

SIVILAŞMAYA KARŞI JET GROUT YÖNTEMİNİN KULLANILMASI
USE OF JET GROUT METHOD AGAINST LIQUEFICATION

Nazile URAL

Prof. Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı

Prof. Dr., Bilecik Şeyh Edebali University, Engineering Faculty, Civil engineering
Department, Geotechnical Department
ORCID ID: 0000-0002-2268-842X

Hüseyin ŞANAN

Yüksek Lisans Öğrenci, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı

Master Student, Bilecik Şeyh Edebali University, Engineering Faculty, Civil engineering
Department, Geotechnical Department
ORCID ID: 0009-0004-0529-7875

ÖZET

Dünya üzerinde artan nüfus ile yapılaşma ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Yapılaşma için inşaa sahası arayışı ortaya çıkmaktadır. Yapılaşma için kullanılacak inşaa sahaları her zaman istenilen mühendislik özelliklerde bulunamayabilmektedir. Mühendislik özellikleri üzerine inşaa edilen yapıyı sorunsuz şekilde karşılayabilecek sahalardan artan yapılaşma ihtiyacından dolayı yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı ise mühendislik özellikleri yetersiz zeminlerin yapılaşma için kullanılması zorunlu bir hal almaktadır. İnşaa sahası olarak kullanılacak zeminlerde farklı sorunlar ile karşılaşmaktadır. En yaygın karşılaşılan sorunlar ise zeminlerde taşıma gücü yetersizliği, aşırı oturmalar ve sıvılaşma olayıdır. Problemlili zeminlerin olduğu şekliyle kullanılması güvenli olmamaktadır. Kullanılmak istendiğinde zeminlerde bulunan bu sorunların bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bunun için zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu tür problemlili zeminlerin iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar ile farklı iyileştirme yöntemleri geliştirilmiş ve bu yöntemler ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu yöntemlerden biri de en çok karşılaşılan mühendislik problemlilerinden biri olan zemin sıvılaşmasının önüne geçerek taşıma gücünü arttıran ve oturma miktarlarını sınırlandıran dünyada ve ülkemizde de yaygın olarak kullanılan jet enjeksiyon (jet grout) yöntemidir. Jet grout zemin iyileştirme yöntemi sıvılaşma probleminin çözümünde kullanıldığı gibi bir çok farklı geoteknik mühendisliği uygulamasında da kullanılmaktadır. Uygulama kolaylığı ve ulaşılabilirliği ile çokca tercih edilmektedir. Bu çalışmada sıvılaşma problemi açıklanmış, jet grout yönteminin zemin iyileştirme ve sıvılaşma üzerindeki etkisi ile birlikte uygulama tekniği ve uygulama alanları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, Jet Grout, Zemin İyileştirme

ABSTRACT

With the increasing population in the world, the need for construction is increasing daily. The search for construction sites arises. Construction sites to be used for construction may not always have the desired engineering properties. Sites that can easily meet the structure built on engineering properties are insufficient due to the increasing construction need. Therefore, it has become mandatory to use soils with insufficient engineering properties for construction. Different problems are encountered in soils to be used as construction sites. The most common

issues are insufficient bearing capacity in soils, excessive settlements, and liquefaction. It is not safe to use problematic soils as they are. When used, these problems in soils must be eliminated. For this purpose, soil improvement methods are used. Different improvement methods have been developed with the studies carried out to improve such problematic soils and many studies have been conducted on these methods. One of these methods is the jet grout method, which is widely used in the world and our country, which prevents soil liquefaction, which is one of the most encountered engineering problems, increases bearing capacity, and limits settlement amounts. The jet grout ground improvement method is used in solving liquefaction problems as well as in many different geotechnical engineering applications. It is widely preferred due to its ease of application and accessibility. In this study, the liquefaction problem is explained, and the effect of the jet grout method on ground improvement and liquefaction together with application technique and application areas are examined.

Keywords: Liquefaction, Jet Grout, Ground Improvement

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde yaşam ile birlikte yapılaşma devam ettikçe yapılaşma için elverişli alanlar yetersiz kalmakta ve mühendislik problemlere sahip olan yapılaşma alanlarının kullanılmasına mecbur kalınmaktadır. Bu durum yapılaşma için uygun zemin koşullarına sahip olmayan alanların üzerine yapı inşaa edilebilmesi için farklı iyileştirme uygulamaları kullanılarak zeminlerin ıslah edilmesi ihtiyacını meydana getirmektedir.

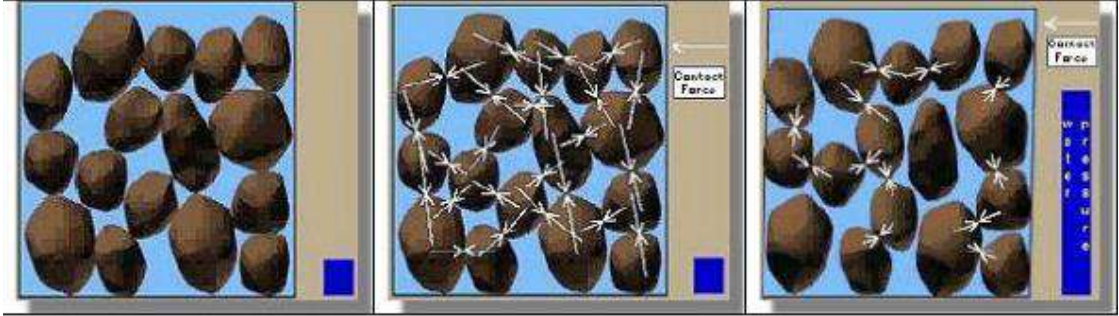
Yapılaşma için problemlen olan zeminlerde en yaygın olarak karşılaşılan sorunlar; taşıma gücü yetersizliği, zemin oturmaları ve sıvılaşma gibi sorunlardır. Ülkemizde yaşanan bir çok depremde olduğu gibi sıvılaşan zemin üzerine inşaa edilen yapıların sağlam iskelet yapısı ile doğrudan aşırı miktarda oturduğu veya yan yattığı son yaşanan 6 şubat Kahramanmaraş depremi de dahil olmak üzere bir çok depremde görülmüştür. Bu ortaya çıkan neticeler bize üzerine yapı inşaa edilecek zeminlerin problemlerinin tespit edilerek doğru iyileştirme yöntemi ile ıslah edilmesinin ve doğru projenin tasarlanmasının önemini göstermektedir.

