken çekme kuvvetlerine dayanabilmek, inşaat süresince küçük kazılardan zarar görmemek ve üstüne gelen yük altında deforme olmamak için yeterli çekme dayanımına sahip olmalıdır.
- b. Temas halinde olduğu su veya diğer sıvılardan kimyasal olarak etkilenmemelidir.
- c. Önceden tahmin edilebilir bir hizmet süresi olmalıdır. Yani, öngörülen sürede dayanımdaki kayıp, oksidasyon, plastiklik kaybı gibi nedenlerle kırılmalı olmamalıdır.
- d. Olabildiğince uzun ve geniş rulolar kullanılmalı, eğer ek yapılacaksa da ek yerleri sağlam kaynaklanmalıdır.

Geosentetikler, kullanıldıkları yer ve amaca göre maliyet açısından farklılıklar gösterebilmektedir. Diğer yöntemlere göre uygulama kolaylığına sahip olup, özellikle karayollarında sıklıkla kullanılmaktadır.⁽²⁷⁾

Çizelge 2.3. Geosentetiklerin Rölatif Maliyetleri

Yöntem	Toplam Maliyet (£)	İşin süresi (gün)
Gabion duvar	8360	18
Granüler malzeme	5020	5
Ankrajlı duvar	4760	8
Kireç stabilizasyonu	4730	7
Geotekstil	3430	6

Michigan' da bir yol yarmasında beton istinad duvarı yerine geogrid kullanılması düşünülmüş ve maliyet hesaplandığında, 30 feet yükseklikli duvar 21.000 \$ iken, geogridle bu proje 17.000 USD' ye mal edilmiştir.⁽²⁴⁾

Çizelge 2.3'de geosentetikler ile diğer iyileştirme sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

2.1.4.2. Zemin Çivilemesi

Zemin çivilemesi, çelik çubukların 20-30 mm zemin merkezine doğru ön germe sistemiyle tutturularak zeminin stabil hale gelmesini sağlama işlemidir. Çelik çubukların korozyon etkisine karşı incelmesi, fiber-glass zemin çivileme işlemini daha yaygın hale getirmiştir. Killerde ve granüle zeminlerin hepsinde uygulanır. Drenajsız ve taşıma kapasitesi 48 kN/m² den az olan yumuşak killerde, çivileme boyu hesap sonucu artırılarak uygulanır.

2.2. Well-Point Sistemi

Bina yapımı, açık maden işletmeleri, karayolu inşası, diğer zemin iyileştirme yöntemlerinin yapılması gibi çalışmalarda, bazen yer altı suyu seviyesi altındaki zeminlerde kazı yapılması gerekmektedir. Bu gibi durumlarda, yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesi ve çalışma alanının kurutulması için, açık kuyulardan pompalama, yatay drenaj, enjeksiyon, derin kuyu, palplanj, well-point vb. yöntemlerinin, herhangi birinden yararlanılmaktadır.

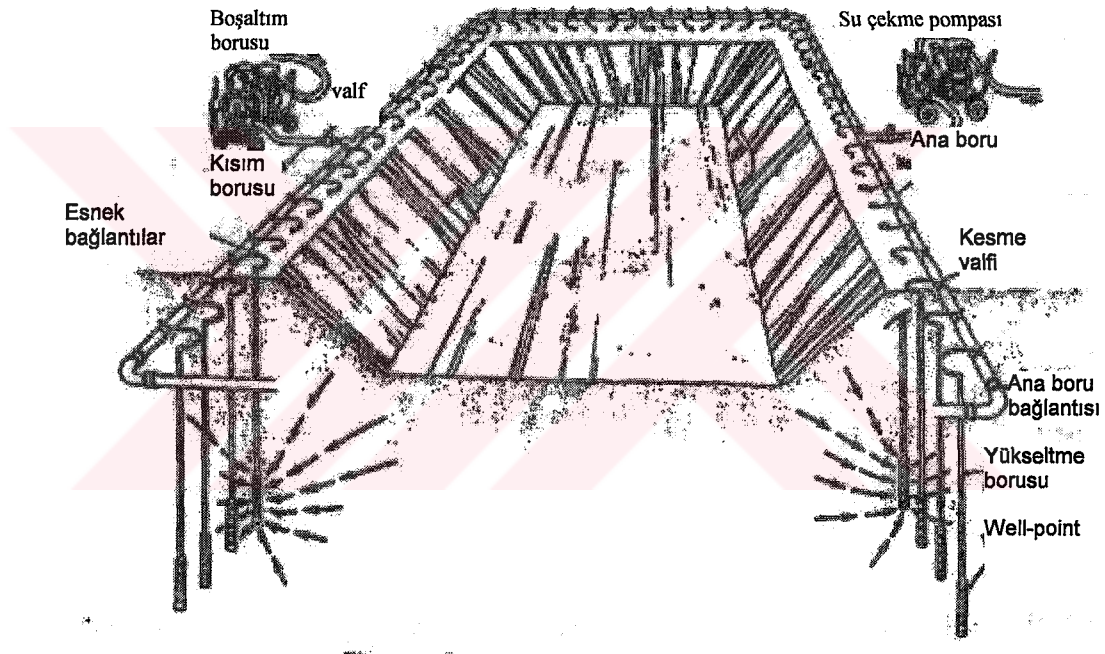
Bu yöntemler arasında, ekonomik olması, operasyon kolaylığı ve etkin sonuç vermesi nedeniyle well-point sistemi tercih edilen ve sıkça görülen iyileştirme yöntemlerindendir.

Well-point sistemi, bir kollektör hattına bağlı çok sayıda kuyudan oluşmakta olup, hem sulama hem de drenaj amaçlı olarak kullanılabilir.

Açık kuyularda, pompalama nedeniyle ani düşümler meydana geldiği bilinirken; well-point sisteminde, hem pompalanan miktar ayarlanmakta hem de düşüşe dağınık uygulanan küçük debili pompalar sayesinde çökme miktarı zarar verici düzeyden az olmaktadır. Şev stabilitesini korumak için yapılan well-point sistemlerinde ise çökmeye karşı herhangi bir destek sistemi gerekmediği deneyimlerle kanıtlanmıştır.

2.2.1. Well-Point Sisteminin Amacı

Sistem ,yeraltı suyunun sıg (1-5 m) olduğu alanlarda, vakum pompası ile pompalama yapılan, bir dizi kuyunun oluşturduğu sistemdir. Kuyuların apı ve derinliği, zeminin geirirmliliği , akifer kalınlığı, pompalama sũresi, yeraltı su seviyesinin indirilmek istenildiği derinlik ve kazının boyutları gibi, faktœrlere bağlı olarak değişir. Well-point sisteminin genel gœrũnũmũ şekil 2.21'de gœrũlmektedir.



şekil 2.21. Well-point Sisteminin Genel Gœrũnũmũ (28)

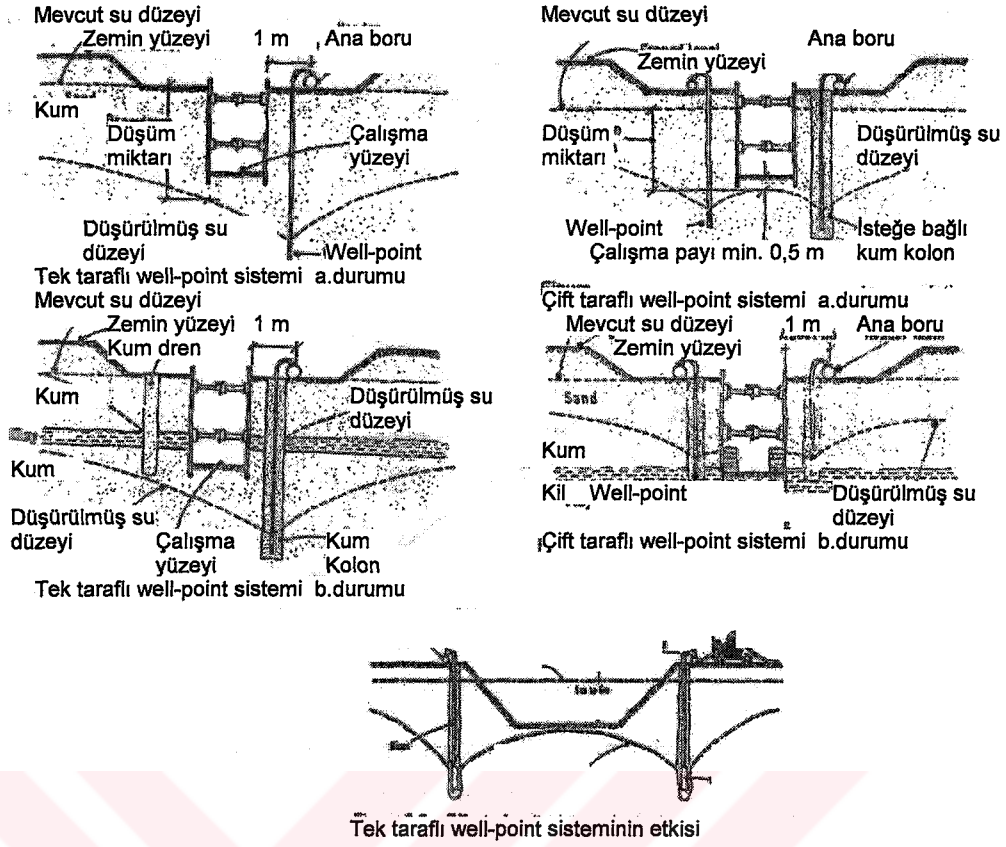
Tesisat ayrıntıları ne olursa olsun , eğer iki ya da daha fazla kuyu birbirine bağlı ise ve pompalama emme yũksekliđi ũzerinde yer alan bir pompa ile yapılıyorsa , bu sistem well-point sistemi olarak tanımlanır. Bazı sınırlamalar dışında , well-point sistemi, œzellikleri nedeniyle, proje ve inşaat açısından esnek ve pratik bir sistemdir.

