

SIVILAŞMA RİSKİNİN DÜŞÜK BASINÇLI ÇİMENTO ENJEKSİYONU İLE AZALTILMASI

REDUCING LIQUEFACTION POTENTIAL BY LOW PRESURE CEMENT GROUTING

Utkan MUTMAN⁻¹, Aydın KAVAK⁻¹

Posta Adresi: ⁻¹KOU Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

E-posta: utkanmutman@gmail.com

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, zemin iyileştirmesi, enjeksiyon, düşük basınçlı enjeksiyon

ÖZ Zemin sıvılaşma riskini azaltmak amacı ile sahada kumlu zeminde düşük basınçlı çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. Enjeksiyon öncesinde sahada standart penetrasyon deneyi ve koni penetrasyon deneyi deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonrasında geoteknik özelliği belirlenen zeminde belli aralıklarla derinliğe bağlı olarak 100 kPa ve 150 kPa basınçla çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. Enjeksiyonda su/çimento oranı 1 olan harç kullanılmıştır. Enjeksiyon uygulamasından 28 gün sonra sahalarda tekrar standart penetrasyon ve koni penetrasyon deneyleri yapılmıştır. Enjeksiyon öncesi ve sonrasında arazi deneylerinden elde edilen veriler ile zeminin sıvılaşma riskinin değişimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda kumlu zeminlerde düşük çimento enjeksiyonu ile sıvılaşma güvenlik sayılarında önemli artışlar gözlemlenmiştir.

ABSTRACT In the study to reduce the liquifaction potential of a sandy soil field the low pressure cement grouting is applied. At the beginning of the study standart penetration tests and cone penetration tests are applied before the application of grouting. Later on the cement grouting is applied with 100 kPa and 150 kPa pressures at certain distances. In the grouting water/cement ratio is used as 1. The field tests as SPT and CPT are redone again after 28 days and the variation of liquifaction risks are investigated. As a result of the study important increases are observed in factor of safety with respect to liquifaction risk.

GİRİŞ

1999 yılında olan Gölcük ve Düzce depremlerinde özellikle kumlu zeminde bulunan binaların bir kısmı sıvılaşma nedeni ile zarar görmüştür. Oysaki sıvılaşma riski bulunan sahalarda inşaat öncesinde yapılacak zemin iyileştirmeleri bu tip hasarları azaltabilmektedir. Sıvılaşma riskini azaltacak birçok zemin iyileştirme yöntemleri bulunmaktadır. Fakat bu yöntemler her tür inşaat işinde kullanılamayacak kadar pahalı ve mobilizasyonu güçtür. Düşük basınçlı çimento enjeksiyonu hem uygulama kolaylığı hem de ekonomik olması nedeni ile sıvılaşma riskini azaltmak için kullanılan diğer yöntemlerden öne çıkmaktadır.

1800'lü yılların başından itibaren enjeksiyon zemin özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile kullanılmaktadır. İlk başlarda sızdırmazlık amacı ile su yapılarının altına kireç ve kil enjekte edilmiştir. Boşluklar doldurulduğu için viskozitesi düşük harçlar enjeksiyonda kullanılmıştır. Fakat teknolojinin gelişmesi ile 1933 yılında güçlü pompalar kullanılmaya

başlanmıştır. Güçlü pompaların ve portland çimentosunun kullanılmaya başlanması ile zemin de kompaksiyon enjeksiyonu uygulanmaya başlanmıştır.

Hussin ve Ali (1987) yılında 15 m derinliğe kadar siltli kum ve kum tabakalarının bulunduğu zemine kum ve çimento karışımından oluşan harç ile kompaksiyon enjeksiyonu uygulamış ve uygulama sonrasında koni penetrasyon deneyi sonuçlarının %100'e yakın arttığını belirtmiştir. Aynı şekilde Gambin (1991) gevşek kum dolgu, çakıl ve silt tabakalarında kompaksiyon enjeksiyonu uygulamış ve enjeksiyon sonrasında zeminin elastisite modülünün %100'e yakın arttığını belirtmiştir. Mitchell and Wentz (1991) yüzeyden 2,4-10,7 m derinlikteki gevşek ile orta sıkı kum tabakasında kompaksiyon enjeksiyonu uygulamıştır. Uygulama sonrasında standart penetresyon deneyi sonuçlarının 15-26 değerlerinden 21-36 değerlerine çıktığını belirtmiştir.