Dünya üzerinde yaşanan farklı depremlerde zeminde yaşanan sıvılaşma olayının yapılara hasar veren önemli bir zemin problemi olduğu görülmüştür. Sıvılaşma problemi bulunan zemin üzerine inşaa edilen yapılarda yaşanan hasarlar, binaların hasar almadan yan yatması ve olduğu yerde aşırı oturmaları maruz kalarak kullanım dışı kalması şeklinde görülmüştür (Şekil 1.). Bu görülen ve yaşanan hasarlar zeminlerde bulunan sıvılaşma problemi üzerinde çalışma yapılarak, doğru iyileştirme yöntemleri ile bu zeminlerin ıslah edildikten sonra yapılaşma için kullanılması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 1. 1964 Niigata Depremi Sonrası

Sıvılaşma, deprem sebepli devirsel kesme gerilmelerine uğrayan kohezyon olmayan zeminlerde hızlı kesme dayanımı kaybıdır. Deprem sırasında ortaya çıkan kesme dalga dağılımının sebep olduğu devirsel kesme gerilmeleri gevşek, suya doymun kohezyonsuz bir zeminde hacimsel küçülmeye neden olur. Bu küçülme zemin tanelerini daha sıkı şekilde olmaya zorlar ve taneden taneye yük aktarımına sebep olur. Bu yük geçişi boşluk suyu basıncını artırır. Sismik sarsıntı çok hızlı meydana geldiği için , kohezyonsuz zemin drenajsız yüklemeye uğrar ve taneli yapı içerisinde aşırı boşluk suyu basıncı meydana gelir. Bu aşırı boşluk suyu basıncı, artmaya devam ederse, öyle bir seviyeye gelir ki, taneler arasında aktarılan temas basıncı (efektif gerilme) yok olur. Bu halde, taneli zemin katı halden daha çok bir sıvı halde gibi davranış gösterir. Bu aşamada sıvılaşma adı verilen olay gerçekleşir. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006)



Şekil 2. Suya doymun zemin tanecikleri arasındaki bağlantı kuvvetinin deprem etkisi ile azalışı (Alpaslan, 2013)

Şekil 2. de tasvir edilen zemin tanecikleri üzerinde bulunan oklar doğal durumda taneciklerin arasında bulunan ve birbirlerine teması ile doğan bağlantı kuvvetini göstermektedir. Dinamik etkiler altında gevşek ve granüler halde bulunan zeminlerde su drene olamayıp ani boşluk suyu basıncı artışı yaşanarak tanecikler arasındaki temas, yerini boşluk suyuna bırakmaktadır. Araları suyla dolan tanecikler arasındaki bağlantı kuvveti azalarak ve yok olarak zeminin sıvı gibi davranmasıyla sıvılaşma olayı meydana gelmektedir. (Alpaslan, 2013)

Sıvılaşma genel olarak yeraltı su seviyesi altındaki granüler zeminlerde deprem yükleri ile boşluk suyu basıncında artış meydana gelerek zeminin taşıma mukavemetini kaybetmesi olayıdır (Seed ve Idriss,1971). Idriss (2002) sıvılaşma problemi ile karşılaşıldığında alınabilecek kararları üç gruba ayırmıştır. Bunlar; herhangi bir önleme yoluna gidilmeden sahanın kullanılmaktan vazgeçilmesi, yapılan tasarımın sıvılaşmanın meydana çıkaracağı olumsuz tesirleri minimize edecek şekilde değiştirilmesi ve kullanılacak zeminin iyileştirme yöntemleri ile ıslah edilerek kullanılmasıdır.

Tercih edilebilecek zemin iyileştirme yöntemlerini, sıvılaşma potansiyeli tespit edilen zeminin kazılması veya yer değiştirilmesi, kompaksiyon yöntemleri, patlatma ve taş kolon gibi zemin sıkıştırma yöntemleri ile mukavemet parametrelerinin artırılması, aşırı boşluk suyunun taş kolon veya şerit direnler ile drenajı, zemin içerisinde jet grout, deep mixing vb. yöntemler ile kolonlar teşkil edilmesi, çakma veya fore kazıklı temeller oluşturulması, yeraltı su seviyesinin azaltılması ve diyafram duvar ve radye temel uygulaması şeklinde sıralayabiliriz. Zemin iyileştirme yöntemi tercih edilirken iyileştirme yönteminin uygulanabilirliği, tespit edilen mühendislik probleminin çözümüne etkinlik derecesi, maliyeti ve çevreye uyumluluğu hususları ön değerlendirme aşamasında önemli etkenler olmaktadır. Çimento ve diğer bağlayıcılarla basınçlı olarak zemin içine enjekte edilmesi ile uygulanan derin karıştırma ve jet enjeksiyon yöntemleri yüksek taşıma gücünün gerektirdiği ve imalat süresinin yeterli olmadığı zamanlarda avantaj açısından daha çok tercih edilebilecek yöntemler olarak öne çıkmaktadır (Özsoy ve Durgunoğlu 2003). Bu çalışmada da sıvılaşmaya karşı ülkemizde ve dünya da yaygın olarak kullanılan jet grout yöntemi hakkında bilgi verilecektir.

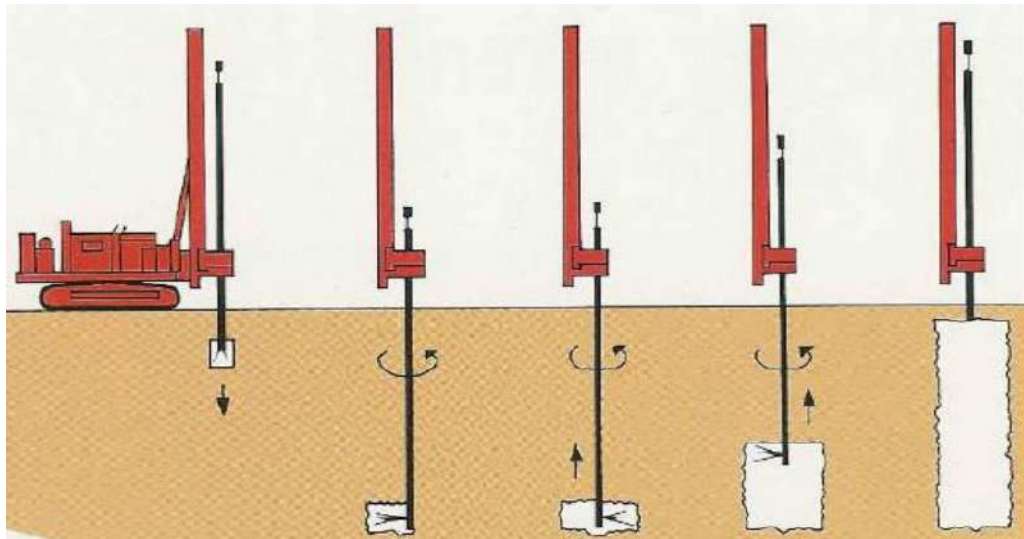
2. JET GROUT YÖNTEMİYLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ

Jet grout zemin iyileştirme yöntemi önceden su-çimento karışımı ile hazırlanan grout harcının minimum 300 bar yüksek basınç ile zemine enjekte edilmesi sonucu zemin içerisinde rijit kolonların meydana getirilmesi işlemidir. Yüksek basınç ile zemine enjekte edilen çimento şerbeti zeminin küçük yerdeğişimlere ve sıkışmaya maruz kalmasına sebep olur. Zemin içerisine yüksek basınç ile zemini aşındırarak ve sıkıştırarak enjekte edilen grout harcı zemin ile bir karışım oluşturur. Bu karışım sürekli yapıda olan ve homojen bir yapı özelliğindedir. (Küsin 2009)

Jet grout metodu çoğu yetersiz mühendislik özelliğe sahip zeminin iyileştirilmesi için kullanılabilir. Bu yöntem ile zemin içerisine enjekte edilen grout harcı yani su-çimento karışımı önceden hazırlandığı için istenen dayanımı verecek ölçüde hazırlanabilir. Bu durum zemin içerisine iyileştirme için oluşturulacak kolonların, iyileştirmeye sağlayacağı katkı için diğer yöntemlere nazaran daha hassas hesaplamalar ile projelendirilmesini mümkün kılmaktadır. Yapılan hesaplamaların yanında istenen performansın sağlanması için birim ve yaklaşık maliyetleri hakkında da önceden fikir sahibi olunabilir.

Jet grout zemin iyileştirme yöntemi farklı ve çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Farklı kullanım alanlarını, taşıma gücünün artırılması ve temellerde deplasman kontrolü, mevcut temellerin zeminlerinin iyileştirilmesi, derin temeller, yapıların güçlendirilmesi, köprü ayakları ve dolgular altında düşey yüklerin taşınması, kazılarda ağırlık tipi istinat duvarı, geçirimli zeminlerde yüksek yeraltı su seviyelerinde geçirimsizlik perdesi, diyafram duvar ve batardo, Sıvılaşma karşı düşey ve yanal deplasmanların sınırlandırılması, tünel üst cidar desteklemesi ve şev stabilitesi olarak sıralayabiliriz (Çınar 2015)

Jet grout yönteminin delgi ve enjeksiyon aşaması olarak iki aşamada gerçekleşmektedir. Jet grout yönteminin birinci adımı olarak küçük çaplı bir sondaj tiji yardımıyla zeminde delik açılır. Grout harcının çıkışı olan nozzlelar imalatı yapılmak istenen jet grout kolonunun en alt kotuna ulaştığında delgi işlemi sonlandırılmaktadır. İkinci aşama olarak enjeksiyon aşamasına geçilir. İmalat derinliğine ulaşarak delgi aşaması sonlandırılan sondaj tiji kendi etrafında döndürülerek yukarı çekilmeye başlanır ve bu yukarı çekme esnasında tij ucunda bulunan nozzlelardan grout harcı yüksek basınçla enjekte edilir. Enjeksiyon aşaması imalatı yapılmak istenen kolon yüksekliğe ulaştığında sona erer.



Şekil 3. Jet Grout Yöntemi Uygulama Aşaması (Küsin 2009)

Jet grout kolonlarının imalatı yapılırken;

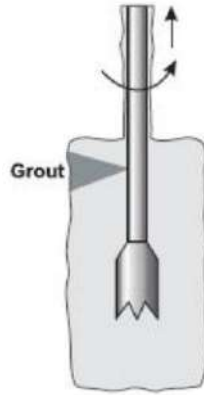
- uygulanan zemin türü,
- grout harcının bileşimi,

- enjeksiyon uygulama basıncı,
- uygulanan grout harcının debisi,
- tij ucunda bulunan nozzle çapı ve adedi,
- tij geri çekilme hızı

elde edilmek istenen jet grout kolonunun çap genişliği, süreklilik gibi özelliklerini etkileyen faktörlerdir.

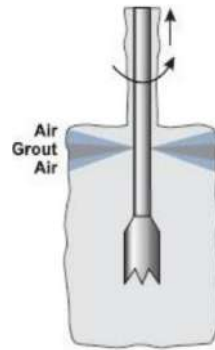
Jet grout uygulama araçları; mikser, dinlendirici, pompa, su tankı, çimento silosu, basınç göstergeleri, vanalar vb. ekipman, su saati, gidiş-dönüş hattı, ara hortumlar vb. ekipmanlardan oluşur. Jet grout uygulama metodları kullanım amacı ve imalat mekanizmalarına göre farklı isimler almaktadır. Bunlar Jet1, Jet 2, Jet 3 ve Süper Jet metodlarıdır.(Kusin 2009)

Jet 1; Bu metod jet grout uygulama yöntemlerinin en basit ve yaygın kullanılan metodudur. Zemin içerisinde parçalama ve enjeksiyon işlemi sadece çimento şerbetinin yüksek basınçla enjekte edilmesi ile yapılır. Çimento şerbeti de denilen grout harcı ortalama 200 m/sn hız ile ve 300-600 bar basınçla enjekte işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu metod ile meydana gelen jet grout kolonları imalat aşamasındaki etken parametrelere bağlı olarak çakıllı zeminlerde 60 cm den 120 cm çapa varıncaya kadar elde edilebilmektedir. Fakat bu metod kohezyonlu zeminlerde çakıllı zeminlerde olduğu kadar etkili bir metod değildir. Jet 1 çalışma yöntemi Şekil 4. de gösterilmiştir.