Well-point sisteminin genel amaçları ise:

- Islak zeminlerde yer alan inşaat sahalarında, geçici dönemlerde, bu alanı kurutmak ve kazı yapılmasını sağlamak,
- Özel nedenlerden dolayı, bir yerdeki su seviyesini sürekli olarak düşürmek,
- Sulama suyu sağlamak,
- İçme suyu ve endüstri sanayi de kullanılmak üzere su sağlamak, amaçları ile kullanılır.⁽¹⁶⁾

2.2.2. Well-Point Sistemi Kurulmadan Önce Yapılan Arazi Çalışmaları

Yer altı su seviyesinin düşürülmesi düzenlenmesinin başarılı olması, sistemin kurulacağı alanın jeolojik ve hidrojeolojik şartlara, kazının derinliği ve alansal dağılımına bağlıdır. Serbest bir akiferde düşüm, akifer kalınlığının %60'ını aşmaktadır. Pompaj sistemleri birbirlerine 0,5 – 1,0 m civarındaki aralıklarla yerleştirilir.



Şekil 2.22. Çeşitli Kuyu Sistemleri ⁽²⁸⁾

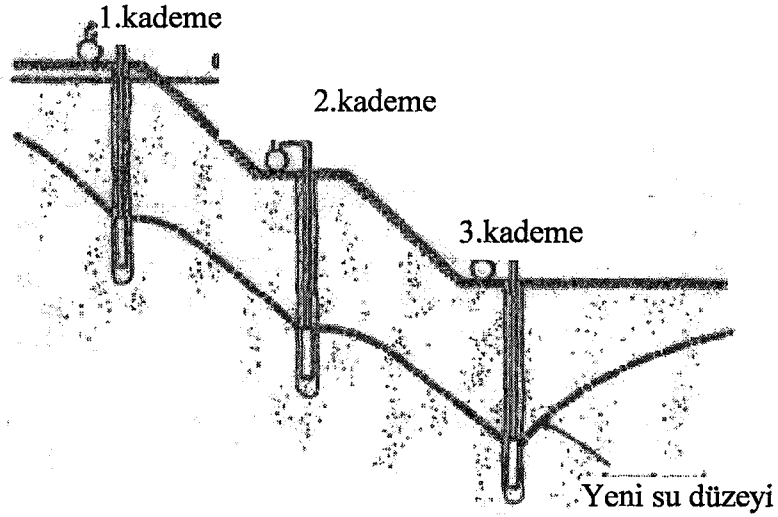
Verim, düşüm, girişim ve benzer faktörlerin tahmini ,genelde kullanılan denklemlerle uyum sağlamayabilir.Bu nedenle, işlemi gerçekleştirmek çoğunlukla mühendisin ampirik denklemleri kullanım tecrübesi ve yorumu, daha önce düzenlemiş olduğu drenaj sistemi ile ilgili özel çalışmaların sonuçlarına bağlıdır.

Bu tip arazi çalışmalarına, inşaat başlamadan birkaç yıl önce başlanmalıdır. Bazı kuyu sistemleri Şekil 2.22'de gösterilmiştir. Veriler mevsimsel ve yıllık su seviyesi oynamalarına ve civarındaki göl, nehir beslenmelerine ve yağışlara bağlı olarak değişebilir. Bu tip veriler, gözlem kuyularında ve piyezometrelerde yapılan periyodik ölçümlerden, yüzey sularının düzeylerinden ve yağış suyu kayıtlarından elde edilir.

Kazı sahası içinde, kazı derinliğinin 1,5 katı derinliğe sahip araştırma kuyuları açılmalıdır. Bu kuyuya ait loglar, dikkatlice hazırlanmalı ve örnekler, 1,52 m lik aralıklarda ya da her formasyon değişiminde alınmalıdır. Silt ya da daha iri malzeme içeren örnekler üzerinde, elek analizleri yapılmalıdır. Kuyular da birden fazla akifer ile karşılaşıldığı zaman, piyezometreler yardımıyla her bir akiferdeki statik su seviyesi ölçülmelidir.⁽²⁸⁾

2.2.3. Well-Pointlerin Özellikleri

Well-point; genellikle, çakma ucu 45,72-101,6 cm (18inç-40inç) uzunluğunda, 3,81-8,89 cm çapında bir kuyu filtresidir. Well-pointler, sürgülü, jet ve çakıl zarflı olmak üzere, çeşitli şekillerde düzenlenmiştir. Well-pointler genellikle 6-8 inç (15,24-20,32 cm) çaplı, yatay yönde 360°, dikey yönde 270° dönebilen, döner bağlantılı bir başlığa bağlanan 1,5-3,5 inç (3,81-7,62 cm) çapındaki yükselme borusuna bağlıdır. Delikli olmayan ve yükselme borusu denilen kısım 3-8 m uzunluğunda olur. Delikli olan alt kısmın uzunluğu ise; 0,70-3,00 m uzunluğunda olup, delik genişliği ise 0,3-0,4 mm arasındadır. Döner bağlantı kısmında, well-pointten çekilen suyu kontrol altında tutan bir valf bulunmaktadır. Herhangi bir sistem içerisinde verim, well-pointler arasında değişiklik gösterebilir; bu nedenle, düşümün filtrenin üst seviyesine karşılık gelmesini ve hem de sisteme hava girmeyecek ölçüde büyük olmasını sağlamak amacıyla, her bir well-point ayarlanabilen bir valfle kontrol edilmelidir. 183 m uzunluğundaki ana boru mümkün olduğunca düz bir şekilde yerleştirilir. Ana boru genellikle yaklaşık olarak tam ortasına yerleştirilen ve minimum 4,57-6,09 m (15-20 ft)'lik bir



Şekil 2.24. Üç Kademeli Well-point Sistemi ⁽²⁸⁾

- A. Jet tipi well-point ⁽³¹⁾
- B. Sürgülü well-point ⁽³¹⁾
- C. Filtre kısmı yükselme borusuna entegre well-point ⁽²⁹⁾
- D. Emme borulu well-point ⁽²⁹⁾

Kademeli well-point sistemi Şekil 2.24'de gösterilmiştir. Filtrenin etrafına kum zarfı konularak büyük çaplı kuyularda, sürgülü well-pointleri kullanmak daha ekonomiktir. Merkezinde düşüm tüpleri olan sürgülü well-pointlerde vardır. Merkez düşüm tüpü başlıca iki amaç için kullanılır.

A. Düşüm tüpü sayesinde, yükselme ve geçici bir jetleme borusu sürülmeksizin well-point delik içerisine konulabilir.

B. Düşüm tüpü olan well-point, emme kesilmeden önce, komşu formasyondaki suyun tüpün altında bir düzeye düşmesini sağlar. Well-pointlerin geçirimsiz bir tabakanın hemen üstüne yerleştirildiği yerlerde bu durumun gerçekleştirilmesi arzu edilir.

Bu avantajlarının yanı sıra düşüm tüpü kullanmanın dezavantajları da vardır. Düşüm tüpünün bir dezavantajı; well-point içerisinde ekstra bir yük kaybına neden olmasıdır. Filtreye girecek olan su tüpün dış yüzeyi boyunca akıp, tüpün içerisine girmek için, 180 'lik dönüş yaptıktan sonra çapı daha küçük olan t p içerisinden akar. Diğer bir dezavantajı ise; düşüm tüpünün varlığı kuyu filtresi etrafında yer alan formasyonun etkin bir şekilde geliştirilmesini önlemesidir. Düşüm tüpünün kullanılmadığı yerlerde well-pointleri çalışmaya hazırlamak için, temizleme ve pompalama sırasında, geliştirme işlemi yapılır. Bu işlem sistem içerisinde her bir well-pointin çalışma verimini geliştirmede önemli rol oynar.

Well-pointlerin tesisi çok hızlı ve ekonomiktir. Pek çok uygulama da, teorik olarak verilen şevlerin çok altında, özellikle boru hatları gibi ilerleyici sistemlerde derinliğe bağlı olarak hemen hemen şevsiz kazıların palplanj veya herhangi başka bir destek sistemine gereksinme göstermeden gerçekleştirildiği deneyimlerle sabittir. Zeminin permeabilite katsayısı 10^{-2} - 10^{-8} m/s arasında değiştiği tüm koşullarda başarıyla uygulanmaktadır.⁽²⁹⁾

Yeterli sayıda kademe yapılarak, 20-30m 'ye kadar drenaj sağlanabilir. Bunun yanı sıra çok kademeli drenaj sisteminin;

1. Kazının devamlı olarak yapılamaması,
2. Drenaj sisteminin yoğun işçilik gerektirmesi,
3. Işın yapımında, sahada engel olacak boru hatları ve pompaların bulunması,