Bu çalışmada, zemin sıvılaşma riskini azaltmak amacı ile sahada kumlu zeminde düşük basınçlı çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. Enjeksiyon öncesinde sahada standart penetrasyon deneyi ve koni penetrasyon deneyi yapılmıştır. Deneyler sonrasında geoteknik özelliği belirlenen zeminde derinliğe bağlı olarak 100 kPa ve 150 kPa basınçla çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. Enjeksiyonda su/çimento oranı 1 olan harç kullanılmıştır. Enjeksiyon uygulamasından 28 gün sonra sahalarda tekrar standart penetrasyon ve koni penetrasyon deneyleri yapılmıştır. Enjeksiyon öncesi ve sonrasında arazi deneylerinden elde edilen veriler ile zeminin sıvılaşma riskinin değişimi incelenmiştir.

METODOLOJİ

Enjeksiyon Öncesi Zemin Özellikleri

Yalova İli merkezinde seçilen bir sahada sıvılaşma riskinin azaltılması amacı ile düşük basınçlı çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. Enjeksiyon öncesinde zemin özelliklerini belirlemek amacı ile arazi deneyleri yapılmıştır. Sahada ilk önce standart penetrasyon deneyi yapılmıştır. Deney 1,50 m aralıklarla 15 m derinliğe kadar iki kuyuda uygulanmıştır. Standart penetrasyon deneyi sonucunda elde edilen SPT-N vuruş sayıları Tablo-1'de verilmiştir.

Tablo-1. Enjeksiyon öncesi standart penetrasyon deneyi sonuçları

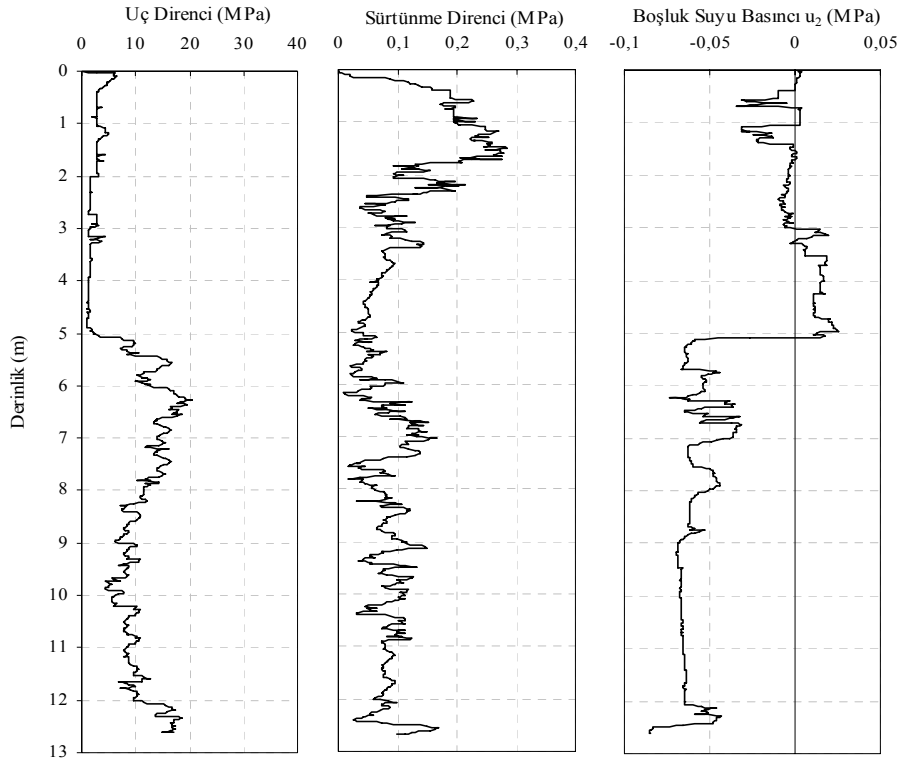
SK-1	Derinlik	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00
	SPT-N	10	12	22	21	24	20	18	18	17	19
SK-2	Derinlik	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00
	SPT-N	12	13	21	22	21	21	18	17	17	18

Standart penetrasyon deneyinde, her bir uygulama noktasından numuneler alınarak laboratuvarda sınıflandırma deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo-2'de verilmiştir.