Şekil 4. Jet 1 Tekniği (Kusin 2009)

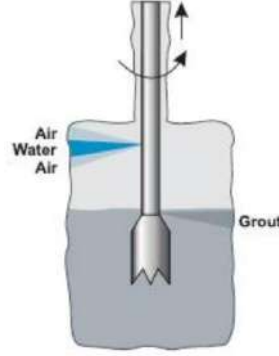
Jet 2; Bu metodda ikinci bir etki olarak hava jetinden verilen basınçlı hava ile birlikte grout harcı enjeksiyonu yapılır. 8-12 bar basınç ile verilen basınçlı hava yardımı ile sürtünmeden kaynaklı enerji kayıpları kısmen azaldığı için jet 2 ile elde edilen kolon çapları jet 1 ile elde edilenlere göre %60-%80 daha fazla büyük olmaktadır. Bu metodla orta sıkı yapıda bulunan zeminlerde 1m, gevşek yapıda bulunan zeminlerde ise 1,8 m den daha fazla kolon çaplarına ulaşılabilir. Ayrıca kohezyonlu zeminlerde Jet 2 metodu jet 1 metoduna nazaran daha etkili sonuçlar vermektedir. Jet 2 çalışma yöntemi Şekil 5. de gösterilmektedir.



Şekil 5. Jet 2 Tekniği (Kusin 2009)

Jet 3; Bu metotta jet 2 yöntemine ilave olarak yüksek basınçlı su enjekte edilir. Zemin parçalama işleminin yüksek basınçlı su ile sağlandığı ve buna eş zamanlı olarak grout harcının enjekte edildiği enjeksiyon yöntemidir. Üç borulu takım halinde çalışan bu sistemde; su ortadaki borudan 400-600 bar basınç ile, hava 8-12 bar basınç ile ara borudan, grout harcı ise 30-80 bar basınç seviyelerinde en dış borudan farklı bir nozzleden hava-su karışımının içerisine enjekte edilmektedir.

Bu metod ile meydana gelen jet grout kolonları 2m den daha büyük çap ölçülerine sahip şekilde elde edilebilmektedir. Jet 3 enjeksiyon metodu kohezyonlu zeminlerde yapılacak çalışmalarda en etkili metoddur. Çalışma yöntemi Şekil 6. da gösterilmiştir.



Şekil 6. Jet 3 Tekniği (Kusin 2009)

Süper Jet; Bu metod diğer metotlara nazaran büyük çaplı jet grout kolonlarının daha hızlı ve düşük maliyetlerde elde edilebilmesi için son zamanlarda geliştirilmiştir. Bu metod ile 3-5 m çapında jet grout kolonları elde edilebilmektedir. Bu metotta hava ile parçalanan zemin içerisine grout harcı enjekte edilerek enjeksiyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu metotta tij çekme hızı diğer metotlara göre çok daha yavaştır. Süper jet metoduyla imalatı gerçekleştirilen jet grout kolonlarının çaplarının diğer metotlara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu metod yatayda bulunan zemin suyunun kontrolünde, sıvılaştırılabilir katman iyileştirilmesinde, geçirimsiz perde duvar imalatında ve kazı yan yüzeylerinin desteklenmesinde tercih edilmektedir. Özel amaçlı uygulamalarda su yerine uygun sıvı ve süspansiyonlar kullanılabilir. Çalışma yöntemi jet 2 ile aynıdır. Jet grout uygulaması ile elde edilen kolon çapları zemin cinsine ve seçilen uygulama metoduna göre değişiklik göstermektedir. Enjeksiyon esnasında çimento ile birlikte, su ve hava kullanmak suretiyle kolon çapı arttırılabilmektedir. Ülkemizde çoğunlukla yaygın şekilde Jet 1 ve Jet 2 metotları kullanılmaktadır. Çizelge 1. de jet grout uygulama metotlarının imalat parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 1. Jet Grout Yöntemi İmalat Parametreleri (Lunardi, 1977)

SİSTEM	ENJEKSİYON TİPİ	BASINÇ	NOZZLE ADEDİ VE ÇAPI	ÇEKME HIZI	DÖNME HIZI	SU / ÇİMENTO ORANI	POMPA KAPASİTESİ
		(bar)	(adet,mm)	(cm/dak)	(rpm)	-	(lt / dak)
JET 1	Çimento	400-550	1-2x2-5	15-100	5-15	1.0-1.5	70-600
JET 2	Çimento	400-550	1-2x2-5	10-30	4-8	1.0-1.5	70-600
	Hava	10-12	-	10-30	-	-	4000-10000
JET 3	Çimento	50-100	1-2x4-5	6-15	4-8	1.2-1.5	80-200
	Hava	10-12	-	6-15	-	-	4000-10000
	Su	-	-	6-15	-	-	40-100

Zeminler deprem anında titreşim ile kayma gerilmelerine maruz kalırlar. Özellikle sıvılaşma problemi bulunan zeminlerde, maruz kaldığı kayma gerilmelerini karşılayamadıkları taktirde taşıma gücünü yitirme ve aşırı oturma gibi sonuçlar görülür. Sıvılaşan zeminlerde kayma gerilmelerini karşılayabilmesi için belli aralıklar ile jet grout kolonları teşkil edilebilir. Bu teşkil edilen kolonlar ile zemin arasında bir gerilme dağılışı gerçekleşir. Bu gerilme dağılışının hesabında, kolonlar ile kolonlar etrafında bulunan zeminin şekil değiştirmelerinin deprem anında aynı olacağı teziyle hareket edilir. Bu halde deprem anında meydana gelen ve zeminin tek başına karşılayamadığı kayma gerilmeleri, kolon ile kolon etrafında bulunan zemin arasındaki rijitlik farkı sebebiyle zemine nazaran daha rijit olan kolonlar üzerinde toplanacaktır. Böylelikle zeminin karşılayamadığı kayma gerilmeleri çoğunlukla jet grout kolonları tarafından karşılanacak ve zeminde taşıma gücü kaybı, aşırı oturma gibi sorunlar ortadan kalkacaktır (Durgunoğlu 2004).