4. Drenaj sisteminin devamlı gözetim ve bakıma ihtiyaç duyması gibi bazı dezavantajları vardır.

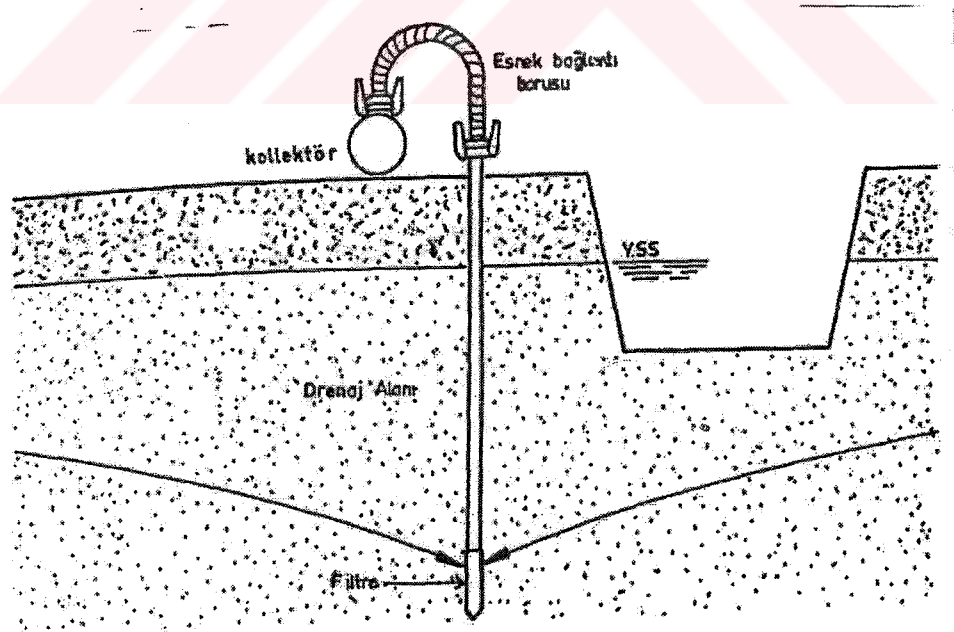
Çok kademeli well-point uygulamasının bir diğer özelliği de, ikinci kademe devreye girdikten sonra dahi pompalamaya devam ederek, bir miktar suyun birinci kademedeki çekilmesidir. Genelde alt kademedeki well-point kademesi, suyun büyük bir kısmını çekecektir. Üst kademedeki veya kademelerdeki well-point ler, kısa bir süre için fonksiyonel olacaktır. Aşağıdaki kademelerdeki well-pointlerin kapasiteleri daha büyük olmalıdır. Bu da daha uzun ve daha büyük çaplı well-point kullanmakla sağlanabilir. Dalgıç pompaların etkili seçenek haline gelmesiyle çok kademeli sistemlerin kullanımı azalmaya başlanmıştır. Kuyuların dibine konulan dalgıç pompalar, yüzey suyunu doğrudan doğruya aşağı indirmekle ve daha büyük kapasiteli kazı makineleri ile kazı işlerine sürekli olarak devam etmek mümkün olabilmektedir. Ancak, bununla birlikte, kaya ya da geçirimsiz tabakaların olduğu alanlarda, çok kademeli well-point sistemi, daha verimli ve uygun olduğu için kullanılmaktadır.⁽²⁹⁾

Well-point sistemi, siltli zeminlerde su seviyesinin düşürülüşünde, yavaş olmakla beraber, kesin sonuç verir. Amaca yönelik uygun drenaj sistemi ve pompa cinsinin tayininde;

1. Kazının boyutları,
2. Düşürülmesi istenilen suyun miktarı,
3. Akiferin kalınlığı,

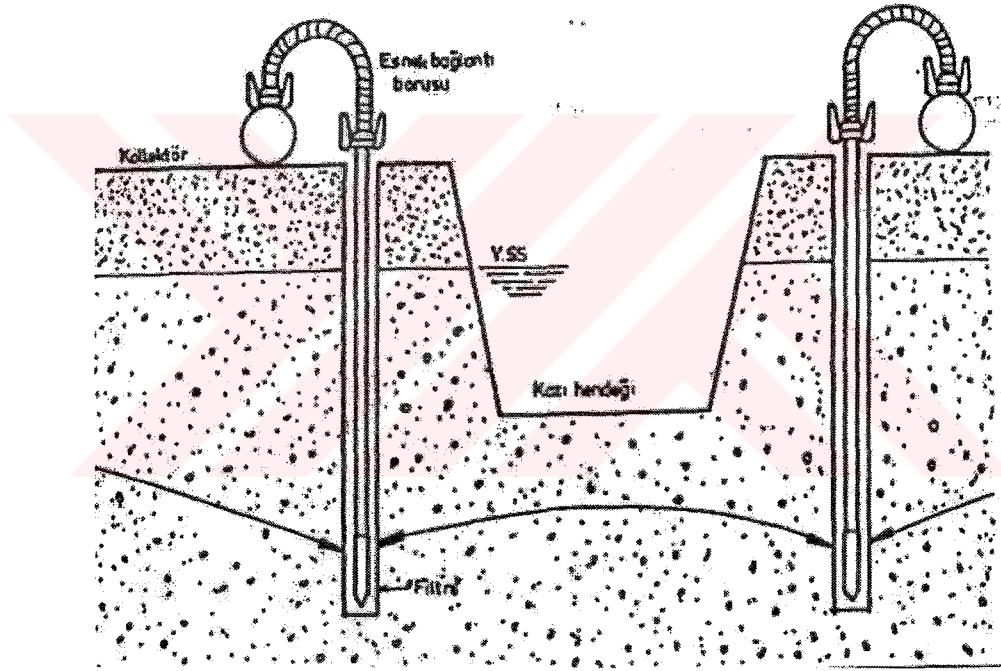
4. Artezyen söz konusu ise suyun basıncı,
5. Su taşıyıcı zeminin geçirimliliği,
6. Yıl içinde drenajın yapılacağı zaman,
7. Pompalama süresi,
8. Pompalanan suyun tekrar zemin içerisine dönüp dönmeyeceği,
9. Geçirimli kuyuların varlığı ve yokluğu

gibi faktörler belirlenmeli ve koşullara göre, gerektiğinde, kademe hafriyatı da yapılarak, well-pointler, zemin seviyesi altına yerleştirilerek, en uygun sistem oluşturulmalıdır. Bu şekilde hendek kazılarında genellikle tek tarafa tesis edilen ilerleyici sistem kullanılır. Çok geniş ve derin olmayan hendeklerde tek taraflı koruma yeterlidir.



Şekil 2.25. Tek Taraflı Kazı Hendeği Koruması ⁽²⁹⁾

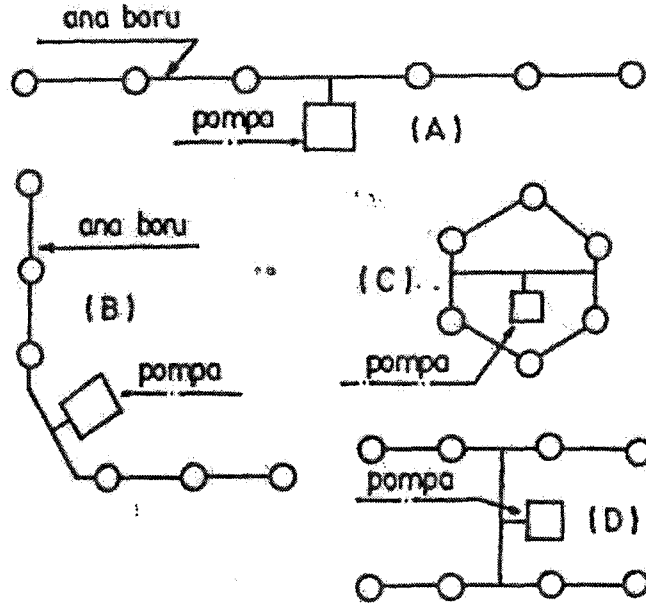
Ana boru hendek kenarında kazı boyunca uzanmaktadır. Arka taraf dolduruldukça, ön tarafta yeni well-pointler çakılır, pompa devamlı ileriye basar. Boru döşeme ve deney işlemleri tamamlanınca, sökülen well-pointler ileriye taşınır. Tek taraflı korumada, kollektörün olmadığı kısımda, engelsiz, rahat çalışma olanağı sağlanır. Tek taraflı kazı hendeği korumasının şematik gösterimi Şekil 2.25'de görülmektedir. Ancak bununla birlikte çok geniş kazılarda tek taraflı hendek korunmasına ihtiyaç duyulabilir.



Şekil 2.26. Çift Taraflı Kazı Hendeği Koruması ⁽²⁹⁾

Sonuç olarak well-point sisteminde, zemin stabilitesi sağlanarak, yapı alanı, kazı yapılacak hale getirilir; maliyet ve zaman açısından da büyük oranda tasarruf elde edilir. Çift taraflı kazı hendeği korumasının şematik gösterimi Şekil 2.26'da görülmektedir.