Tablo-2. Laboratuvar deney sonuçları

Sondaj No	Derinlik m	Su Muhtevası %	No 4 Kalan %	No 200 Geçen %	Likit Limit	Plastik Limit	Plastisite İndisi	Zemin Sınıfı (TS1500)
SK-1	1,50	26,0	0,0	91,0	41	17	24	CL
	3,00	25,0	0,0	52,0	37	15	22	CL
	4,50	14,6	1,7	27,0		NP.		SM
	6,00	14,0	1,1	29,0		NP.		SM
	7,50	14,3	2,0	25,0		NP.		SM
	9,00	14,1	2,3	26,0		NP.		SM
	10,50	21,3	1,2	43,0	33	12	21	SC
	12,00	20,7	0,9	41,0	37	14	23	SC
	13,50	23,1	1,1	42,0	35	11	24	SC
	15,00	22,3	1,3	45,0	34	12	22	SC
SK-2	1,50	20,0	1,0	64,0	39	15	24	CL
	3,00	21,0	1,5	65,0	40	18	22	CL
	4,50	17,8	1,2	24,0		NP.		SM
	6,00	18,0	1,5	23,0		NP.		SM
	7,50	14,9	1,0	33,0		NP.		SM
	9,00	15,0	1,2	30,0		NP.		SM
	10,50	22,4	2,3	42,0	38	12	26	SC
	12,00	21,3	2,5	44,0	36	13	23	SC
	13,50	22,7	2,8	39,0	33	12	21	SC
	15,00	21,5	3,2	42,0	32	13	19	SC

Sahada enjeksiyon öncesinde koni penetrasyon deneyi yapılmıştır. Koni penetrasyon deneyi 12 m derinliğe kadar 2 cm/sn hız ile uygulanmıştır. Deneyde 10 cm² kesit alanına sahip koni kullanılmıştır. Koni penetrasyon deneyi sonucunda elde edilen uç direnci, sürtünme direnci ve boşluk suyu basıncının grafiği Şekil-1'de verilmiştir.

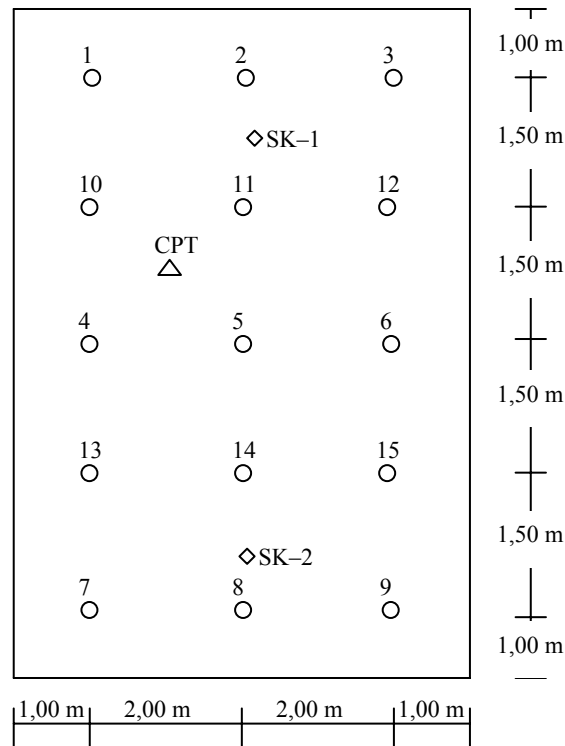


Şekil-1. Enjeksiyon öncesi koni penetrasyon deneyi sonuçları

Enjeksiyon Uygulaması

Sahada 15 kuyuda düşük basınçlı çimento enjeksiyonu uygulanmıştır. Kuyular arası mesafe yatayda 2,00 m, düşeyde 1,50 m olarak seçilmiştir. Enjeksiyon kuyularının ve arazi deneylerinin sahadaki yerleri Şekil-2’de gösterilmiştir.