Lunardi (1977) çalışmasında jet grout yönteminin tarifi yapılmış ve bu yöntemin uygulandığı bazı mühendislik problemlerini irdelemiştir. Bunun yanında jet grout yönteminin zemin cinslerine uygunluğu, tasarım kriterleri, yöntemin uygulanmasındaki teknolojik gelişmeler değerlendirilerek bazı vaka analizlerine yer vermiştir. Sonuçta, yöntemin zemin iyileştirmesi için kullanımında etkili bir yöntem olduğu ve daha etkin şekilde kullanılması için deneysel çalışmalar ile araştırmaların devam ettirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Baumann (1984) çalışmasında farklı profillere sahip ve jet grout zemin iyileştirme yöntemiyle iyileştirilmesi gerçekleştirilen zeminlerde, jet grout kolonlarının bileşimindeki su-çimento karışım oranlarına bağlı olarak alınan numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneylerinden elde edilen sonuçlardaki farklılıkları irdelemiştir. Yedi birbirinden farklı zemin profilinde uygulanan jet grout yöntemi ile imalatı gerçekleştirilmiş kolonlardan alınan numuneler üzerinden elde edilen sonuçlar, zeminlerdeki su-çimento oranına göre Çizelge 2. de verilmiştir.

Çizelge 2. Su – Çimento Oranına Bağlı Kolon Dayanımları (Bauman, 1984)

Zemin Tipi	Kolon Basınç Dayanımları (Mpa)						
	Çakıl	Kum	Silt, Kil	Organik Zemin	Çakıllı Kumlu	Kumlu Siltli	Siltli Killi
Kolon No	1	2	3	4	5	6	7
Su / Çimento = 0,67	≤ 20	≤ 15	≤ 12	≤ 3	12-18	10-14	6-10
Su / Çimento = 1	≤ 20	≤ 15	≤ 12	≤ 3	6-10	5-7	3-5

Trevi (1994) çalışmasında elastisite modülü ile jet grout kolonlarının tek eksenli basınç deneyinden elde edilen dayanım değerleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Yapılan deneylerde siltli kumlu ve siltli zeminlerden alınan numuneler kullanılmıştır. Sonuçta, jet grout kolon dayanımının elastisite modülü ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir.

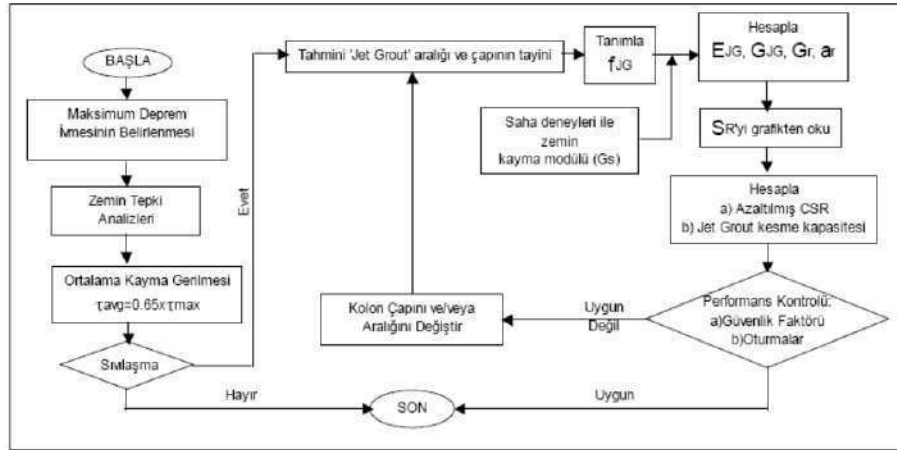
Durgunoğlu vd. (1998) çalışmasında bir vaka analizi yapmışlardır. Vaka analizi ise 4 katlı bir yapının oturacağı zeminde jet grout yöntemi ile yapılacak zemin iyileştirmesinin değerlendirilmesini içermektedir. Projelendirme aşamasında sahadan alınan numuneler ile elde edilen laboratuvar verileri ışığında tasarımlar yapılmış, yüzeysel temel kullanılması halinde yapıda aşırı miktarda oturmalar olacağı tespit edilmiştir. Bu problemin aşılması için jet grout yöntemi tercih edilerek değerlendirilmiştir. Sonuçta, yapılan hesaplamalar ile projelendirilen jet grout kolonları uygulanmış, uygulama sonrasında kalite kontrol için imalatı yapılan kolonların çapları ve yükleme deneyleri ile basınç dayanımları tespit edilmiştir.

Wong vd. (1999) çalışmasında singapurda yapılan 18000 m² alana sahip temel kazısında güçlendirmesi jet grout kolonu ile yapılmış palplanş ve diyafram duvarlarının kazı yönündeki deformasyonları incelemiş ve deformasyonların azaldığını gözlemlemişlerdir. İyileştirme sonrası drenajsız kayma mukavemetinin 300 kPa' dan 1150 kPa, elastisite modülünün ise 150 MPa dan 350kPa değerlerine yükseldiği tespit edilmiştir. Güçlendirme öncesi ve sonrasında yapılan hendek kazılarına ait inklinometre ölçümleri ile de duvarda oluşan sehim miktarları ölçülmüş ve iyileştirme sonrasında sehim miktarının azaltığı tespit edilmiştir. Sonuçta, elde edilen değerler ile jet grout yönteminin iyileştirme çalışmalarında etkin bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Wong ve Poh (2000) çalışmasında jet grout kolonlarının derin kazılarda zemin göçmelerinin engellenmesi için kullanılmasını irdelemişlerdir. Yapılan çalışma ile bitişik nizam bir yapının bodrum kat kazısında kazı yan yüzeylerindeki hareketi engellemek için jet grout kolonları teşkil edilmiştir. Sonuçta, kolon teşkili ile birlikte kazının diğer yüzünde kazıya ters yönde deformasyon sağlayarak göçmeyi engellediği ve bitişik yapıların bu tür kazı çalışmalarında jet grout kolonları kullanılarak daha az etkilenmesinin sağlanabileceği belirtilmiştir.