2.2.4. Well-Point Kuyularının Düzenlenmesi



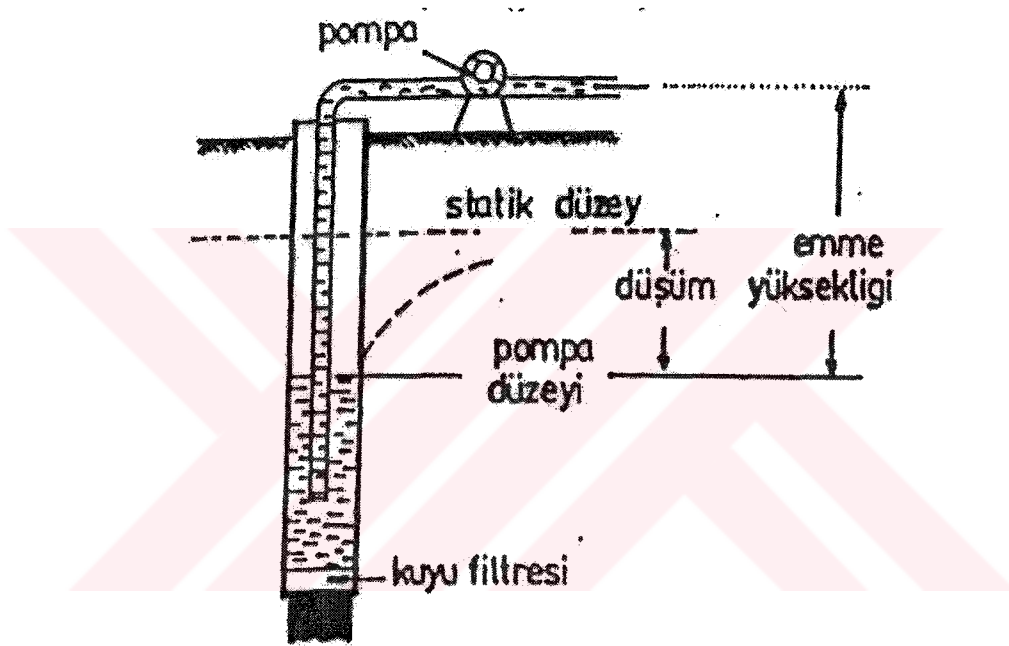
Şekil 2.27. Well-point Sistemi Düzenlenme Şekilleri ⁽³⁰⁾

- A. Hat şeklinde
- B. Açılı
- C. Dairesel
- D. 'H' şeklinde ⁽³⁰⁾

Kuyular, bir dairenin çevresine yerleştirildiğinde, maksimum hidrolik verim sağlanır. Kuyular, bir hat boyunca yerleştirildiğinde, minimum hidrolik verim söz konusu olmasına karşılık, sistemin, az yer kaplama açısından, bir avantaj söz konusudur. Well-point sisteminin düzenlenme şemaları Şekil 2.27'de gösterilmiştir.

Merkezde bulunan emme pompası, ana boru ve yükselme borusu arasında, kısmi bir basınç oluşturularak, well-point sistemindeki her

kuyudan su çeker. Pompanın oluşturduğu kısmi basınç ya da emme basıncı kuyulardaki ve su tutan formasyondaki suyun, aşağı doğru çekilebildiği seviyeyi belirler. Bu nedenle, iyi emme özelliklerine sahip bir pompa seçilmelidir. Uygulamalarda sağlanabilecek en büyük emme basıncı yaklaşık 7,62 m (25 ft) civarındadır, ancak birçok pompa için bu basınç; 6-7m (20-22ft) ile sınırlıdır. Bazı santrifüj pompalar ise, suyu 4,57-4,87 m. (15-16ft)'den daha fazla yukarı kaldıramazlar.



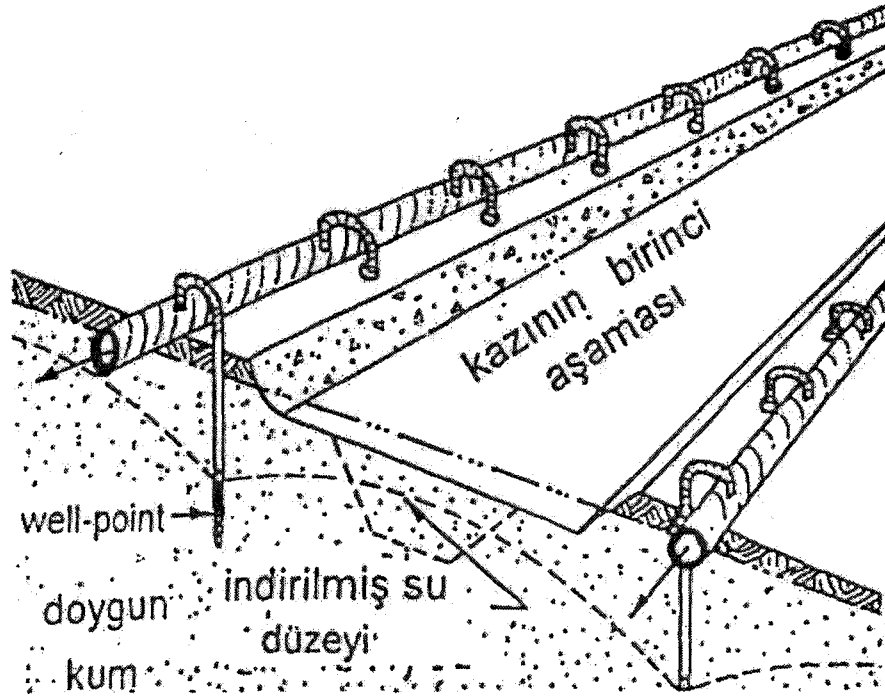
Şekil 2.28. Emme Pompası İle Pompalama Yapıldığında Elde Edilebilecek Maksimum Düşüm⁽³⁰⁾

Şekilde de görüldüğü üzere emme pompası ile yapılan pompalamalar, sistemin projelendirilmesine bazı sınırlamalar getirmektedir. Başarılı bir çalışma içinde, belirli bazı özellikler gerekmektedir. Örneğin, pompanın emme kısmında ve yükselme borusunda bulunan eklemlerin ve boru bağlantılarının hava ile teması

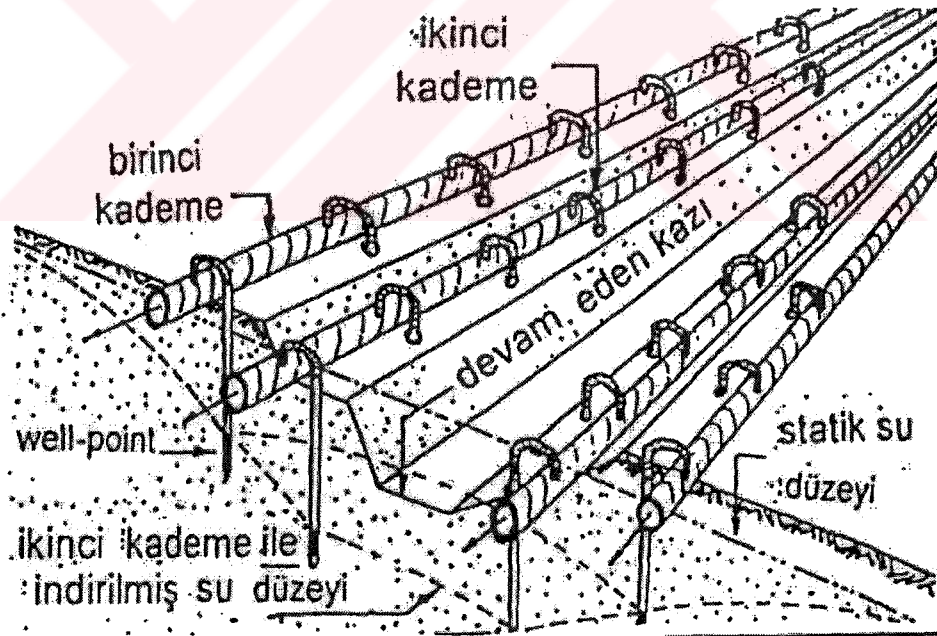
kesinlikle önlenmelidir. Çok küçük hava sızıntısı bile emme basıncını düşürür bu da pompanın çalışma kapasitesini olumsuz yönde etkiler. Maksimum düşüm miktarı Şekil 2.28'de gösterilmiştir.

Filtrenin içerisine yerleştirilecek bir düşüm tüpü, emme işlemini kesmeden, pompa seviyesinin filtre ağız seviyesinin altına düşmesini sağlayabilir. Ancak, daha öncede belirtildiği gibi, düşüm tüpünün dezavantajları, düşüm tüpü kullanımını sınırlar.

Her bir well-point etrafındaki yer altı suyu seviyesi pompanın merkezinden itibaren 6-6,7 m den daha fazla bir derinliğe düşürülemez. Bu da oldukça geçirimli bir kum formasyonda, tek kademeli bir well-point sistemi ile, pompanın maksimum 4,88 m derinliğe kadar drenaj yapacağı ve kazının da bu derinlikte yapılabileceği anlamına geldiği gibi, pompaların yerleştirildiği yerlerde, statik su seviyesinin üzerindeki yüksekliğe bağlı olarak, yeraltı su seviyesinin, 4,57m'den 30-60 cm daha derine indirilebileceği anlamına da gelebilir. Dolayısıyla, pompa emme yüksekliği, tek kademeli bir well-point sistemi ile kurutulabilecek zeminde, derinlik açısından kesin bir sınırlama getirilmesini zorlaştırır. Fakat iki ya da daha çok birbirinden bağımsız sistemler kullanılarak bu tip sınırlamaların üstesinden gelinebilir. Mevcut emme yüksekliği ile maksimum avantaj elde edebilmek için, well-point sisteminin tesisatından önce, su tablası içerisinde bir kaç inçlik derinlikte bir kazı yapılacağı bilinmelidir. Tek kademeli well-point sistemi Şekil 2.29'da; kademeli well-point sistemi Şekil 2.30'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.29. Tek Kademeli Well-point Sistemi ⁽³⁰⁾



Şekil 2.30. Kademeli Well-point Sistemi ⁽³⁰⁾

Kazının su tablasından itibaren, 3,66-4,57 m den daha aşağıda yapılacağı yerlerde, well-pointler kademeli olarak tesis edilir. Her

kademe bir öncekinden 4,57 m daha aşağıda olacak şekilde inşa edilir. İki kademedan fazla kademenin gerekli olduğu durumlarda ,kazıdaki belirli ve duyarlı olmayan köşeleri, kontrol etmek amacıyla, ilave kuyulara ve well-pointlere ihtiyaç duyulabilir. Sistemin birinci kademesi, şekildeki gibi kurulur. Pompalama ile, su tablası, kazı yapmaya izin verecek şekilde, yeraltı suyu seviyesi metrelerce düşürülür.,İkinci kademe ise, en düşük düzeye kurulur. İkinci kademede yer alan well-pointler, ana boru ve pompalar koşulların elverdiği ölçüde birinci kademenin çok daha alt düzeylerine yerleştirilir. Bu sistemdeki bir pompalama, su seviyesinin yeteri kadar düşürülüp istenilen derinlikte kazı yapma olanağı sağlar.⁽³⁰⁾

2.2.5. Well-Pointlerin Tesis Derinliği

Well-pointlerin, uygun derinliklerde yerleştirilmesini etkileyen 3 faktör vardır:

1. Önerilen kazının maksimum derinliği
2. Bu derinlikte kaya ya da kil tabakasının olup olmadığı
3. Kum içerisinde geçirimsiz ya da orta derecede geçirimli tabakaların olması ve bunların derinlikleri. ⁽³⁰⁾

Su tutan kum formasyonunun, kazının metrelerce altında devam ettiği varsayılırsa, well-pointler, filtre düzeyleri, kazının en derin kısmının en az 0,91 m altında olacak şekilde yerleştirilmelidir. Eğer well-pointler bir hat şeklinde konulmuş ise ,filtre düzeyleri de kazı tabanının 1,22 m altında olmalıdır. Hatta

koşullar izin veriyorsa kazı tabanına bağlı olarak well-pointlerin daha derine yerleştirilmesi tercih edilir. Well-pointlerin tesis derinliğinin fazla olması, filtrelerin tamamının, daima en düşük pompalama seviyesinin bile altında olmasını sağlar.

