

BİR KÖPRÜ TEMELİNDE ÇİMENTO ENJEKSİYONU İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ

A.Mengüç ÜNVER¹ Turabi DÜZGÜN²
Engin MISIRLI³ Tülay İÇTEM⁴

ÖZET

Karayolları Genel Müdürlüğü (10. Bölge Müdürlüğü)'nün Trabzon Sahil Geçişi ve Tünel İkilemesi Projesi kapsamında inşa edilen 9 ayaklı Cumhuriyet Köprüsü için yürütülen geoteknik hesap ve değerlendirmeler neticesinde, beklenen farklı oturmaların izin verilen sınırları aştığı anlaşılmış ve temel zeminlerinin çimento enjeksiyonu ile iyileştirilmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen deneme enjeksiyonları ile değişik aralıklarda uygulanan iyileştirme işleminin etkinliği ve verimliliği araştırılmıştır. Bu amaçla presiyometre deneylerinden faydalanılmış ve test sonuçlarına göre en uygun enjeksiyon uygulama aralığına karar verilmiştir. Sonuç olarak 1,5x1,5m kare yerleşimle uygulanan çimento enjeksiyonu yöntemi ile köprü yapısı güvenli temeller üzerine inşa edilmiştir. Bu proje ile daha önceki benzer durumlarda akla gelen ilk çözüm olan kazıklı temellere alternatif olarak uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem ile temel zeminlerinin istenen ölçülerde iyileştirilebileceği gösterilmiştir.

¹ İnşaat Y. Müh., ARGEM Geoteknik Müh. Müş. Ltd. Şti., Ankara

² Jeoloji Müh., MNG Zentaş A.Ş., Ankara

³ İnşaat Müh., Karayolları Genel Müd., Teknik Araştırma Dairesi, Ankara

⁴ İnşaat Y. Müh., Karayolları Genel Müd., Teknik Araştırma Dairesi, Ankara

ABSTRACT

As a consequence of the geotechnical calculations and evaluations carried out for the Cumhuriyet Bridge with 9 pedestals, constructed within the scope of Trabzon province Coast Crossing and Tunnel Doubling Project by the General Directorate of Highways (10th Regional Directorate), it has been concluded that the expected differential settlements exceeded the allowable limits and it has been decided to improve the foundation soils by cement grouting. By the trial cement injections carried out within this scope, the efficiency and the productivity of the ground improvement method has been searched. Pressuremeter tests have been utilized for this purpose and the most suitable grout spacing has been decided based on the test results. As a result, the bridge structure has been constructed on secure foundations by applying the cement grouting method through 1,5x1,5m square patterns. It has been substantiated through this project that the foundation soils of a bridge structure may be improved satisfactorily by an applicable and economical method as the alternative to the pile foundations, being the first solution conjured up in similar situations.

1. GİRİŞ

Karayolları Genel Müdürlüğü (10. Bölge Müdürlüğü)'nün Trabzon Sahil Geçişi ve Tünel İkilemesi Projesi kapsamında değişik mevkiilerde köprülü geçiş yapıları inşa edilmiştir. Bu kapsamdaki Cumhuriyet Köprüsü için zemin etüt sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiş ve temel zeminlerinin taban kayalarına kadar 5m ile 20m arasında değişen kalınlıklarda tahkimat blokları ve bloklu, siltli, çakıllı kum ve siltli, kumlu çakıl dolgulardan oluştuğu anlaşılmıştır. Temel zeminlerinin heterojen yapısı ve oturabilir zemin tabakası kalınlıklarının değişkenliği gözönüne alındığında, 8 açıklıklı (açıklık genişlikleri 22-23m) bir köprü yapısı için izin verilmeyen farklı oturmalar hesaplanmıştır. Bu durumda inşası planlanan köprü yapısı için kazıklı derin temeller ve/veya uygun bir zemin iyileştirme yönteminin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yürütülen uygulanabilirlik ve maliyet çalışmaları sonucunda köprü yapısı temel zeminlerinin çimento enjeksiyonu metodu ile iyileştirilmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda ilk aşamada deneme enjeksiyonları gerçekleştirilerek değişik aralıklardaki enjeksiyon uygulamalarında yöntemin etkinliği ve verimliliği araştırılmıştır. Burada presiyometre deneylerinden faydalanılmıştır.