Enjeksiyon üç kademede yapılmıştır. Enjeksiyon borusu 10 m derinlikte açılan kuyuda 9 m derinliğinde sabitlenmiştir. 9 m derinlikten sonra hidrostatik basıncın 100 kPa civarında olmasından dolayı bu kademede 150 kPa basınç ile enjeksiyon uygulanmıştır. Basınç yükselmeye başladığında enjeksiyona son verilmiş ve enjeksiyon borusu 7 m derinlikte sabitlenmiştir. Bu kademede, hidrostatik basınç 70 kPa civarında olduğu için, 100 kPa basınç ile enjeksiyon uygulanmıştır. Enjeksiyon basıncı yükselmeye başladığında enjeksiyona son verilmiştir. Daha sonra enjeksiyon borusu, hidrostatik basıncı 50 kPa civarında olan 5 m derinlikte sabitlenerek 100 kPa basınç ile enjeksiyon uygulanmıştır. Bu kademede de basınç yükselmeye başladığında enjeksiyona son verilmiştir. Enjeksiyon sırasında zemin içerisine yaklaşık 15 m³ çimento harcı enjekte edilmiştir.



Şekil-2. Sahada uygulanan enjeksiyon kuyularının yerleri

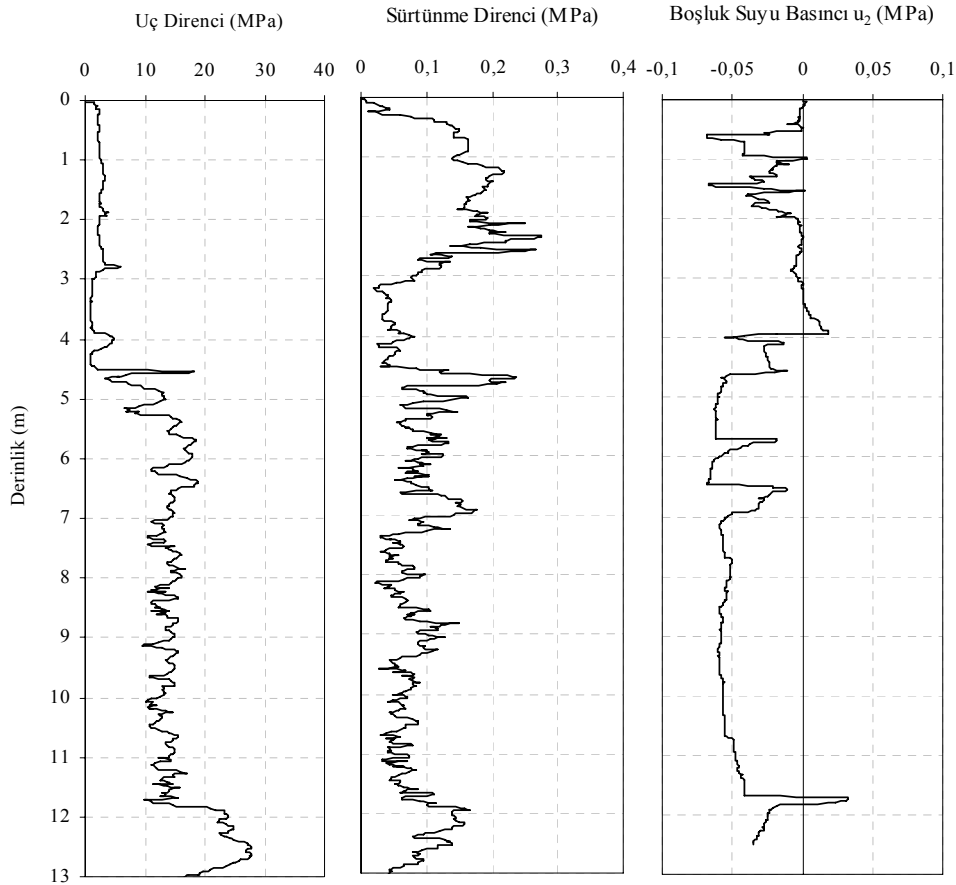
Enjeksiyon Sonrası Zemin Özellikleri

Enjeksiyon uygulamasından 28 gün sonra standart penetrasyon deneyi ve koni penetrasyon deneyi yapılarak enjeksiyon sonrası zemin özellikleri belirlenmiştir. Standart penetrasyon deneyi 1,50 m aralıklarla 15 m derinliğe kadar uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo-3’te verilmiştir.