Kazı, bir kil tabakasının ya da kayanın altında bulunan doygun kumun tamamı boyunca yapılacaksa, kumun son 30-60 cm'lik bölümünde tamamen kurutulması için, well-point sistemi kurulurken, bazı özel aşamalar dikkate alınmalıdır.

Geçirimsiz tabakanın hemen üzerinde bir seviyeye, bir grup well-point yerleştirildiğinde, su düzeyi sadece havanın kuyu filtresine girebileceği ve emmeyi keseceği derinliğe kadar indirilebilir.

Geçirimsiz tabanın 61-91,5 cm lik kısmını kesen ve cidarı kum ile doldurulan daha büyük çaplı deliklerin içerisinde, well-pointler uygun derinliklere yerleştirilerek, kurutma işlemi gerçekleştirilebilir. Bunun için 18 cm ya da 24 cm'lik geçici muhafaza borusu, ihtiyaç duyulan derinliğe yüzeyden itibaren yerleştirilir. Well-point ve yükselme borusu daha büyük olan borunun içerisine merkezlenerek konur ve well-point ile yükselme borusu etrafındaki halka şeklindeki boşluk, temiz ve kaba taneli kum ile doldurulur. Kum zarfı yerleştirildiği zaman, geçici muhafaza geri çekilir. Eğer, taban jetleme yöntemiyle delinmeyecek kadar sert kil ya da kayadan oluşuyorsa well-pointleri, kum ile doldurulan birikinti çukurlarına yerleştirmek için, bir sondaj makinesi gerekebilir. ⁽³⁰⁾

Doygun zeminde, farklı derinliklerde, sıkı şist yada kil tabakalarının bulunması, well-point sisteminin düzenlenmesini karmaşık bir hale getirir.

Çünkü; bu tabakalar, üzerinde bulunan kum tabakasındaki düşey drenajı önler. Bunlar çok ince olsalar da geçirimsizlerdir ve indirilmiş su seviyesi diyagramında kesintilere neden olurlar. Bu problem, well-point deliklerinin dışı kumla doldurulmasıyla büyük ölçüde halledilir. ⁽³⁰⁾

Bir çok tabakadan oluşmuş bir formasyonda, başarılı bir kurutma işlemi için, her bir kum tabakasının, bağımsız bir formasyon olarak drene edilmesi gerekir. Daha önce belirtildiği gibi, bu işlem için kademeli bir sisteme ihtiyaç duyulur.

Çok fazla problem olmayan yerlerde; 20,3 cm - 30,5 cm çaplı deliklerdeki her bir well-point ve yükselme borusu, kumla çevrelenerek geçirimsiz tabakadan geçen düşey drenaj kanalları oluşturulabilir. Benzer durumlarda, büyük bir muhafaza borusu, geçici olarak tüm tabaka boyunca indirilir ve well-point, bu borunun merkezine konulur ve statik su seviyesine kadar, well-point ile muhafaza borusu arasındaki boşluk, temiz, kaba taneli kum ile doldurulur. Muhafaza borusu, kum zarfı konulduktan sonra çekilir. Kum zarfı, her zaman olmamakla birlikte, bazen arzu edilen düşey drenajı sağlar. Çünkü, geçici olarak konan muhafaza borusunun geri çekilirken sıvama hareketi nedeniyle, büyük deliğin çeperleri üzerinde şistten ve kilden bir kabuğun oluşumu zordur. Doğal formasyon ve çakıl zarfının dış yüzeyi arasında sıkışan herhangi bir şeyi, oradan alabilecek geliştirme ya da yıkama işlemi yapılmadığı için, bu kabuk, well-pointin ağız seviyesinden daha yukarı çıkarılamaz. ⁽³⁰⁾

Problem yaratabilecek bir istiflemenin olduğu yerlerde, well-pointlerin yerleştirilebileceği en uygun derinliği belirlemek için, bir iki deneme kuyusu

açmak ve pompalama yapmak yerinde olacaktır. Farklı derinliklerdeki her bir deneme kuyusu içerisine well-pointler yerleştirilmeli ve pompalama yapılarak, su tutan formasyonun verimi farklı kotlarda kontrol edilmelidir. Öncelikle well-point maksimum derinliğe yerleştirilir, daha sonra, ikinci deneme için, bir kaç santimetre yukarı çekilir. Pompalama deneyi yaparken, emme yükünü ölçmek için, pompanın girişinde bir vakum metre kullanılmalıdır. Pompalama debisi, hacmi belli bir kaba belli bir zamanda su doldurularak ölçülür.

Su sağlamak amacıyla, düzenlenen well-point sisteminin, verimli bir şekilde çalışması için, uygun filtre uzunluğunun seçilmesi önemlidir. Filtre uzunluğu belirlenirken kısıtlama yapılmamalıdır. Çünkü filtrenin sağladığı verimden elde edilen kazanç daha büyük filtre alımı ve bunların teçhizi için harcanan ekstra ödemelerden daha fazladır. Uzun filtreler kullanılarak, ince kumdan oluşan formasyonlarda, maksimum verim elde edilebilir. Eğer mümkünse, 3 m uzunluğundaki filtreler kullanılmalıdır; hatta özel durumlarda, filtre uzunluğu 4,5 m - 6,0 m bile olabilir. Akiferin nispeten sık olduğu yerlerde, filtre, su tutan kum formasyonunun altına indirilen pompanın, emme yüksekliğinden 30,5 cm. daha aşağıda olmalıdır. ⁽³⁰⁾

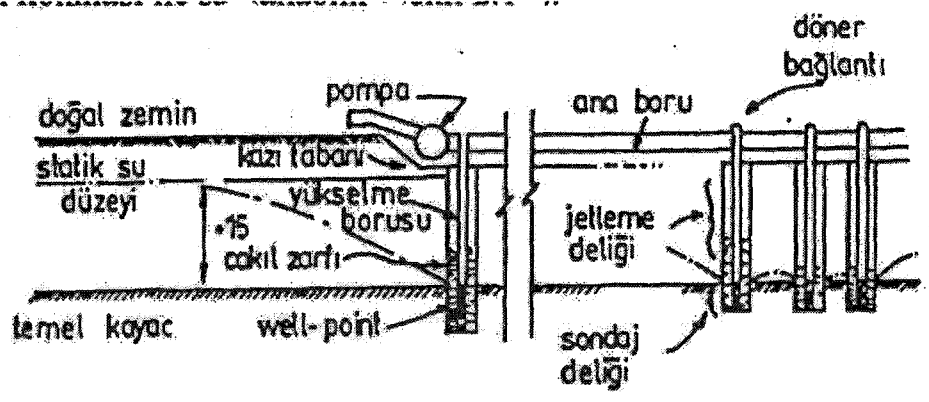
Su tutan formasyonun zemin durumu, filtre uzunluğunun ve filtrenin yerleştirilmesini etkiler. Çünkü, formasyonun en fazla su sağlayan kısmına filtre yerleştirildiği zaman , en iyi sonuç elde edilir. ⁽³⁰⁾

2.2.6. Sistemin Çalıştırılması

2.2.6.1. Emme Pompalı Well-Point Sistemi

Bu tip bir well-point sisteminin etki alanının şekil ve boyutu nadiren hesaplanabilir. Drenaj amaçlı sistemlerde, well-point aralıklarının seçiminin uygunluğu, büyük oranda, mühendisin çalışma deneyimi ile doğrudan ilişkilidir. Malzemenin tane boyutu büyüdükçe, kuyular arası mesafede küçülür.

