

DÜŞÜK BASINÇLI ÇİMENTO ENJEKSİYONU İLE ZEMİN YOĞUNLUĞUNUN DEĞİŞİMİ

Aydın KAVAK

Yrd. Doç. Dr.
KOÜ İnş. Müh. Böl.
Kocaeli, TÜRKİYE

Utkan MUTMAN

Arş. Gör.
KOÜ İnş. Müh. Böl.
Kocaeli, TÜRKİYE

Başta 1999 Marmara Depremi olmak üzere birçok depremlerde bazı bölgelerde oluşan hasarlara zemin sıvılaşmasının neden olduğu bilinmektedir. Sıvılaşma riskini azaltmak için maliyeti diğer yöntemlere göre daha uygun olan düşük basınçlı çimento enjeksiyonu uygulanabilir. Zemin sıvılaşmasını önlemek veya azaltmak amacıyla gradasyonunda 0,6 mm.'den daha büyük daneler bulunan zeminlere düşük basınçlı çimento enjeksiyonu uygulanabilmektedir. Bu çalışmanın amacı da sıvılaşma potansiyeli bulunan zemin numunesine uygulanacak enjeksiyon sonucunda, zemin yoğunluğunun su/çimento ve enjeksiyon basıncı ile değişiminin belirlenmesidir. Bu amaçla Japonya İnşaat Mühendisleri Birliğinin sunduğu, sıvılaşma riski bulunan bölgede kalan gradasyona relatif sıklığı 50 ± 5 olacak şekilde kalıplar içerisine yerleştirilen zemin numunelerine laboratuarda, 100, 150 ve 200 kPa basınç altında, su/çimento oranı 0.7/1, 1/1 ve 1.5/1 olan çimento karışımı kullanılarak enjeksiyon yapılmıştır. Enjeksiyon deneyleri sonucunda elde edilen numunelerin yoğunluğu 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda belirlenmiştir.

GİRİŞ

Depremlerde suya doygun kumlu zemin tabakalarında sıvılaşmanın oluşmasına yol açan ana neden yer titreşimlerinden dolayı meydana gelen tekrarlı kayma gerilmeleri sonucunda boşluk suyu basıncının çevre basıncına eşit bir değere gelecek şekilde artmasıdır. Kohezyonsuz zeminler, özellikle sıvılaşma olasılığı açısından kumlu zeminler, tekrarlı yükler altında bulduklarından daha sıkı konuma geçmek isterler. Suya doygun zeminlerde ise tekrarlı yükler altında kuru zeminlerde gözlenen hacimsel sıkışmaya daneler arasını dolduran boşluk suyu basıncı engel olmaktadır. Suyun sıkışabilirliğinin zemin dane yapısına karşın çok küçük olması boşluk suyu basıncının artmasına yol açar. Kumlarda permeabilite yüksek olmasına rağmen genellikle süre açısından bir deprem sırasında drenaj yolu uzunluğu düşünülürse, bu nedenden dolayı boşluk suyu basıncında oluşabilecek sönüm miktarının ihmal edilebilir olduğu çoğunlukla varsayılmıştır. Boşluk suyu basıncı artarak çevre basıncına eşdeğere yaklaşırken kumlarda şekil değiştirmeler gözlenmeye başlar. Eğer kum gevşek ise boşluk suyu basıncı ani bir artış göstererek çevre basıncına eşit olur ve kumda büyük şekil değiştirmeler oluşur.