Bu bildiriye 9 ayaklı Cumhuriyet Köprüsü temel zeminlerinin çimento enjeksiyonu metodu ile iyileştirilmesine yönelik çalışmaların kapsam ve sonuçları sunulmaktadır.

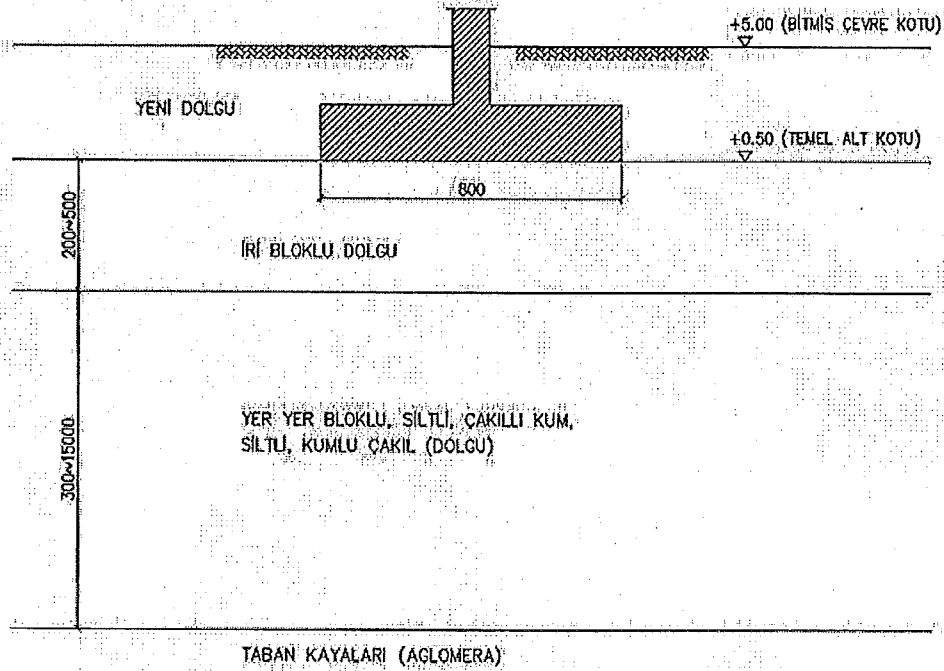
2. KÖPRÜ YAPISI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Cumhuriyet Köprüsü 9 ayaklıdır. Köprü sahası tarihi sit alanı kapsamında ve Trabzon ilinin oldukça hareketli bir mevkiisinde yer aldığından Karayolları Teşkilatı ve yerel yöneticilerin isteği doğrultusunda şeffaf bir köprü tasarımı amaçlanmıştır. Dolayısıyla köprü ayak açıklıkları 22-23m'lere ulaşmıştır. Avan proje aşamasında ayak boyutları 8x10m ve 9x10m olarak belirlenmiştir. Maksimum temel basınçları 250 kPa (2,50 kg/cm²) olarak verilmiştir. Temel alt kotları, kenar ayaklarda -0,50 ve -3,00m, orta ayakların tamamında ise +0,50m'dir. Köprü inşasından sonra bitmiş çevre kotları köprü ayakları kenarlarında yapılacak dolgulardan sonra +5,00m olarak planlanmıştır.

3. ZEMİN ŞARTLARI

Proje kapsamında herbir köprü ayağında olmak üzere 9 adet zemin etüt sondaj çalışması yapılmıştır. Sondaj sonuçlarına göre köprü yapısı temel alt kotlarından itibaren temel zeminlerinin ilk metrelerde tahkimat bloklarından daha sonra ise bloklu, siltli, çakıllı kum ve siltli, kumlu çakıl dolgulardan oluştuğu anlaşılmıştır. Daha sonra ise aglomeralardan oluşan taban kayalarına girilmiştir. Tipik zemin profili Şekil-1'de verilmektedir.

Temel alt kotlarından itibaren rastlanan tahkimat bloklu dolgu kalınlığı 2m ile 5m arasında değişmektedir. Daha alttaki bloklu, siltli, çakıllı kum ve siltli, kumlu çakıl dolgu kalınlıkları ise 3m ile 15m arasında değişmektedir. Dolayısıyla köprü temelleri altındaki sıkışabilir tabaka kalınlıkları 5m ile 20m gibi geniş bir aralıkta değişkenlik göstermektedir. Söz konusu katmanlarda gerçekleştirilen standart penetrasyon deneylerinde (SPT) yer yer N=30-40 aralığında darbe sayıları ölçülse de yoğun blok ve çakıl içeriğinden dolayı genelde refü dirençleri elde edilmiştir.