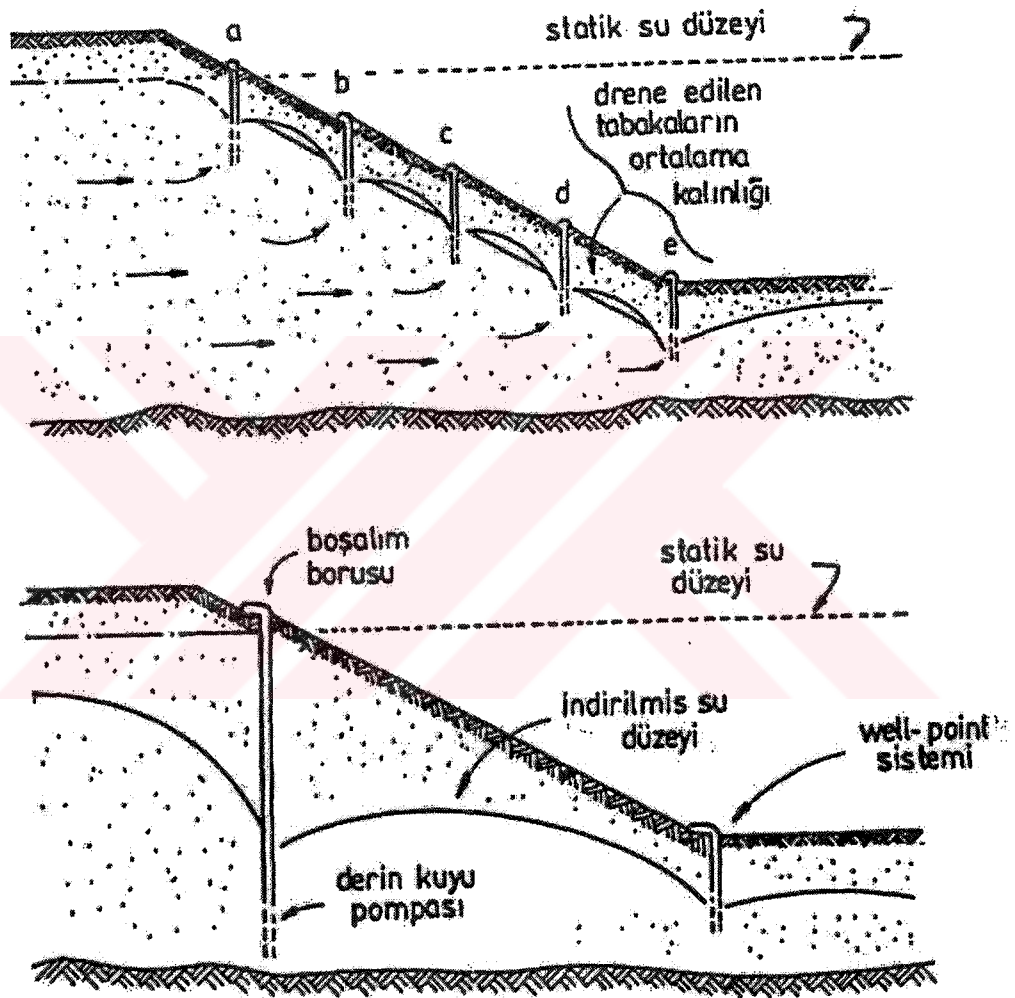
Akifer kalınlığı, kuyular arasındaki mesafeyi etkileyen faktördür. 4,57 m 'den ince olan akiferlerde, kuyular arasındaki mesafede küçük olur. Silt ve diğer ince taneli malzemeler için, 3,8 cm çaplı well-pointler genellikle yeterlidir. Daha geçirimli malzemeler için, çap büyür 2,5 cm çaplı yükselme boruları, küçük çaplı well-pointler için uygundur ve boru çapı pompa üzerinde yer alan 8,9 cm çaplı well-pointler için 5,1 cm - 6,4 cm ye yükseltilmelidir. Geçirimsiz birim üzerinde yer alan ince bir akiferde well-point sistemi ile drenaj Şekil 2.31'de şematik olarak gösterilmiştir.⁽³¹⁾



Şekil 2.31. Geçirimsiz Birim Üzerinde Yer Alan İnce Bir Akiferde Well-point Sistemi ile Drenaj⁽³¹⁾

2.2.6.2. Jet Pompalı Well-Point Sistemi

Bazı durumlarda emme pompası yerine, her bir yükselme borusunda, jet pompa kullanılan well-point sistemleri kurulur. Jet pompaları santrifüj ve vakum pompalarındaki normal emmeye ilave olarak, venturi içinden geçen su akışının yarattığı etkili emme ile çalışır.



Şekil 2.32. Kademeli Well-point Sistemi İle Derin Kuyu Pompasının Kullanımı ⁽³¹⁾

Jet pompalı well-pointlerin verimi, 7,62-10,67 m civarındadır. Ancak bunlar suyu 18,29-30,48 m lik derinliklerden yukarı çıkarabilirler ve her bir kuyuda, 5,49-6,09 m basınçta bir vakum meydana gelir.

Özellikle, daha küçük tesisatlarda, jet pompalardan ziyade, dalgıç pompalar kullanılabilir.akiferin kalınlığı, permeabilitesi ve depolaması biliniyorsa, birbirine, birbirine yakın mesafelerde, bir hat boyunca yerleştirilmiş bir well-point sistemi düşünülebilir.Her bir sıra well-point, Şekil 2.32'de görüldüğü gibi, bir dren yada bir toplayıcı şeklinde düşünülebilir.⁽³⁰⁾



3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Kırıkkale şehir merkezi, 747 m rakımlı ve 39,51 enlemde, 33,31 boylamda bulunmaktadır. İç anadolu şehri olmasından dolayı iklimi bilinen karasal iklimdir.

Bu çalışma, konut ve yapı inşasının yoğun olarak gerçekleştiği 22 mahallede gerçekleştirilmiş ve yapıların inşasından önce yapılan sondaj kuyu logları ve araştırma çukurları sonuçları dikkate alınmıştır. Kırıkkale il merkezinde 2000-2004 yılları dahilinde yapımı planlanan 175 adet yapıya ait veriler incelenmiş, 440 adet zemin etüt sonucundan çalışmaya esas olacak 145 veri tespit edilip, Y.A.S.S.'leri Altundağ Mühendislik tarafından değerlendirilmiştir.

Mahallelere göre yapılan incelemelerde Y.A.S.S. lerinin; kot farkı, mevsimsel değişiklikler, yağışların katkısı, kurak mevsimlerin etkileri dikkate alınarak, lokal bazı noktalarda genel verilerle nasıl farklı etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Araştırma sonucunda elde edilen sondaj kuyuları verileri; mahalle, mevkii, ada, parsel, sondaj kuyu adları, sondaj kuyu derinlikleri, Y.A.S.S. lerine göre şöyledir:

Çizelge 3.1. Kırıkkale İli Sondaj Kuyu Verileri ⁽³²⁾

MAHALLE MEVKİİ	ADA	PARSEL	SONDAJ KUYU ADI	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	1.GÜN Y.A.S.S. DURUMU (m)	2.GÜN Y.A.S.S. DURUMU (m)	3.GÜN Y.A.S.S. DURUMU (m)
YAYLACIK	233	13	SK-1	9,95	YOK		
YAYLACIK	176	8	SK-1	9,45	YOK		
YAYLACIK	176	8	SK-2	9,45	YOK		
YAYLACIK	249	6	SK-1	15,45	8,3		
YAYLACIK	192	1	SK-1	9,75	8		
YAYLACIK	192	1	SK-2	9,25	4,5		
YAYLACIK	191	9	SK-1	9,45	YOK		
YAYLACIK	2298	4	SK-1	9,45	8		
YAYLACIK	2298	4	SK-2	15,05	YOK		
YAYLACIK	246	6	SK-1	9,45	YOK		
YAYLACIK	246	7	SK-2	9,45	YOK		
YAYLACIK	4122	9	AÇ-1	1,5	YOK		
YAYLACIK	4122	9	AÇ-2	2	YOK		
YAYLACIK	4122	9	AÇ-3	3,5	YOK		
YAYLACIK	5306	2	SK-1	10	YOK		
YAYLACIK	230	10	SK-1	9,45	1		
YAYLACIK	230	11	SK-2	9,45	1		
YAYLACIK	787	1	SK-1	9,45	YOK		
YAYLACIK	787	1	SK-2	13,95	YOK		
YAYLACIK	200	29	SK-1	10	8,5	9,3	
YAYLACIK	206	6	SK-1	8	YOK		
YAYLACIK	268	14	SK-1	10	YOK		
OVACIK	276	2	SK-1	9,95	YOK		
OVACIK	276	2	SK-2	2	YOK		
OVACIK	313	18	SK-1	9,95	6	6,05	
OVACIK	313	18	SK-2	9,95	6	5,98	
OVACIK	431	13	SK-1	11	6,8		
OVACIK	651	2	SK-1	15	7,5		
OVACIK	263	10	SK-1	8	YOK		
OVACIK	276	4	SK-1	9,45	YOK		
OVACIK	276	5	SK-2	9,45	5		
OVACIK	315	6	AÇ-1	2,5	YOK		
OVACIK	293	8	SK-1	9,95	7,5	5,88	
OVACIK	293	9	SK-2	9,95	7,5	5,88	
OVACIK	5399	11	SK-1	9,95	8,5	4,3	
OVACIK	ANK-KIR. YOLU KÜLTÜR MERK.ÇAL.		SK-1	20	6	6	
OVACIK			SK-2	20	9	5,5	
TEPEBAŞI	495	4	SK-1	14,95	5,9		
TEPEBAŞI	495	5	SK-3	13,5	3,8		
TEPEBAŞI	495	7	SK-6	20,45	8,1		
TEPEBAŞI	495	8	SK-8	13,45	3		
TEPEBAŞI	508	1	SK-1	9,45	5		
TEPEBAŞI	508	1	SK-2	9,45	5		
TEPEBAŞI	490	6	AÇ-1	2,7	YOK		
TEPEBAŞI	495	11	SK-1	9,45	7,5		