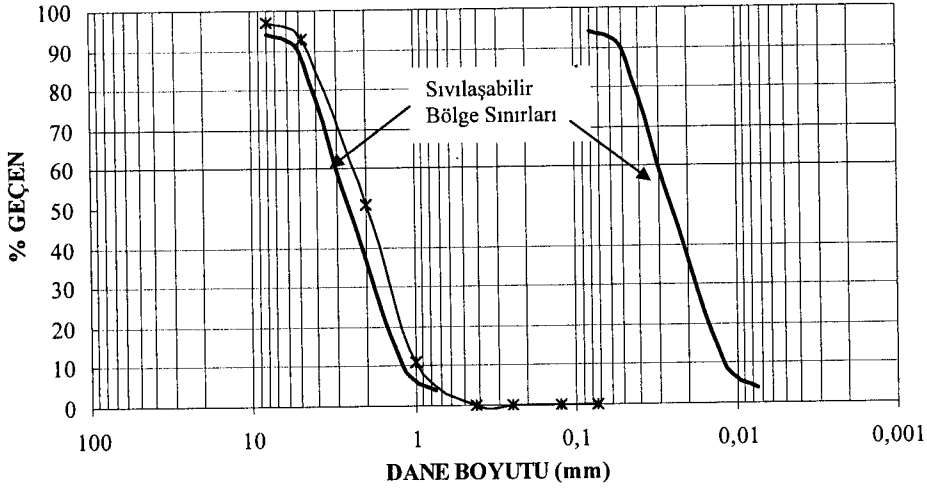
Enjeksiyon deyimi yaklaşık 1800'lü yıllardan bu yana kumlu, çakıllı zeminleri, boşluklu ya da çatlaklı kayaları doldurup mühendislik özelliklerini değiştirmek ve sağlamlaştırmak amacıyla zemine çeşitli maddeleri basınçla vermek anlamında kullanılır. İçitimi, şerbetleme ve grouting kelimeleri de enjeksiyon yerine kullanılabilir. Çimento enjeksiyonlarında en önemli faktör su ve çimento miktarıdır. Enjeksiyon yapılabilmesi için çimento karışımlarında akışkanlık, su kuma ve dane boyutu önem taşır. Enjeksiyon işleminden sonra ise büzülme, hidrotasyon ısı ve mukavemet özellikleri önemlidir. Su/çimento oranının artışı durumunda sulanmanın arttığı ve mukavemetin düştüğü görülmektedir. Su/çimento oranının düşük olması

durumunda da enjeksiyon uygulamasının zorlaştığı görülmektedir. Zemin enjeksiyonu çok çeşitli amaçlar için uygulanmaktadır. Fakat bu yöntemin bazı çeşitleri maliyetinin yüksek olması nedeniyle her projede uygulanamamaktadır. Özellikle 1999 Marmara Depreminde bazı bölgelerde oluşan hasarlara zemin sıvılaşması neden olmuştur. Bu nedenle zemin sıvılaşmasını önlemek veya azaltmak amacıyla gradasyonunda 0,6 mm. daha küçük daneler bulunmayan zeminlere düşük basınçlı çimento enjeksiyonu uygulanabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı sıvılaşma potansiyeli bulunan zemin numunesinin uygulanacak enjeksiyon sonucunda zemin yoğunluğunun su/çimento oranı ve enjeksiyon basıncı ile değişiminin belirlenmesidir. Bu amaçla Japonya İnşaat Mühendisleri Birliğinin sunduğu, sıvılaşma riski bulunan bölgede kalan gradasyona sahip zemin numuneleri üzerinde laboratuarda, 100, 150 ve 200 kPa basınç altında su/çimento oranı 1/1, 1.5/1 ve 2/1 arasında değişen çimento karışımı kullanılarak enjeksiyon deneyleri yapılmıştır. Enjeksiyon deneyleri sonucunda elde edilen numunelerin yoğunlukları 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda ölçülmüştür.

Zemin Numunesinin Özelliği

Deneylerde kullanılan zemin numuneleri İzmit Aslanbey Ocağından alınmıştır. Enjeksiyon edilecek numuneler çalışmanın amacı doğrultusunda, Japonya İnşaat Mühendisleri Birliğinin belirttiği sıvılaşma riski bulunan zeminler için verilen gradasyon sınırlarının içinde kalması gerekmektedir. Bunun için alınan numuneler 8 mm., 4,76 mm., 2 mm., 1 mm., 0,425 mm. eleklerden elenmiş ve bu eleklerin üzerinde kalan daneler sırasıyla %3, %4, %42, %40 ve %11 oranlarda katılarak istenilen gradasyon sağlanmıştır.



Şekil 1. Deneylerde Kullanılan Gradasyon

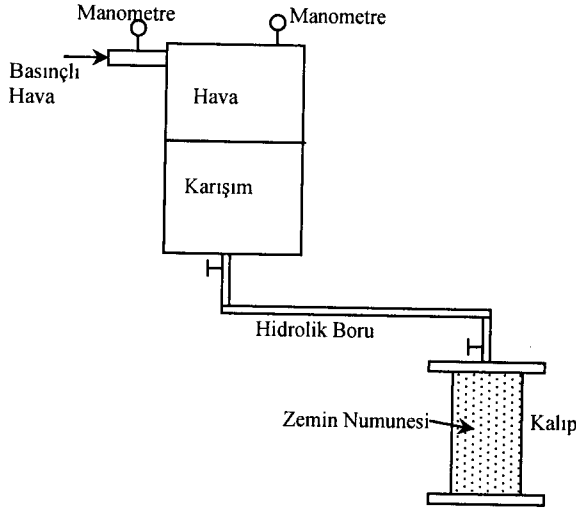
Çimento Özelliği

Deneylerde Nuh Çimento Fabrikası tarafından üretilen PÇ 42.5 (CEMI 42.5 R) olarak isimlendirilen portland çimentosu kullanılmıştır.