Tablo-3. Enjeksiyon sonrası standart penetrasyon deneyi sonuçları

SK-1	Derinlik	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00
	SPT-N	12	14	28	30	31	26	24	25	23	27
SK-2	Derinlik	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00
	SPT-N	14	15	27	30	29	30	26	26	24	26

Enjeksiyon sonrasında koni penetrasyon deneyi de yapılmıştır. Koni penetrasyon deneyi 12,50 m derinliğe kadar 2 cm/sn hız ile uygulanmıştır. Deney sonrasında uç direnci, sürtünme direnci ve boşluk suyu basıncı ölçülmüş ve Şekil-3'te verilmiştir.



Şekil-3. Enjeksiyon sonrası koni penetrasyon deneyi sonuçları

Sıvılaşma Riski Analizi

Enjeksiyon öncesi ve sonrasında yapılan arazi deneyleri sonuçlarına zeminin sıvılaşma riski belirlenmiştir. Önce standart penetrasyon deneyi sonuçlarına göre sıvılaşma riski analizi yapılmıştır. Analizde zeminin çevrimsel gerilme oranı CSR ve zeminin çevrimsel direnç oranı $CRR_{7,5}$ 1,5 m derinlikte bir hesaplanmıştır. Hesaplarda zeminin çevrimsel gerilme oranı CSR için Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen Denklem-1, zeminin

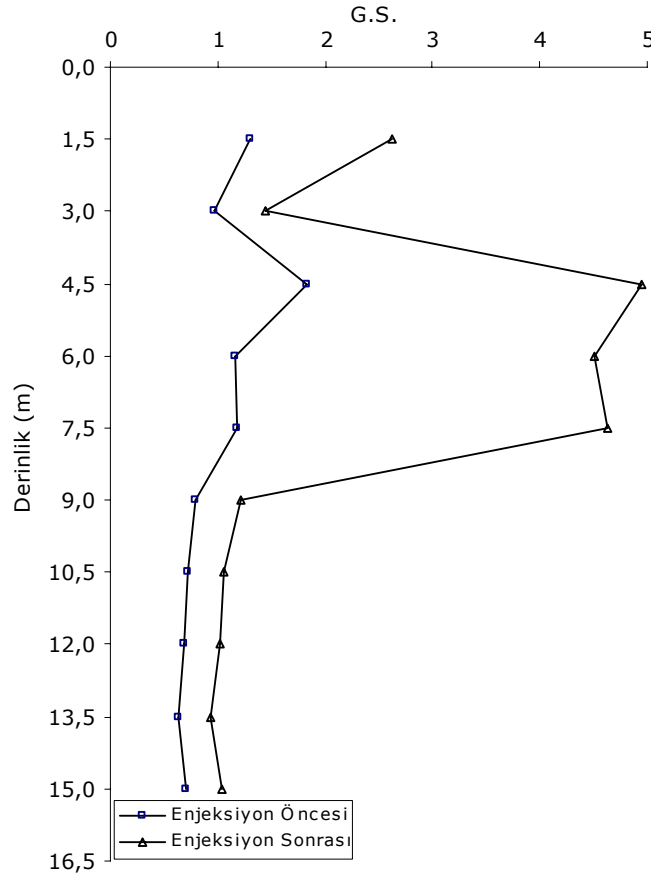
çevrimsel direnç oranı $CRR_{7,5}$ için Blake (1997) tarafından önerilen Denklem-2 kullanılmıştır. Daha sonra zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı Denklem-3 ile hesaplanmıştır.

$$CSR = 0,65 \frac{\sigma_o}{\sigma'_o} \frac{a_{\max}}{g} r_d \quad (1)$$

$$CRR_{7,5} = \frac{0,048 - 4,721 \cdot 10^{-3} N_{60} + 6,136 \cdot 10^{-4} N_{60}^2 - 1,673 \cdot 10^{-5} N_{60}^3}{1 - 0,1248 N_{60} + 9,578 \cdot 10^{-3} N_{60}^2 - 3,285 \cdot 10^{-4} N_{60}^3 + 3,714 \cdot 10^{-6} N_{60}^4} \quad (2)$$

$$G.S. = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \quad (3)$$

Standart penetrasyon deneyi sonuçlarına göre hesaplanan sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının derinlikle değişimi Şekil-4'te verilmiştir.