Şekil-1 Cumhuriyet Köprüsü-Zemin Profili

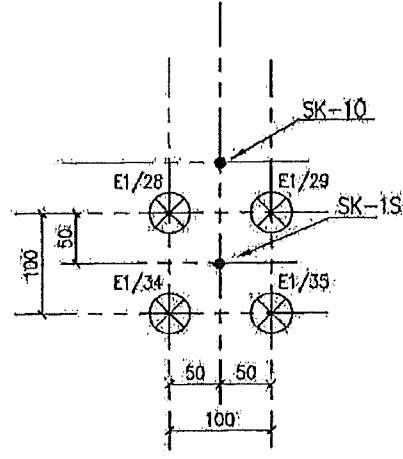
4. TEMEL MÜHENDİSLİĞİ HESAP ve DEĞERLENDİRMELERİ

Sahadaki zemin tabakalaşması özellikle düşeyde büyük değişkenlikler göstermektedir. Temel altlarında kalan sıkışabilir tabaka kalınlıkları 5m ile 20m gibi geniş bir aralıktadır. Bu durumda temel tasarımında farklı oturma kriteri ön plana çıkmaktadır.

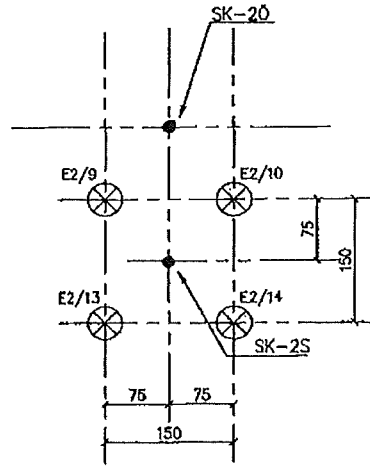
Maksimum temel basınçları ve köprü ayakları etrafında yapılması planlanan ortalama 4,5m yüksekliğindeki dolgu yükleri dikkate alınarak oturma tahminleri yapılmıştır. Oturma hesap sonuçları köprü temellerinde 5cm'lere varan farklı oturmalar oluşabileceğini göstermiştir. Ayrıca temel altlarındaki tahkimat blokları arası muhtemel kinematik hareketler hesaplara yansıtılmayan zemin hareketleridir. Tüm bu hesap ve değerlendirmelerden sonra köprü yapısının sığ temeller üzerine oturtulamayacağı anlaşılmıştır. Karadeniz bölgesinde daha önce edinilen deneyimler ve yoğun blok içerikli temel zeminleri dikkate alındığında kazıklı temel tasarımı ekonomik ve uygulanabilir bulunmamıştır. Sonuç olarak temel zeminlerinin çimento enjeksiyonu (kum-çimento karışımı harç enjeksiyonu) metodu ile iyileştirilmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda deneme enjeksiyonu programı hazırlanmış ve değişik ara mesafeler ile önerilen enjeksiyon uygulamalarında iyileştirme işleminin etkinliği ve verimliliği araştırılmıştır. İyileştirme işlemi başarısının kontrolü amacıyla presiyometre deneyi önerilmiştir.