Deney Düzenegi

Çalışmanın amacına uygun olarak düzenek kullanılmıştır. Basınç tankı 20 cm. çapında 20 cm. yüksekliğinde olmak üzere yaklaşık olarak 6250 cm^3 (6.25 lt.) hacindedir. Tankın üst seviyesinde kompresör bağlantısı, alt seviyesinde kalıplara bağlantı vanası konulmuştur. Tankın girişinde kompresörden gelen basıncı ayarlamak için vana ve giren basıncı görmek için manometre konulmuştur. Enjeksiyon için gerekli basınç 800 kPa basınç verebilen kompresör ile sağlanmıştır. Tankın kapağına içindeki basıncı görmek için ayrıca bir tane daha manometre konulmuştur. Enjeksiyon kalıpları 5 cm. çapında 10 cm. yüksekliğinde silindir şeklindedir. Başlıkların ortasına giriş vanası konulmuştur. Kalıpların başlık ve tabanlarla birleşim

yerlerine o-ring konularak sızdırmazlık sağlanmıştır. Şekil-2’de deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 2. Enjeksiyon Deney Düzeneği

Metodoloji

Zemin numunesi $\pm 5\%$ relatif sıklıkta kalıpların içine yerleştirilmiştir. Numunenin maksimum ve minimum yoğunlukları bulunmuştur. Kalıpların hacmi bilindiğinden relatif sıklığın formülünden $\pm 50\%$ relatif sıklık için gerekli numune ağırlığı hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlık kalıp içine huni yardımıyla dökülmüş ve kalıbın üst kısmında silme olacak şekilde şişlenerek yerleştirilmiştir. Çimento karışımı farklı Su/Çimento oranlarında hazırlanarak basınç tankına dökülmüştür. Gerekli olan sızdırmazlık işlemleri yapıldıktan sonra kompresör ile istenilen basınç sağlanarak çimento karışımı kalıp içindeki numunelere enjekte edilmiştir. Bu çalışmada karışımın Su/Çimento ağırlık oranı 1/1, 1.5/1 ve 2/1 oranlarında hazırlanmıştır. Ayrıca uygulanan basınç 100 kPa, 150 kPa ve 200 kPa olarak seçilmiştir. Her bir Su/Çimento oranı için bu basınçlar ayrı ayrı uygulanmıştır.

Enjeksiyon sonrasında numuneler 24 saat boyunca prizlerini almaları için bekletilmiştir. 24 saat sonra kalıplardan çıkarılan numuneler 7 ve 28 gün süresince suda kür edilmiştir. Kür süreleri dolan numunelerin yoğunlukları bulunmuştur.

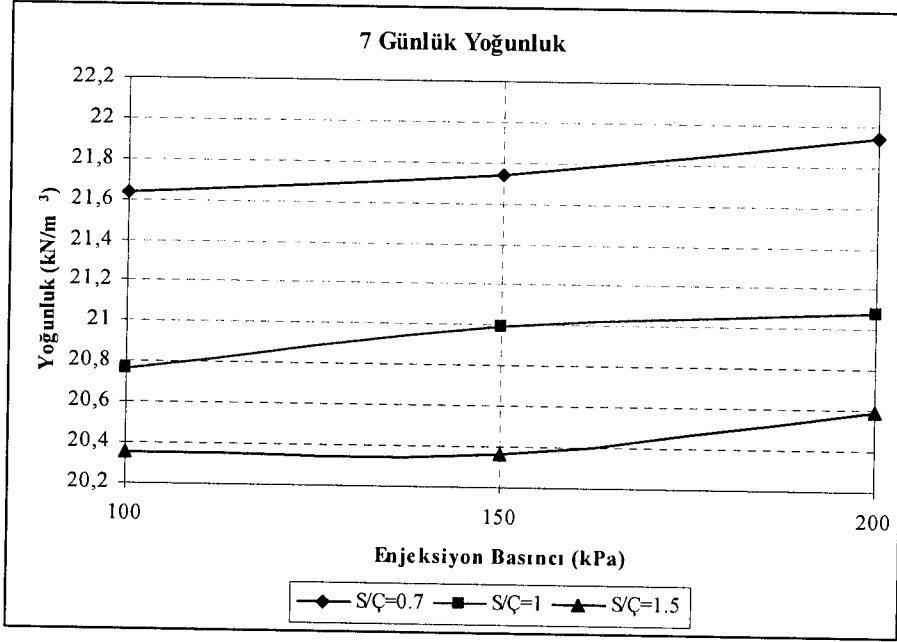
Kullanılan kumun %50 relatif sıklıktaki yoğunluğu $16,08 \text{ kN/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Enjeksiyon sonrasında elde edilen yoğunluklar aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Deneyde uygulanan enjeksiyon basıncı, karışım oranları ve yoğunluklar