Şekil-4. SPT deneyi sonuçlarına göre sıvılaşmaya karşı güvenlik sayıları

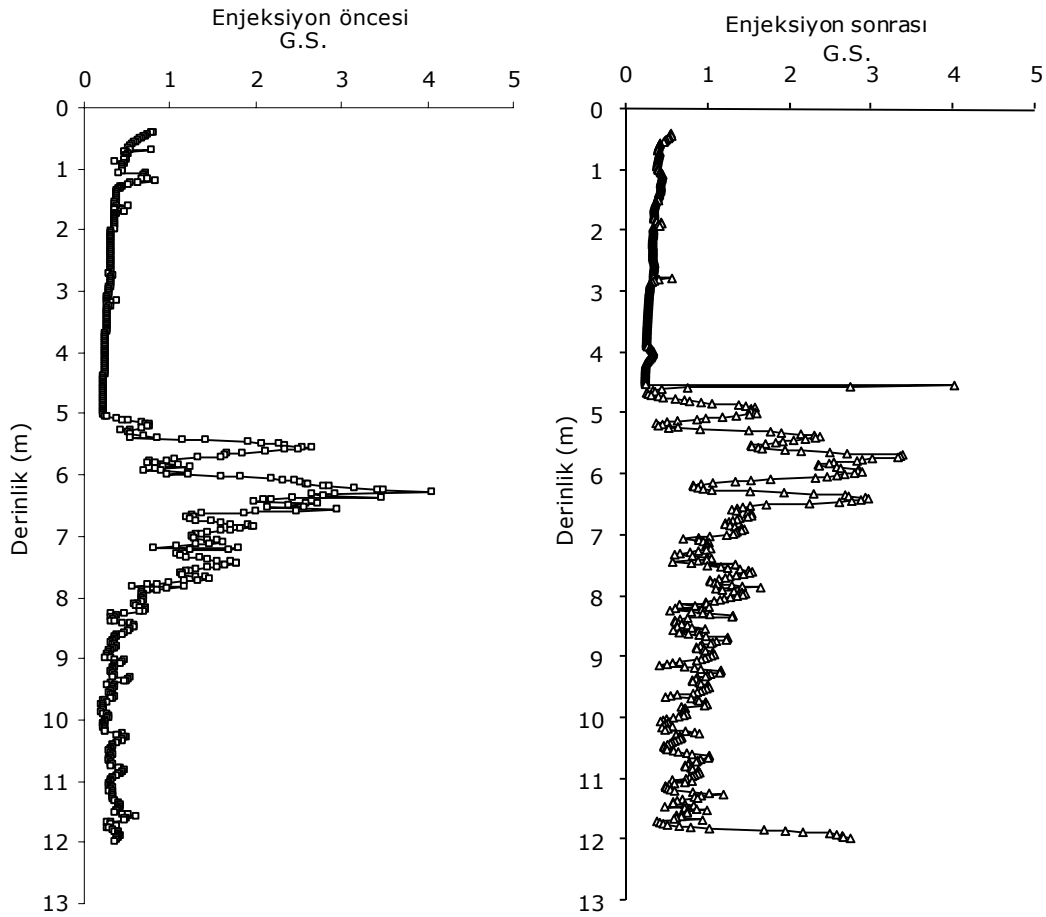
Koni penetrasyon deneyi sonuçlarına göre de sıvılaşma riski analizi yapılmıştır. Koni penetrasyon deneyine göre sıvılaşma riski analizi uç direncine bağlı olarak hesaplanmıştır. Deneyde uç direnci 2 cm aralıklarla ölçüldüğü için sıvılaşma riski analizi de 2 cm aralıklarla hesaplanmıştır. Analiz için zeminin çevrimsel gerilme oranı CSR Denklem-1 yardımı ile hesaplanmıştır. Zeminin çevrimsel direnç oranı $CRR_{7,5}$ Robertson ve Fear (1995) tarafından önerilen Denklem-4 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$CRR_{7,5} = 0,93 \left(\frac{(q_{cl})_{sl}}{1000} \right)^3 + 0,08 \quad (4)$$