5. DENEME ENJEKSİYONLARI

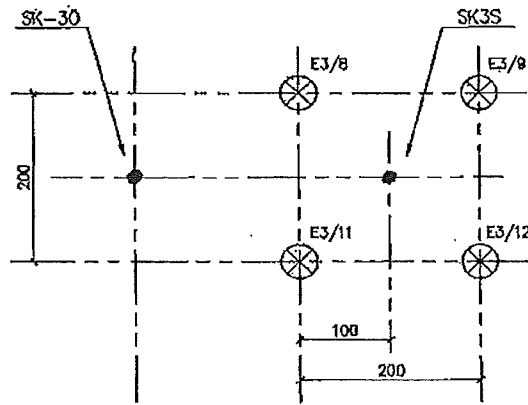
Deneme enjeksiyonları programı kapsamında ilk olarak iyileştirme öncesi durumun araştırılması amacıyla 3 adet sondaj kuyusu açılmış ve herbirinde düşeyde 2m ara ile 9'ar adet presiyometre deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneme enjeksiyonları, köprü sahasında oturabilir dolgu tabakaların en kalın olarak gözlendiği ilk 3 ayakta yapılmıştır. Bununla ilgili yerleşim planları Şekil-2'de verilmektedir. Görüldüğü üzere enjeksiyonlar 1x1m, 1,5x1,5m ve 2x2m kare yerleşimler ile 3 değişik ara mesafe ile yapılmıştır. Herbir enjeksiyon alanında ilk olarak iyileştirme öncesi durum için presiyometre deney kuyuları açılmıştır (SK-1Ö, SK-2Ö ve SK-3Ö). Daha sonra değişik ara mesafeler ile çimento enjeksiyonları yapılmış herbir kare yerleşimin diyagonal merkezlerinde presiyometre deney kuyuları açılarak iyileştirme sonrası durum araştırılmıştır (SK-1S, SK-2S ve SK-3S).



(a)



(b)



(c)

Şekil-2 Deneme Enjeksiyonu Programı-Yerleşim Planları

5.1. İyileştirme Öncesi Presiyometre Deneyleri

Şekil-3'te iyileştirme öncesi yapılan presiyometre deney sonuçları verilmektedir. Şekilde presiyometre modülü-derinlik grafikleri her 3 presiyometre kuyusu için ayrı ayrı gösterilmiştir (SK-1Ö, SK2Ö ve SK-3Ö). Test sonuçlarından anlaşıldığı üzere iyileştirme öncesi temel zeminleri için elde edilen presiyometre modül değerleri, $E_p=50 \text{ kg/cm}^2$ mertebelerine inebildiği gibi $E_p=300-350 \text{ kg/cm}^2$ lik yüksek değerler de hesaplanmıştır. Esasen bu yüksek değerlerin bloklu kesimlerde yanıtıcı bir şekilde ölçüldüğü düşünülmektedir.

Presiyometre deneylerinde elde edilen modül değerleri zemin tipine bağlı olarak değişen "α" faktörüne bölünerek deformasyon (sıkışma) modülleri aşağıdaki şekilde bulunabilmektedir (Baguelin v.d.-1978).