TEPEBAŞI	495	12	SK-2	9,45	YOK		
ETİLER	1331	8	SK-1	9,45	8,5		
ETİLER	3407	1	SK-1	9,95	6	5	
ETİLER	ETİLER KAV. GEÇİT ÇALIŞMALARI		SK-1	20	YOK	YOK	
ETİLER			SK-2	20	7,5	7	
FABRİKALAR	4120	10	SK-1	9,95	5		
FABRİKALAR	4120	10	SK-2	9,45	4,5		
FABRİKALAR	4120	10	SK-3	9,45	4		
FABRİKALAR	4120	10	SK-4	9,45	3,6		
FABRİKALAR	4120	10	SK-5	9,45	4,8		
FABRİKALAR	5326	10	SK-1	12,95	YOK		
FABRİKALAR	129	1	SK-1	9,45	YOK		
FABRİKALAR	129	2	SK-2	9,45	YOK		
FABRİKALAR	117	10	SK-1	10	YOK		
FABRİKALAR	117	11	SK-2	10	YOK		
FABRİKALAR	ÇOK KATLI OTO PARK ÇALIŞMASI		SK-1	20	7	6	
FABRİKALAR			SK-2	20	5	5	
YENİ MAHALLE	658	3	SK-1	9,14	8		
YENİ MAHALLE	658	3	SK-2	9,11	8,7		
YENİ MAHALLE	658	3	SK-3	15,05	11		
YENİ MAHALLE	DEVEBAĞIRTI. MEVKİİ BEL. TOPLUKONUT ÇALIŞMALARI		SK-1	20	YOK		
YENİ MAHALLE			SK-2	20	YOK		
YENİ MAHALLE			SK-3	20	YOK		
YENİ MAHALLE			SK-4	20	YOK		
MERKEZ MAH	276	13	SK-1	9,45	YOK		
MERKEZ MAH	276	13	SK-2	9,45	YOK		
MERKEZ MAH	47	124	SK-1	3	1,8		
YENİ DOĞAN	3062	21	SK-1	8,5	8	7,75	
YENİ DOĞAN	3061	25	AÇ-1	2,3	YOK		
KARŞIYAKA	4387	4	SK-1	9,95	YOK		
KALETEPE	4904	3	SK-1	10	YOK		
KALETEPE	4904	4	SK-2	10	YOK		
KALETEPE	4904	5	SK-3	10	YOK		
KURTULUŞ	593	19	SK-1	7	4,5		
KURTULUŞ	593	20	AÇ-1	3	YOK		
KURTULUŞ	1587	25	AÇ-1	2	YOK		
KURTULUŞ	489	3-4-5-6-7	AÇ-1	3,1	YOK		
KURTULUŞ	489	3-4-5-6-7	AÇ-2	3,2	YOK		
KURTULUŞ	597	10	SK-1	19,87	1,9		
KURTULUŞ	597	10	SK-2	19,85	3		
KURTULUŞ	598	30	SK-1	10	4,5	3,5	
KURTULUŞ	613	3	SK-1	10	YOK		
KURTULUŞ	1454	13	SK-1	9,95	YOK		
GÜNDOĞDU	1659	12	SK-1	9,45	YOK		
GÜNDOĞDU	1743	10	SK-1	9,45	YOK		
GÜNDOĞDU	1794	1	AÇ-1	3	1,8		
GÜNDOĞDU	1722	8	AÇ-1	2	YOK		
GÜNDOĞDU	3079	1	SK-1	10	YOK		
GÜRLER	601	2	SK-1	6,2	YOK		
GÜRLER	601	2	SK-2	9,13	YOK		
GÜRLER	511	1	SK-1	9,62	YOK		

GÜRLER	511	2	SK-2	10,7	YOK		
YUVA	2823	5	SK-1	15	14,2		
YUVA	1870	1	SK-1	8	YOK		
BAHÇELİEVLER	2088	9	AÇ-1	2,3	2		
BAHÇELİEVLER	B.EVLER KAV. GEÇİT ÇALIŞMALARI		SK-1	20	2,5	2	
BAHÇELİEVLER			SK-1	20	6,5	6,5	
BAHÇELİEVLER	PAZAR YE. ÇALIŞ.		SK-1	10	2,5	2,5	
BAĞLARBAŞI	3650	19	SK-1	9,45	YOK		
BAĞLARBAŞI	K.KALE EVLERİ ÇALIŞMASI		SK-1	10	6	5,5	
BAĞLARBAŞI			SK-2	10	6	5,5	
OSMANGAZI	4524	1	SK-1	9,45	YOK		
OSMANGAZI	4524	2	SK-2	9,45	YOK		
GÜZELTEPE	323	3	SK-1	15	12	8,1	8,88
GÜZELTEPE	323	7	SK-1	15	11	8,2	8,6
HÜSEYİNAHYA	47	120	SK-1	9,45	5		
HÜSEYİNAHYA	47	120	SK-2	9,45	5,5		
HÜSEYİNAHYA	5407	2	SK-1	9,95	9	6	
BAŞPINAR	B.PINAR KAV. GEÇİT ÇALIŞMALARI		SK-1	20	4,5	4,5	
BAŞPINAR			SK-2	20	8,5	8,5	
KIZILIRMAK	5214	15	SK-1	9,95	2,5	2	
ÇAMLIKALTI	ÇAMLIKALTI MEVKİİ BEL. TOPLUKONUT ÇALIŞMALARI		SK-1	15	4,5	4,5	
ÇAMLIKALTI			SK-2	15	YOK		
ÇAMLIKALTI			SK-3	15	YOK		
Kırıkkale il merkezinde yapımı planlanan çok katlı konut ve iş merkezi	Kırıkkale il merkezinde, Ankara – Samsun yolunun hemen sağında bulunan eski tuğla fabrikası		SK-1	14,95	5,9		
			SK-2	18	YOK		
			SK-3	13,5	3,8		
			SK-4	15,45	YOK		
			SK-5	15,45	YOK		
			SK-6	20,45	8,1		
			SK-7	5,5	YOK		
			SK-8	13,45	3		
			SK-9	11,95	YOK		
ANKARA-KIRIKKALE DEVLET KARAYOLU (SAMSUN YOLU) 72.KM	Ankara – Kırıkkale Devlet Kara yolunun 72. kilometresinden başlayarak yaklaşık 3 km uzunluğundaki yolun sağ ve solunda bulunan yola cepheli imar adaları (Revize imar planından yararlanılarak)		SK-1	15,45	4		
			SK-2	15,42	YOK		
			SK-3	15,42	13		
			SK-4	15,3	YOK		
			SK-5	15,3	YOK		
			SK-6	15,4	YOK		
			SK-7	15,28	4,3		
			SK-8	15,27	7,5		
			SK-9	15,4	3,2		
			SK-10	15,45	5,4		
			SK-11	15,15	6,1		
			SK-12	15,3	3,9		
			SK-13	15,15	YOK		
YAHŞİHAN	398	6	SK-1	10	7,5	8,3	
YAHŞİHAN	386	9	SK-1	9,23	YOK		
YAHŞİHAN	386	9	SK-2	9,25	YOK		
YAHŞİHAN	386	9	SK-3	6,4	YOK		

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapıların inşasında zeminin rolünün, sıkı bir çözümleme gerektirdiği ülkemizde meydana gelen depremlerle daha iyi anlaşılmıştır. Uygun zemine yeterli temel ve yeteri kadar iyileştirme gerektiği tecrübelerle kanıtlanmıştır.

Kırıkkale ili de, birçok il merkezi gibi, yapılaşma potansiyeli olan bölgelerdendir. Yapı statik hesaplarında faydalanılan zemin sondaj ve hesapları, Kırıkkale ilinin birinci derece deprem bölgesi olduğu düşünüldüğünde, son derece ciddi ve yeterli şekilde yapılmalıdır.

İl merkezinde, 2000-2004 yıllarında 22 mahallede inşası planlanan 175 adet muhtelif yapıya ait 440 adet zemin etüt sonucundan sadece 145 tanesinin araştırmaya esas teşkil etmesi, diğer söz konusu verilerin, gerek derinlik, gerek yapılış süresi ve şekli bakımından yetersiz oluşundandır.

Well-point sisteminin kullanım aralığı, 1-5 m olduğu düşünüldüğünde, Kırıkkale ili merkez mahallelerinin çoğunda sistemin kullanılması olasıdır. Konutların birçoğunun bodrum katı bulunmaktadır. Gerek ısınma kazanı tertibatı, gerekse kömürlük, sığınak, otopark ihtiyaçları için oluşturulan bodrum katın en düşük yüksekliği 2,50 m olduğu bilinmektedir. En zayıf temel sisteminin de 0,80-1,00 m derinlikte olduğu düşünüldüğünde ve bu derinlik hesabına grobeton payı, subasman seviyesi eklendiğinde, yapı hafriyat derinliğinin her yerleşim beldesinde olduğu gibi Kırıkkale ilinde de 4-5 m civarında olduğu görülebilir. Bu basit hesaptan hareketle yapılarımızın tüm yüklerini aktardığı zeminde, Y.A.S.S. eğer 5 m den daha sığ konumdaysa

tehlike arz etmektedir. Yağış katkıları da 6 m deki Y.A.S.S. ni 5 m gibi daha sığ konuma getirmesi olasıdır. Bu çalışmanın özü olarak; 0,00-6,00 m sığlıktaki Y.A.S.S. leri için mahallelerde tehlike arz eden bölgeler incelenmiştir.

Yaylacık mahallesinde elde edilen verilerde, genellikle Y.A.S.S. ne 10-13 m lik sondaj kuyularında rastlanılmamıştır. Bir lokasyonda 4,50 m de, bir lokasyonda ise sadece 1 m derinlikte Y.A.S.S. ne ulaşılmıştır. 230/10,11 konumlu 1 m lik sığlıktaki Y.A.S.S., yerel kanal tertibatlarındaki sızıntıdan kaynaklandığı yapılan incelemeler sonucu tespit edilmiştir. Sonuç olarak Yaylacık mahallesi well-point sisteminin kullanılışı açısından en dar kapsamlı mahallelerden biridir.