Durgunoğlu vd. (2002) çalışmasında İzmir-Tire Organize sanayi bölgesinde yapılacak ve zeminin iyileştirilmesinde jet grout yöntemi kullanılacak bir zemin ıslah çalışmasının vaka analizini yapmışlardır. İnşaa sahasında sıvılaşma problemi tespit edilmiş ve bu problemin bertaraf edilmesi için jet grout zemin iyileştirme yöntemi kullanılmıştır. Uygulama projesi hazırlanmadan önce ön deneme uygulamaları yapılmış ve bu kolonlardan elde edilen veriler ile uygulama projeleri hazırlanmıştır. Kullanılacak parametrelerde ön deneme kolonlarından elde edilen verilerin önemi belirtilmiştir. Ön deneme kolonlarında jet 1 ve jet 2 metodu ile kolon imalatı gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, yapılan deneylerle jet 1 metodunun jet 2 metoduna göre daha yüksek dayanımda kolonların elde edilmesini sağladığı tespit edilmiştir. Fakat asıl problemin sıvılaşma olması sebebiyle daha büyük kesitli kolonların imal edilmesini sağlayan jet 2 metodu kolon teşkilinde tercih edilmiştir.

Özsoy ve Durgunoğlu (2003) çalışmasında jet enjeksiyon (Jet Grouting) ve derin karıştırma (Deep Mixing) zemin iyileştirme yöntemleri ile sıvılaşmaya sebep olan etkilerin azaltılması için yeni bir hesap yöntemi önermişlerdir (Şekil 7.). Önerilen metod Fort-Otosan Gölcük Tesisleri inşaat sahasında gerçekleştirilen zemin iyileştirme çalışmaları ile kıyaslanmıştır. Sonuçta, önerilen metodun yapılacak uygulamalarda maliyet açısından ekonomik dayanım açısından ise güvenilir neticeler elde edilmesi için faydalı olacağı belirtilmiştir.



Şekil 7. Önerilen Hesap Algoritması (Özsoy – Durgunoğlu, 2003)

Bell vd. (2003) çalışmasında imalatı yapılan süper jet kolonlarından alınan karot numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneylerini değerlendirmişlerdir. 3, 7, 14 ve 28 günlük numuneler ile yapılan deneylerden basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Sonuçta, elde edilen verilerden jet gout kolon mukavemetlerinin geçen zaman ile doğru orantılı olarak arttığı ve beklenen mukavemete 28. Gün de erişildiği belirtilmiştir.

Durgunoğlu (2004) çalışmasında problemlili zeminlerin ıslah edilebilmesi için kullanılabilen zemin iyileştirme yöntemlerini açıklamıştır. Bu yöntemler içerisinde ülkemizde de yaygın olarak kullanılan jet grout zemin iyileştirme yönteminin kullanım alanları, imalat parametreleri, kalite kontrol ve proje kriterlerinin tahkik deneyleri açıklanmıştır. Sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörünün hesaplamasında hesaplama adımları açıklanmış daha sonra Chinese kriterinin ince daneli zeminlerde doğruluğu tartışılarak farklı bir öneri getirilmiştir. Jet grout kolonlarının sıvılaşma probleminin bertaraf edilmesi için kullanımı detaylı olarak anlatılmış ve tasarım metodu özetlenmiştir. Bu metod bir vaka analizi ile desteklenmiştir. Sonuçta, jet grout yönteminin zeminin düşey ve yatay deplasmanını sınırlandırarak zemin iyileştirmesinde etkin bir yöntem olduğu, ayrıca uygulama kolaylığı açısından mevcut yapıların zeminlerinin iyileştirilmesinde dahi kullanılabilenliği belirtilmektedir.

Sert ve Önalp (2007) çalışmasında kayseride 15m'lik turba tabakası ve onun üzerinde bulunan 3m'lik dolgu üzerine boru dilme makinesini taşıması için inşaa edilen platformda meydana gelen oturmaların önüne geçilmesini amaçlamışlardır. Platform inşaaından sonra dolgu tabakasında oturmalar meydana geldiği ve makinenin üzerine yerleştirilemeyecek bir hal aldığı görülmüştür. Yapılan çalışmada gözlenen oturmaların jet grout kolonları ile azaltılması amaçlanarak uygulama yapılmıştır. Sonuçta, uygulama sonrasında yerinde kontroller yapılarak jet grout iyileştirme yönteminin amacına ulaşarak oturmaları sınırlandırdığı belirtilmiştir.

Sert vd. (2007) çalışmasında İstanbul Beykoz Belediyesi sınırlarında yapılacak köprü için proje aşamasında zemin değerlendirmesi yapmışlardır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda zeminin istenilen taşıma gücünü karşılamadığı ve aşırı zemin oturmalarının oluşarak bu hali ile zeminin istenilen performansı sağlayamayacağı sonucuna varılmıştır. Bu problemlerin önüne geçebilmek için köprü ayağı altında oturmaların yaklaşık 50m derinlikte bulunan ana kayaya

indirilmiş çelik profil kazıklar yardımıyla sıfırlanabileceği, yaklaşım dolgusu altında oluşacak uzun süreli oturmaların ise 15m boyunda, 65cm çaplı jet grout kolonları kullanılarak önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Sonuçta, yapılan analizler ile jet grout kolonlarının oturmaları kabul edilebilir seviyelere çekilebileceği belirtilmiştir.

Yılmaz vd. (2008) çalışmasında Beydağ barajı yapım sahasındaki alüvyon zeminde sıvılaşma problemi ile karşılaşmış ve sıvılaşmanın engellenebilmesi için jet grout zemin iyileştirme yöntemini tercih etmişlerdir. Uygulanan jet grout kolonları birbirine bindirmeli olarak blok halinde imal edilmiştir. İmalat sonrasında yapılan saha testlerinden elde edilen veriler kullanılarak jet grout kolonlarının baraj yapısı altında kalan zeminde sıvılaşma direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Sonuçta, baraj inşaa sahasında yapılabilecek en uygun ve düşük maliyetli iyileştirme yönteminin jet grout olduğu ve bu yöntemin tercih edilmesi ile iyileştirme yapılmadan uygulanabilecek alternatif tasarıma nazaran Devlet Su İşleri kurumunun 60 milyon dolar kar ettiği belirtilmiştir.

Mitchell ve Hon (2008) çalışmasında ince malzeme oranı %15 - %20 değerleri arasında olan kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşma probleminin önüne geçilebilmesi için farklı yöntemleri uygulanabilirlik ,etki ve maliyet açısından değerlendirmişlerdir. Sonuçta, diğer yöntemlere nazaran jet grout kolonun tercih edilebileceği ve sıvılaşmanın azaltılmasında etkili olduğu belirtilmiştir.