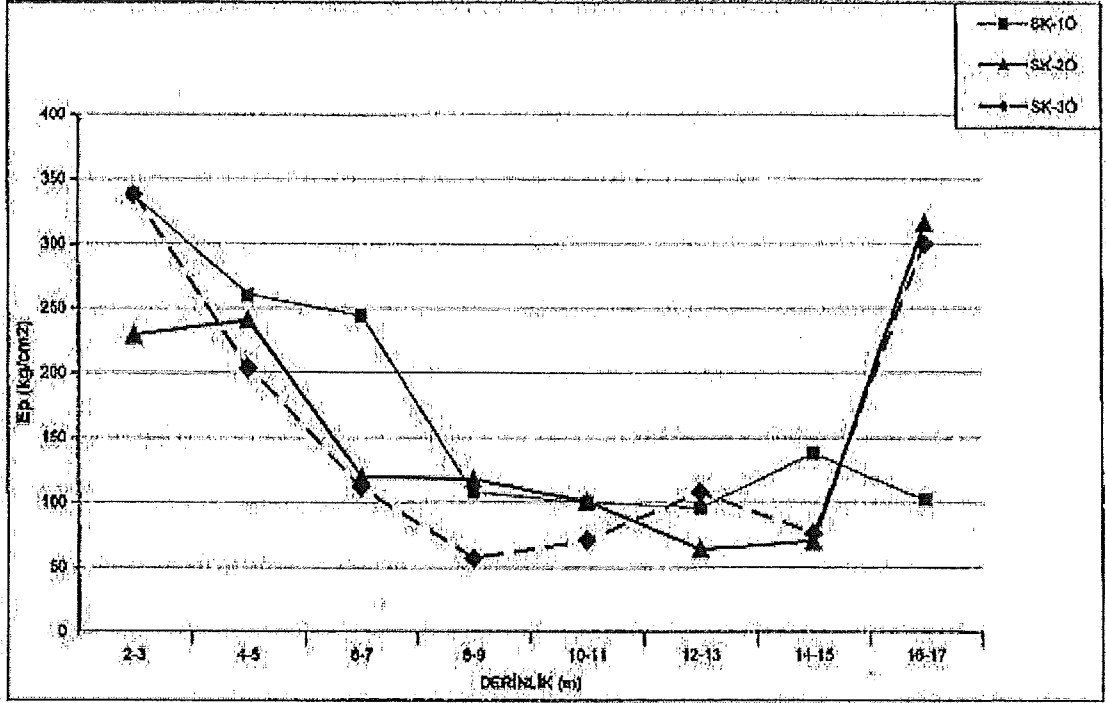
$$E=E_p/\alpha \dots\dots\dots(1)$$

Bu proje kapsamındaki temel zeminlerinin özellikleri dikkate alındığında $\alpha=1/3$ alınabilecektir (Baguelin v.d.-1978, Clarke-1995).

Şekil-3'teki iyileştirme öncesi presiyometre deney sonuçları dikkate alınarak, ilk metrelerdeki bloklu seviyeler için hesaplanan modül değerleri ortalama dışı tutulursa, presiyometrik modül ortalama değeri $E_p=110-120 \text{ kg/cm}^2$ mertebesindedir. Dolayısıyla düşey deformasyon modül değeri ortalama,

$$E=115/0,33=350 \text{ kg/cm}^2 (35.000 \text{ kPa})' \text{ dır.}$$

Bu değer daha önceki zemin etüt çalışmaları sonucunda öngörülen değer ile uyum içerisinde. Bu durumda iyileştirme öncesi temel zeminleri için yapılan oturma hesapları daha öncekiler ile aynıdır. Bu bildirinin 6. bölümü altında yapılan temel mühendisliği öneri ve değerlendirmeleri geçerlidir.



Şekil-3 İyileştirme Öncesi Presiyometre Modülü-Derinlik Grafikleri

5.2. İyileştirme Sonrası Presiyometre Deneyleri

Daha önce belirtildiği gibi çimento enjeksiyonu ile zemin iyileştirme metodunun etkinliği 3 değişik enjeksiyon aralığında ölçülmüştür. Bu amaçla 1x1m, 1,5x1,5m ve 2x2m kare yerleşimler ile çimento enjeksiyonu uygulaması yapılarak her bir kare yerleşimin diyagonal merkezlerinde presiyometre deney kuyuları açılmış, temel zeminlerinin iyileştirme sonrası mukavemet ve sıkışma özellikleri tespit edilmiştir. Şekil-4'te iyileştirme sonrası için presiyometre modülü-derinlik grafikleri verilmektedir (SK-1S, SK-2S ve SK-3S). Aynı grafik üzerine Şekil-3'teki iyileştirme öncesi sonuçların averajları da işlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 2x2m kare yerleşimde tatbik edilen enjeksiyon uygulamasından elde edilen presiyometrik modül değerlerinin iyileştirme öncesi değerlere yakın olduğu görülmektedir. Bu durumda 2x2m kare yerleşimdeki enjeksiyon işleminin istenen düzeyde etkili olmadığı anlaşılmaktadır.