Ovacık mahallesinde elde edilen verilerde, Y.A.S.S. genellikle 4-8 m aralığındadır. Bazı 8-9 m derinliğinde yapılan sondaj çalışmalarında ise Y.A.S.S. ne rastlanılmamıştır. Ovacık mahallesinde, Y.A.S.S. nin 6 m derinlikten daha sığ konumda olması durumunda ise geçici well-point sistemleriyle inşa süresi tamamlanmalı, yapılar için gerekli yalıtımlar yapılmalıdır.

Tepebaşı mahallesinde sıklıkla 3-6 m derinlikte Y.A.S.S. ne ulaşılmıştır. Yerleşim yerinde mutlak surette drenajlar yapılmalı, Y.A.S.S. nin derinliğine göre kalıcı veya mobil well-point sistemiyle takviye edilmelidir.

Etiler mahallesinde Y.A.S.S. ne 5-6 m derinlikte ulaşılmıştır. Yapım süresi boyunca geçici well-point sistemi yeterli olacaktır. İnşa alanının kurutulması amacıyla yapılması gereken sistem, drenaj sistemlerinin oluşturulmasının ardından devreden çıkarılmalıdır.

Fabrikalar mahallesinde, şehir boyunca uzanan bulvarın güney kısmı kot farkı olarak kuzey kısmından daha alçaktadır. Güney kısmında yapılan araştırmalarda 4-7 m sıklıkta Y.A.S.S. ne rastlanılmıştır. Bu bölgede yapımı planlanan çok katlı yapılar için temel sistemleri ciddi hesaplar sonucu teşkil edilmeli 3-4 m sıklıkta kalıcı ve geçici well-point sistemleri oluşturulmalıdır. Kuzey kısımda ise 0,00-6 m derinlikte Y.A.S.S. ne ulaşılmamıştır.

Yenimahalle, Yuva, Gürler, Kaletepe, Karşıyaka, Yenidoğan, Osmangazi, Güzeltepe mahalleleri well-point sisteminin kullanımının en dar olduğu bölgelerdir. Yerleşim yerinde 0,00-6 m derinlikte Y.A.S.S. ne rastlanılmamıştır. Gerek verilerin azlığı, gerekse Y.A.S.S. nin 6 m lik derinlikten kimi lokasyonlarda yakın ve daha derin formasyonda oluşu sebebiyle, Y.A.S.S. ne ulaşıldığı taktirde geçici well-point sistemleri yapımı uygun olacaktır.

Kurtuluş mahallesinde, farklı bölgelerde, 2-4,5 m aralığı derinlikte Y.A.S.S. ne ulaşılmıştır. Gerek yapı temelinde, gerekse barınma süresi boyunca karşılaşılabilecek olan Y.A.S.S. için, bodrum katı yapımından kaçınılmalı, ihtiyaç halinde bodrum kat seviyesi, 2 m den daha sığ konuma getirilmelidir. Drenaj sistemleri tüm yapılarda oluşturulmalı, geçici ve kalıcı well-point sistemleri oluşturulmalıdır.

Gündoğdu mahallesinde, bir lokasyonda 1,80 m derinlikte Y.A.S.S. ne ulaşılmıştır. Ada ve parselin alçak kotta oluşu ve parselde sondaj kuyusu yerine araştırma çukuru açılmış olması sebebiyle, bulunan Y.A.S.S. ni desteklemek amacıyla komşu sondaj kuyuları açılıp seviyeye birkaç kez daha bakılmalıdır. Y.A.S.S. ne ulaşılması durumunda kalıcı ve geçici well-point

sistemi yapılması uygun olacaktır. Mahalleye ait diğer, ortalama, 10 m lik sondaj kuyularında Y.A.S.S. ne rastlanılmamıştır.

Bahçelievler mahallesi, well-point sistemine çok uygun zemine sahiptir. Hemen hemen her lokasyonda çıkan 2-2,50 m derinlikte son derece sığ Y.A.S.S. ne sahiptir. Bölgede bodrum katlı yapılardan mutlak surette kaçınılmalıdır. Yapılması planlanan alt geçit çalışmasında, yeniden etüt yapılarak değiştirilmesi uygun olduğu düşünülebilir. Çok ciddi drenaj sistemlerinin yanısıra, kalıcı well-point sistemleri teşkil edilip, hem yapı alanı kurutulmalı, hem de yapı izolasyonu sağlanmalıdır. Yapı temelleri seçilirken mevcut Y.A.S.S. göz önüne alınmalıdır. Well-point sisteminin yanısıra geniş alanlar için maliyeti ucuz zemin iyileştirme metotları bölge için zorunlu tutulması uygundur. Bu yöntemler taş ve kum kolonlar, ön yükleme ve düşey dren sistemleri, titreşimli modifikasyonlar olabilir. Bu bölge için kum kolon sistemi yer altı suyunun drene edilmesi için son derece uygundur. Kum kolon sistemiyle drene edilmiş suların debileri ciddiyeyle etüt edilip, drenaj borularının çapları boyutlandırılmalı ve bölgeden bu sular uzaklaştırılmalıdır.

Hüseyinkahya ve Bağlarbaşı mahallelerinde, Y.A.S.S. ne 5,50 m civarında ulaşılmıştır. Geçici well-point sistemleriyle inşaat alanı kurutulup, drenaj sistemiyle desteklenmesi uygun olacaktır.

Başpınar, Kızılırmak ve Çamlıkaltı mahallelerinde 2-4,50 m derinlikte Y.A.S.S. ne rastlanılmıştır. Bölge geçici ve kalıcı well-point sistemleriyle kurutulup, Y.A.S.S. bölgeden uzaklaştırılmalıdır.

Ankara-Kırıkkale Devlet Karayolu güzergahı üzerinde yapılan 22 sondaj çalışmasında, yolun şehir merkezine yakın olan düşük kotlu kısmında

Y.A.S.S. ne 3-5,50 m derinlikte ulaşılmış, yüksek kotlu kısımda ise yapılan ortalama 15 m lik sondajlarda Y.A.S.S. ne genellikle rastlanılmamıştır. Bu bölge çok katlı yapılaşmaya açık bir bölgedir. Çok katlı yapılaşma beraberinde, mutlak surette, ciddi zemin iyileştirmesi getirmelidir. Y.A.S.S. ne ulaşılan kısımlarda arazi eğiminden de yararlanılarak drenaj sistemleri ve geçici well-point sistemleri yapılması uygun olacaktır.

Bu çalışma, tüm il ve ilçe merkezlerine genişletilmesinin, Türkiye’de daha önce var olmayan bir veri bankası oluşturulmasının, her bölge için verilerin belli bir merkeze aktarılmasının uygun olacağı düşünülerek yapılmıştır.

Kırıkkale’de, ilçe bazında yapılacak veri çalışmalarının aktarılmasıyla ilimizde yapılacak veri çalışması tamamlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

1. W. F. Van Impe, Soil Improvement Techniques and Their Evolution, Balkema, Rotterdam, 1989
2. Robert D. Holtz, William D. Kovacs, Geotechnical Engineering, 1981
3. O. G. Ingles, J.B.Metcalf, Soil Stabilisation, Butterworths, Sydney 1972
4. V. R. Schaefer, Ground Improvement, Ground Reinforcement, Ground Treatment Developments, 1997
5. D. A. Greenwood, Methods of Treatment of Unstable Ground, 1975
6. The Institution of Civil Engineers, Ground Treatment by Deep Compaction, New York, 1976
7. J. A. Charles, Building on Fill, 1993
8. U. Ergun, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Semineri, O.D.T.Ü, 1992
9. Federal Highway Administration(F.H.W.A.), Design and Construction of Stone Columns, U.S.A., 1983
10. U. Ergun, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Semineri, O.D.T.Ü, 1983
11. U. Ergun, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Semineri, O.D.T.Ü, 1999
12. W. Goughnour,A. Bayuk, Ground Improvement, 1979
13. Greenwood ve Kirsch, Ground Treatment by Deep Compaction, 1984
14. A. Özalp, Geoteknik Bilgisi ve Zeminler Mekaniği, 2002
15. www.nipex.com, Nipex coop, U.S.A., 2002
16. M. Mollamahmutoğlu, Zemin Yapısı ve Stabilizasyonu, Gazi Üniversitesi, 2002
17. James Warner Compaction Grouting, U.S.A., 2003

18. Melegari, Jet Grout, U.S.A., 1997
19. E. Toğrol, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Beşinci Ulusal Kongresi, Jet Grout Kolonlarının Yapımında Kalite Denetimi, 1994
20. H. T. Durgunoğlu, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi, Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirmesi Üzerine Bir Uygulama, 1998
21. E. Okay, Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirmesi, 1987
22. Raymond Concrete Pile Division, U.S.A., 2003
23. M. Mollamahmutoğlu, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Ulusal Kongresi, Ankara-Keçiören Bölgesi Kuşcağız Spor Tesisleri Zemin İyileştirmesi, 1996
24. U. Ergun, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Semineri, İller Bankası, Zemin İyileştirme Yöntemleri, 2001
25. Community Services Division Main Local Roads Center, U.S.A., 2002
26. T. C. Bayındırlık Bakanlığı, D.S.İ., Jeosentetikler, 1993
27. R.H. Yılmaz, Geogridlerin ve Geotekstillerin Şev Stabilizasyonunda Kullanımları, 1990
28. A. Birand, U. Ergun, O. Erol, Foundation Engineering 1, CE 366, O.D.T.Ü., 2002
29. Dehne, Ground Water Lowering, 1986
30. S. J. Johnson, Drillers' Journal, Dewatering by Well-Point System, 1954
31. Water Resources Technical Publication, U.S.A., 1977
32. E. Altundağ, Altundağ Mühendislik, Kırıkkale, 2004