Denklem-4'te bulunan $(q_{cl})_{sl}$ Robertson ve Campanella (1985) tarafından önerilen Denklem-5 yardımı ile hesaplanmıştır. Denklem-5'te bulunan P_a atmosfer basıncı olup değeri 100 kPa olarak alınmıştır.

$$q_{cl} = \frac{q_c}{P_a} \sqrt{\frac{P_a}{\sigma_v'}} \quad (5)$$

Koni penetrasyon deneyine göre sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı Denklem-3 yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan güvenlik sayılarının derinlikle değişimini gösteren grafik Şekil-5'te verilmiştir.



Şekil-5. CPT deneyi sonuçlarına göre sıvılaşmaya karşı güvenlik sayıları

SONUÇ

- Enjeksiyon sonrasında standart penetrasyon deneyi sonuçları ortalama % 30 oranında artmıştır.

- Enjeksiyon uygulanmış olan bölgede, enjeksiyon sonrasında koni penetrasyon deneyinde elde edilen uç direnci değerleri 4,5 m ile 8 m arasında yakın değerler almış iken 8 m'den sonra %50 civarında artmıştır.
- Standart penetrasyon deneyi sonucunda elde edilen sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı değerleri 4,5 m ile 9 m arasında ortalama %200 oranında artmış iken daha derinlerde %50 oranında artmıştır.
- Koni penetrasyon deneyi sonuçlarına göre elde edilen sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı değerleri 6 m ile 8 m arasında yakın elde edilmiş iken 8 m derinlikten itibaren % 50 oranında artmıştır.

KAYNAKLAR

- Blake, T.,F., 1997, Summary Report of Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, **Technical Report NCEER 97-0022**.
- Gambin, N., P., 1991, Lateral Static Densification at Monaco-Design, Construction, and Testing, **Deep Foundation Improvements: Desire, Construction, and Testire. ASTM**, 248-265.
- Ghobadi, M., H., Khanlari, G., R., Djalaly, H., 2005, Seepage Problems in The Right Abutment of The Shahid Abbaspour Dam, Southern Iran, **Engineering Geology**, 82, 119- 126.
- Graf, E., D., Zacher, E., G., 1979, Sand to Sandstone: Foundation Strengthening with Chemical Grout, **Civil Engineering, ASCE**, 67-69.
- Hussin, J.,D., Ali S, 1987, Soil Improvement at the Trident Submarine Facility, **Proceedings, Soil Immoveiment-A Ten Year: Geotechnical Special Publication**, 12, 215-231.
- Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M., Cone Penetration Testing, **Blackie Academic and Professional**.
- Mitchell, J., K., Wentz, F.,J., 1991, Performance of Improved Ground During the Loma Prieta Earthquake, **Earthquake Engineering Research Center**, UCB/EERC-9 1/12, 93.
- Mutman, U., 2007, Düşük Basıncılı Çimento Enjeksiyonu ile Zemin Özelliklerinin İyileştirilmesi, Doktora Tezi, **KOU Fen Bilimleri Enstitüsü**.
- Robertson, P.,K., Campanella, R.,G., 1985, Liquefaction Potential Of Sands Using The Cone Penetration Test, **Journal of Geotechnical Engineering**, 111(3), 384-403.
- Robertson, P.,K., Fear, C.,E., 1995, Liquefaction of sand and its evaluation. IS TOKYO295, **First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering**.
- Salley, J., R., Foreman, B., Baker, W., H., and Henry, J., F., 1987, Compaction Grouting Test Program--Pinopolis West Dam, **Proceedings, Soil Improvement--A Ten Year, Geotechnical Special Publication**, 12, 245-269.
- Seed, H.,B., Idriss, I.,M., 1971, Simplified Procedure For Evaluating Soil Liquefaction Potential, **Journal of Soil Mechanics and Foundation Division**, 97, 1249-1273.
- Türkmen, S., 2003, Treatment of The Seepage Problems at The Kalecik Dam (Turkey), **Engineering Geology**, 68, 159-169.