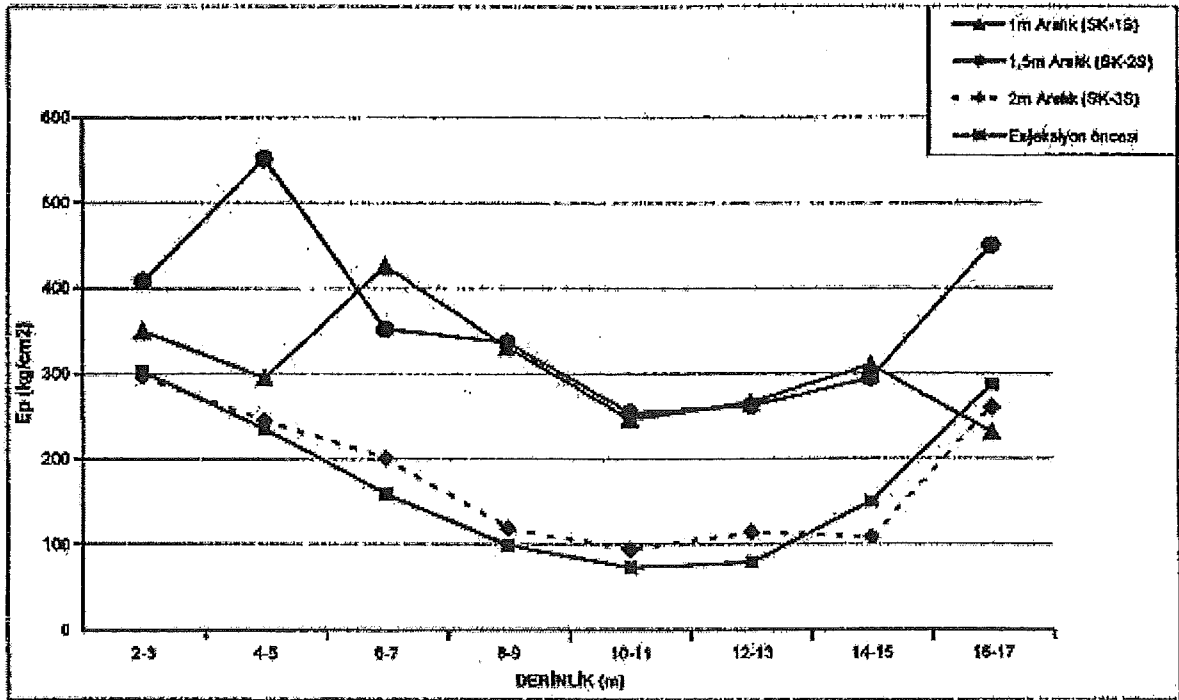
Sırasıyla 1x1m ve 1,5x1,5m kare yerleşimler ile uygulanan SK-1S ve SK-2S enjeksiyon uygulama bölgelerinde elde edilen sonuçlar ise birbirine yakındır. Dolayısıyla projede uygulaması gerekli görülen çimento enjeksiyonu ile zemin iyileştirme metodunun 1,5x1,5m aralıklar ile tatbiki yeterli bulunmuştur. Bu aralık için elde edilen presiometrik modül değerleri incelendiğinde, aynı şekilde ilk metrelerdeki bloklu seviyeler için hesaplanan modül değerleri ortalama dışı tutulursa, ortalama modüller,

$$E_p=250-300 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak bulunmaktadır.}$$

Böylece, iyileştirilmiş temel zeminlerinin deformasyon modül değerleri ortalama,

$$E=275/0,33=825 \text{ kg/cm}^2 \text{ (82.500 kPa)'dır.}$$

Elde edilen bu değer ile oturma hesapları tekrarlanırsa köprü sahasında taban kayalarının en derin olduğu kesimlerde beklenen maksimum oturmalar $s=3-4\text{cm}$ mertebesinde bulunur. Bu durumda oluşabilecek maksimum farklı oturmalar bu değer en fazla yarısı civarında olacaktır. Söz konusu beklenen oturmalar izin verilen sınırlar içindedir.



Şekil-4 İyileştirme Sonrası Presiyometre Modülü-Derinlik Grafikleri

6. PROJE ENJEKSİYONLARI UYGULAMA PRENSİPLERİ

Enjeksiyon uygulama aralığı 1,5x1,5m olarak seçilmiştir. Enjeksiyon sınırlarının köprü temel sınırları dışına minimum 1,5m taşacak şekilde aplikasyonu uygun bulunmuştur. İyileştirme işlemi sonrası yapılan presiyometre deney sonuçları incelendiğinde (Şekil-4) enjeksiyon boylarının taban kayalarının en derin olduğu 1, 2 ve 3 no'lu ayak bölgelerinde temel alt kotları olan +0,50m'lerden itibaren minimum 16m olarak tatbiki gerekli görülmüştür. Diğer ayaklarda ise temel alt kotları ile taban kayaları arasında kalan zeminler iyileştirilmiştir.

Çimento enjeksiyonlarının 1'er metrelik kademeler halinde uygulanması öngörülmüştür. Kademe enjeksiyonlarındaki çimento/su oranları ve enjeksiyon hacimlerinin aşağıdaki şekilde uygulanması uygun bulunmuştur:

1/3.....1 mikser

2/3.....1 mikser

1/1.....2 mikser

7/5.....10 mikser

7/5+Kum (%5-%10-%15-%25:çimento ağırlığının).....4'er mikser

(1 mikser=250 lt)

Tüm karışımlarda akışkanlaştırıcı ve bir miktar priz hızlandırıcı etkileri bilinen sodyum silikat katkı maddesi çimento ağırlığının %3-5'i oranında kullanılmıştır. Bir üst çimento/su karışım oranına geçiş yukarıdaki mikser adetleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Refü şartı sağlandığı anda enjeksiyona son verilerek bir üst kademe derinliğinin enjeksiyonuna geçilmiştir.