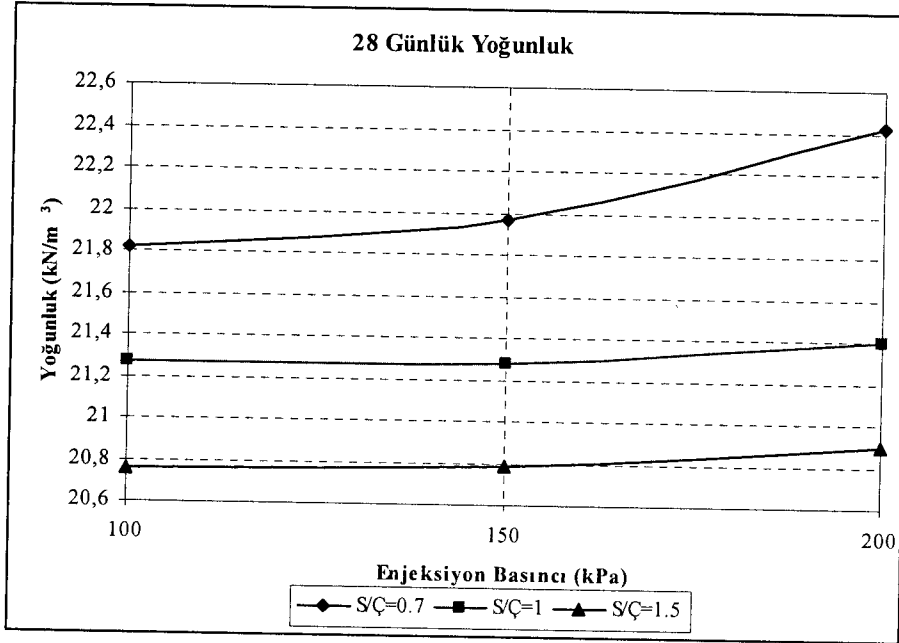
Karışım Oranı	Enjeksiyon Basıncı	7 Günlük Yoğunluk (kN/m^3)	28 Günlük Yoğunluk (kN/m^3)
0,7	100	21,64	21,82
0,7	150	21,74	21,97
0,7	200	21,94	22,42
1,0	100	20,76	21,27
1,0	150	20,99	21,28
1,0	200	21,08	21,40
1,5	100	20,35	20,76
1,5	150	20,36	20,79
1,5	200	20,59	20,90

Sonuçlar

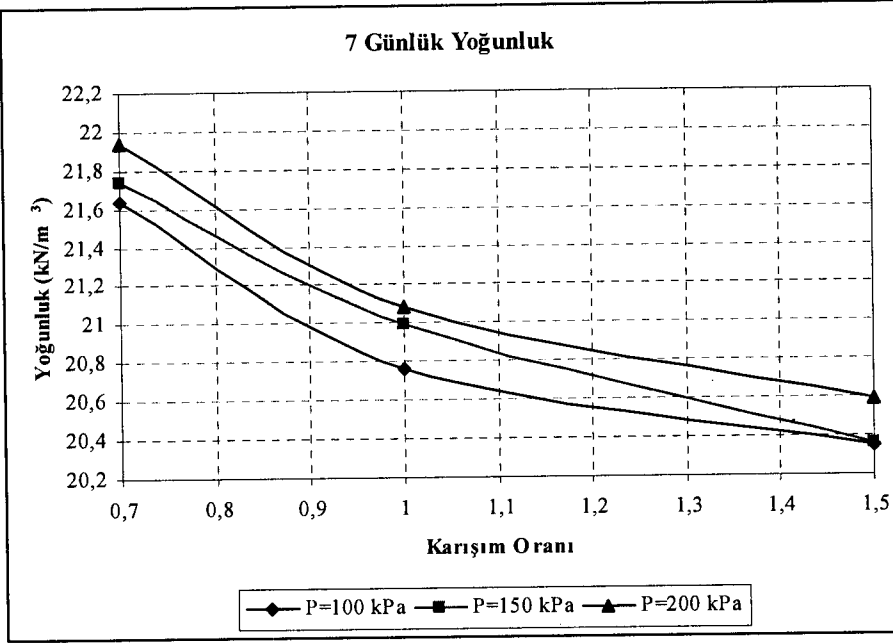
Su/çimento oranı sabit kaldıkça enjeksiyon basıncının artması sonucu numunelerin yoğunluğunun arttığı gözlenmiştir.



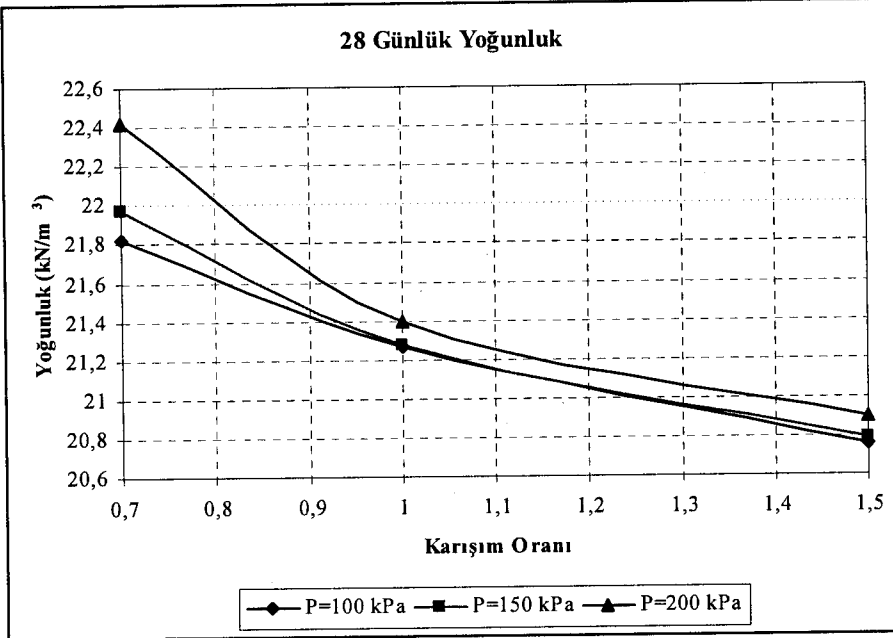
Şekil 3. Enjeksiyon basıncına göre 7 günlük yoğunlukların değişimi



Şekil 4. Enjeksiyon basıncına göre 28 günlük yoğunlukların değişimi
Basınç sabit kaldıkça su/çimento oranı arttıkça numunelerin yoğunluğunun düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 5. Su/çimento oranına göre 7 günlük yoğunlukların değişimi



Şekil 6. Su/çimento oranına göre 28 günlük yoğunlukların değişimi

Enjeksiyon sonrasında doğal kumun yoğunluğunda 7 günlük kür süresi sonunda minimum %25, maksimum %36 artış olurken 28 günlük kür süresi sonunda minimum %29, maksimum %40 artış olmuştur.

7 günlük yoğunluklar ile 28 günlük yoğunluklar arasında tüm numunelerde doğru orantılı bir artış olduğu görülmüştür. Fakat aralarında sabit bir oran bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

1. Nonveiller, E., 1989. Grouting Theory and Practice, Elsevier, Amsterdam.
2. Kutzner, C., 1996. Grouting of Rock and Soil, A.A. Balkema, Rotterdam.
3. Krizek, R.J., Liao, H.J. and Borden, R. H., 1992. Mechanical Properties of Micro Fine Cement/Sodium Silicate Grouted Sand, Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, Geotechnical Engineering Division of ASCE, Volume: 2, No: 30, Louisiana.
4. Akbulut, S., Saglamer A., 2002. Estimating The Groutability of Granular Soils: A New Approach, Tunnelling and Underground Space Technology.
5. Akbulut, S., 1999. Enjeksiyon ile Granüler Zeminlerin Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Doktora Tezi, İTÜ.
6. Perret, S., Ballivy, G., Khayat, K. And Mnif, T., 1997. Injectability of Fine Sand with Cement-Based Grout, Grouting, Geotechnical Special Publication of ASCE, No: 66, Utah.
7. Çinioğlu, S.F., Zemin Mekaniğinde Harç Enjeksiyonu, İ.Ü. Yayınları.

8. Incecik, M. and Ceren, I., 1995. Cement Grouting Model Tests, Bulletin of the Technical University of Istanbul, Volume: 48, No:2, Istanbul.
9. Lowther, J., Gabr, M. A., 1997. Permeability and Strength Characteristics of Urethane-Grouted Sand, Grouting, Geotechnical Special Publication of ASCE, No : 66, Utah.
10. Mori, A., Tamura, M., Hayashi, H. And Shibata, H., 1992. Some Factors Related to Injected Shape in Grouting, Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, Geotechnical Engineering Division of ASCE, Volume: 2, No: 30, Lousiana.