Akan ve Keskin (2014) çalışmasında, jet grout zemin iyileştirme yöntemi yardımıyla zemin içerisinde oluşturulan kolonların serbest basınç dayanımına etki eden hususları değerlendirmişlerdir. Serbest basınç dayanımının jet grout kolonunun imalat parametrelerine ve zeminin iyileştirme yapılmadan önceki standart penetrasyon sayısına bağlı olarak değişimi değerlendirilmiştir. Sonuçta, yapılan analizlerle kullanılan parameteler arasında en az etken standart penetrasyon sayısının, en çok etken ise çekme hızının olduğu belirtilmiştir. Jet grout kolonlarının serbest basınç dayanımının standart penetrasyon sayısı ve nozul çapının artması ile doğru orantılı olarak arttığı, çekme hızı ve ince dane oranının artmasıyla azaldığı belirtilmiştir.

Tonyalı vd. (2015) çalışmasında Samsun-Canik ilçesinde bulunan 1344 Konut inşaatı işi içerisinde jet grout yöntemi ile yapılan zemin ıslahı çalışması sonucunda zemin tabakalarında meydana gelen parametre değişimlerini sismik dalga hız ölçümleri ile incelemişlerdir. Sonuçta, yapılan değerlendirmeler ile jet grout kolonları ile zeminin sıvılaşmaya karşı direncinin, mukavemet oranının ve sıklık oranının derinlemesine arttığı belirtilmiştir.

Demir ve Özener (2019) çalışmasında sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan plaxis programında zemin modellerinden biri olan UBC3D-PLM modeli ile literatürde bulunan santrifüj deneyini modelleyerek sayısal ortamda elde edilen sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır. UBC3D-PLM modeli ile sıvılaşma davranışı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Modelde gereken parametreler açıklanmış ve sayısal modelin gerçek davranışını sağlayacak şekilde kalibre edilmiştir. Sonuçta, yapılan analizler ile sıvılaşma olayı başlangıcı ile boşluk suyu basıncı meydana gelmesi ve ivmeler açısından sayısal analizlerden elde edilen değerlerin deneysel verilerle tutarlılık gösterdiği belirtilmiştir. Fakat aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi ve dolaylı olarak deplasman yani şekil değiştirme seviyelerinde aynı tutarlılık elde edilemediği belirtilmiştir.

Dağdeviren (2019) çalışmasında yapı zeminlerinin mühendislik hesaplamalarının yapılırken karşılaşılan en önemli sorunlardan biri olan zeminlerde sıvılaşma problemi hakkında bilgiler vermiştir. Türkiye bina deprem yönetmeliğinde bulunan zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi için verilen formüller irdelenmiştir. İnşaat projelerinde zeminin sıvılaşma potansiyelini etkileyen bir çok faktör olduğu ve bunların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine uygun olarak değerlendirilmesinde ve zemin etüt değerlerinde hatalar yaşanabildiğini belirtmiştir. Kumlu zeminlerde yapılacak değerlendirmelerde yaşanabilecek zorluklara karşı kolaylık oluşturması ve yol göstermesi için, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde bulunan

standart penetrasyon deneyi değerlerine bağlı olarak yapılan sıvılaşma analizlerini pratik hale getirebilmek ve yapılan analizleri daha kolay değerlendirebilmek için farklı değerlere sahip kumlu zeminlerde yapılan değerlendirmelerle sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının elde edilmesini sağlayan grafikler çıkarılmıştır. Ayrıca sıvılaşma potansiyeli bulunan zeminlerde yapılacak iyileştirme çalışmaları için yapılacak kolon teşkilinde kullanılacak kolonların rijitliği ve yerleştirme mesafeleri gibi tasarım parametrelerinin elde edilmesini sağlayan kartlar geliştirilmiştir.

Mungan vd. (2020) çalışmasında 4 katlı bir yapının bulunduğu zemini ele almış, zeminde sıvılaşma ve oturma gibi mühendislik sorunlarını bertaraf etmek için jet grout ve darbeli kırmataş kolon zemin iyileştirme yöntemlerini önermişlerdir. Bu iki yöntemden birinin tercih edilmesi için zeminin dinamik ve statik etkilere maruz kaldığındaki davranışı sonlu elemanlar yöntemi ile Plaxis 2D programında analiz edilmiştir. Sonuçta, darbeli kırmataş kolon ile yapılan zemin iyileştirme yöntemi ile zeminde oluşan oturmalar %30 oranında azalırken, jet grout ile iyileştirilen zeminde % 60 oranında azalma değerleri elde edilmiştir.

Şahin vd. (2022) çalışmasında Kocaeli’de bulunan bir trafo montaj-demontaj binasının üzerinde bulunduğu zeminde yapılan zemin etüdüleri sonucunda sıvılaşma probleminin olduğu, bu problemin bertaraf edilmesi için ise jet grout zemin iyileştirme yöntemini tercih ederek değerlendirmişlerdir. Tercih edilen jet grout kolonlarının sıvılaşma üzerindeki etkisini göstermek için sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan MIDAS GTS NX programında UBCSAND modeli kullanılarak zemin modellemesi yapılmıştır. Sonuçta, analiz modelinde aşırı boşluk suyu basıncı meydana gelmesi üzerinden sıvılaşma durumuna jet grout kolonlarının etkisi değerlendirilmiş ve azaltıcı yönde etki ettiği belirtilmiştir.

Kaymaz ve Özden (2023) çalışmasında jet grout kolonlarının sıvılaşma üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Değerlendirme için Plaxis programında UBC3D-PLM modeli kullanılmış, sıvılaşmanın ölçülmesinde en önemli parametre olan aşırı boşluk suyu basıncı değerinin jet grout kolonlarının serbest basınç dayanımı ve soket boylarına bağlı değişimi incelenmiştir. Sonuçta, yapılan analizler ile soket boyu artmasıyla boşluk suyu basıncında azalma görülmüştür. Bunun yanında tek eksenli basınç dayanımının da sıvılaşma üzerinde etkili olduğu ve deprem anında makaslama gerilmelerine karşı koyması açısından yüksek tutulması gerektiği belirtilmiştir.

3. SONUÇ

Kentleşmenin her geçen gün arttığı dünya üzerinde, yapılaşma için her zaman istenilen mühendislik özelliklerinde inşaat sahaları olmayabilir. Dünya üzerinde kullanım ve yaşam alanlarının artmasıyla yapılaşma için elverişsiz koşullara sahip zeminler inşaat sahası olarak seçilmek zorunda olunabilir. Bu durum problemlili zeminlerin iyileştirme yöntemleri ile ıslah edilerek kullanılmasını gerektirmektedir. Zeminlerde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri de sıvılaşma problemidir. Sıvılaşan zeminlerin ıslah edilebilmesi için farklı iyileştirme yöntemleri hakkında çalışmalar yapılmıştır ve sahada kullanılmaya başlanılmıştır. Bu iyileştirme yöntemlerinden biri de dünya da ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan jet grout yöntemidir. Bu çalışmada sıvılaşma problemi açıklanarak jet grout yöntemi, kullanım alanları ve bu yöntemin zeminin iyileştirilmesi ile sıvılaşma probleminin ortadan kaldırılması üzerindeki etkilerinden bahsedilmiştir. Sonuçta, jet grout yönteminin zemin iyileştirmede ve sıvılaşma probleminin önüne geçilmesinde kullanılması irdelenmiştir.

KAYNAKLAR

H. Turan DURGUNOĞLU, 2004. Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı. TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 431-2004/3

- SEED H. B., IDRİSS I. M., 1971. "Simplified Procedure For Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal Of The Soil Mechanics And Foundations Division, Asce, Vol.105 (Gt2), Pp. 201 - 255, 1979
- Baran ÖZSOY ve Turan DURGUNOĞLU, 2003. Sıvılaşma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin-Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması.Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul
- Cemal Caner KÜSİN, 2009. Jet Grout Yöntemi İle İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi.Yüksek Lisans Tezi.Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Adana
- Nuray ALPASLAN, 2013. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi Cilt 3,Sayı 2
- Hatice ÇINAR, 2015. Zemin İyileştirilmesinde Jet Grout Yöntemi Ve Uygulamaya Yönelik Proje Çalışmaları Yüksek Lisans Tezi, T.C. Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi,Erciyes
- LUNARDI P., 1977. "Ground Improvement By Means Of Jet-Grouting", Ground Improvement, Issmfe Thomas Telford, Vol 1 No:2, Pp. 65 - 86.
- Murat MOLLAMAHMUTOĞLU Ve Fatih BABUÇCU, 2006. Zeminlerde Sıvılaşma Analiz Ve İyileştirme Yöntemleri Kitabı
- BAUMANN V., 1984. "Das Soilcrete - Verfahren İn Der Baupraxis", Vortrage Der Baugrundtagung , Duesseldorf: 49 - 83. Dgeg.
- DURGUNOĞLU H. T., KULAÇ H. F., ORUÇ K., ÖGE C.E., EKER F.Ş., 1998. "Jet Grout Yöntemi İle Zemin İyileştirme Üzerine Bir Uygulama", Zemin Mekaniği Ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- WONG K.S., LI J.C., GOH. A.T.C., POH K.B., OISHI E., 1999. "Effect Of Jet Grouting On Performance Of Deep Excavation İn Soft Clay", Proceedings Of The 5th International Symposium On Field Measurements İn GeomechanicsFmgm99, Singapore, 279 - 284.
- WONG J.G., POH T.Y., 2000. "Effects Of Jet Grouting On Adjacent Ground And Structures", J. Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, 247 - 256.
- DURGUNOĞLU H.T., KULAÇ H.F., ORUÇ K., YILDIZ R., ALTUGU T., EMREM C.A., 2002. "Sıvılaşmaya Karşı Jet Grout Yöntemi İle Zemin Islahına Ait Bir Vaka Analizi", Zemin Mekaniği Ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- BELL, KENNETH R., CLEMENTE, JOSE L.M., GULARTE, FRANCIS B., LOPEZ, ROBERTO A., 2003. Superjet Grouting Reduces Foundation Settlement For La Rosita Power Plant İn Mexicalli, Mexico, New Orleans, Pp. 354 - 364, Usa.
- SERT S., ÖNALP A., 2007. "Turba Üzerine Yapılmış Rijit Platformun Oturmaları Ve Kontrolü", Zmtm 1. Özel Konulu Sempozyumu: Teori Ve Uygulamada Zemin - Yapı Etkileşimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Sayfa: 181 - 185, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- YILMAZ D., BABUÇCU F., BATMAZ S. VE KAVRUK F., 2008. Liquefaction Analysis And Soil Improvement İn Beydag Dam, Geotechnical And Geological Engineering, 26, 211- 224.
- MİTCHELL, J. K. VE HON, P. E., 2008. Mitigation Of Liquefaction Potential Of Silty Sands, Research To Practice İn Geotechnical Engineering Congress, March, New Orleans, Louisiana, United States.
- Recep AKAN, Sıddıka Nilay KESKİN, 2014. Jet Grout Yönteminin Zemin İyileştirmesine Katkısının Ve Bu Yöntemde Kullanılan Parametrelerin Etkilerinin İrdelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
- İlkay TONYALI, Çağlar HOROZ, Serkan ÇAĞLAR, 2015. Jet Grouting Yöntemi İle Zemin Islahı Sonrası Parametre Değişimlerinin Değerlendirilmesi, 6. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana
- Selçuk DEMİR, Pelin ÖZENER, 2019. Sıvılaşmanın Ubc3d-Plm Model İle Tahmin Edilmesi: Santrifüj Deneyi Örneği, Teknik Dergi, Yazı 550

Uğur DAĞDEVİREN, 2019. Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Zeminlerin Sıvılaşma Analizi Ve Sıvılaşmaya Karşı İyileştirilmesi, Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama Ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler Ve Çevre Dergisi

Hüseyin MUNGAN, Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER, Hasan ÖZKAYNAK, 2020. Yüzeysel Temelli Yapı Grubunda Yapı Zemin Etkileşiminin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, Euroasia Journal Of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences International Indexed And Refereed Issn: 2667-6702

Gizem ŞAHİN, Onur TOYGAR, Mehmet Rifat KAHYAOGLU, 2022. Sıvılaşma Riskinin Azaltılması İçin Kullanılan Jet Grout Kolonlarının Verimliliği Üzerine Bir Sayısal Çalışma, Türk Deprem Araştırma Dergisi 4(2), 210-229

Barış KAYMAZ, Gürkan ÖZDEN, 2023. The Effects Of Jet-Grout Column Socket Length And Uniaxial Compression Strength On Liquefaction, 9. Geoteknik Sempozyumu , İstanbul