Enjeksiyonların, köprü temeli merkez akslarına yakın kısımlardan başlanarak kenar kısımlara doğru yayılarak yapılması uygun bulunmuştur. Ayrıca enjeksiyon uygulamaları birer aks atlanarak ardışık bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Heriki yönde 3m aralıklar ile). Atlanan orta noktadaki enjeksiyonlara daha sonra başlanmıştır.

7. SONUÇ

Karayolları Genel Müdürlüğü (10. Bölge Müdürlüğü)'nün Trabzon Sahil Geçişi ve Tünel İkilemesi Projesi kapsamında inşa edilen 9 ayaklı Cumhuriyet Köprüsü temel zeminleri kalınlığı 5m ile 20m arasında değişkenlik gösteren dolgulardan oluşmaktadır. Tahkimat blokları ve siltli, kumlu çakıl ve siltli, çakıllı kumlardan oluşan dolgulardan sonra aglomera olarak tanımlanan taban kayalarına girilmektedir. Yapılan geoteknik mühendisliği hesap ve değerlendirmelerinden sonra köprü temelleri için taşıma gücünden ziyade oturma kriterinin kritik olduğu anlaşılmıştır. Beklenen farklı oturmalar 5cm mertebesinde hesaplanmış; ayrıca temel altlarındaki tahkimat blokları arasındaki muhtemel kinematik hareketlerin ilave oturmalara sebep olabileceği öngörülmüştür. Sonuç olarak beklenen zemin hareketlerinin izin verilen sınırları aştığı gözönüne alınarak köprü yapısı için kazıklı temel ve/veya uygun bir zemin iyileştirme yönteminin gerekli olduğuna karar verilmiştir. Karadeniz bölgesinde daha önce edinilen deneyimlere göre yoğun bloklu seviyelerde kazık imalatları ekonomik ve çoğu zaman da sağlıklı bir şekilde uygulanabilir olmamaktadır. Proje ve zemin şartları dikkate alınarak köprü temel zeminlerinin çimento enjeksiyonu yöntemi ile iyileştirilmesi uygun bulunmuştur. Hazırlanan deneme enjeksiyonları programı çerçevesinde değişik enjeksiyon uygulama ara mesafeleri için presiyometre deneyleri yapılmış ve enjeksiyon işleminin etkinliği ve verimliliği araştırılmıştır. Bu kapsamda ayrıca iyileştirme öncesi zeminlerin mukavemet ve sıkışma özelliklerinin araştırılması amacıyla presiyometre deneyleri yapılmıştır.

Sonuç olarak 1,5x,5m kare yerleşim ile uygulanacak çimento enjeksiyonu yöntemi ile köprü temel zeminlerinin hedeflenen amaçta iyileştirilebileceği anlaşılmıştır. Bildiride tariflenen enjeksiyon uygulama prensipleri doğrultusunda proje enjeksiyonları gerçekleştirilmiş ve köprü yapısı güvenli temeller üzerinde inşa edilmiştir. Bu proje ile ülkemizde benzer durumlarda ilk akla gelen çözüm olan kazıklı temellere alternatif olarak uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem ile temel zeminlerinin istenen ölçülerde iyileştirilebileceği gösterilmiştir.

SEMBOLLER

Ep: Presiyometre modülü

E : Düşey deformasyon modülü

α : Presiyometre modülü faktörü

s : oturma

KAYNAKLAR

Baguelin, F., Jezequel, J.F., Shields, D.H. (1978), The Pressuremeter and Foundation Engineering, First Edition, Trans Tech Publications

Clarke, B.G. (1995), Pressuremeters in Geotechnical Design, First Edition, Blackie Academic and Professional

MNG Zemtaş A.Ş. (2006), Trabzon Sahil Geçişi Yolu-Cumhuriyet Köprüsü Geoteknik Raporu, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi

MNG Zemtaş A.Ş. (2006), Trabzon Sahil Geçişi Yolu-Cumhuriyet Köprüsü Deneme Enjeksiyonları ve Geoteknik Proje Raporu, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi