





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kocaeli Körfez Geçiş Köprüsü Kuzey Ankraj Derin Kaya Temeli Geçici Susuzlaştırma Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

 Mehmet İNCE ^{a,*}  Hasan TAŞAN ^b

^a Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmetince18966@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1258379

ÖZ

İnceleme sahası Osmangazi Köprüsü Dilovası tarafındaki kuzey ankraj temel kazı çukuru alanıdır. Kuzey ankraj bloğu ana kayaç olarak dolomitik kireçtaşı üzerine oturmaktadır. Proje tasarım aşamasında ankraj kazısı nihai kotunda (-19,00 m) karşılaşılabilecek yeraltısuyu miktarı 400 m³/gün (yaklaşık 17 m³/saat) olarak hesaplanmıştır. Kuzey Ankraj kazı çukuru susuzlaştırma çalışması jet grout yöntemiyle yapılmasına karar verilmiştir. Proje inşaat aşamasında planlı jet grout çalışmalarının tamamlanmasına paralel kuzey ankrajda kazı çalışmalarına başlanmış fakat kazının ilk metrelerinde kazı alanına giren yeraltısuyu debisi 183 m³/saat olarak kaydedilmiştir. Kazı kotu -7,00 m seviyelerine ulaştığında su debisi yaklaşık 2100 m³/saat'e ulaşmıştır. Karşılaşılan problemin kuzey ankraj inşaat programını dolayısı ile proje genel iş programını en az etkilemesi için sahada art arda etkin ve hızlı sonuç alınabilecek alternatif susuzlaştırma metotlarının denemeleri yapılmıştır. Çimento enjeksiyonu ve tespit edilen karstik boşluklara beton atılması metotlarıyla temel inşaatına izin verebilir şekilde susuzlaştırma sağlanmıştır. Susuzlaştırma probleminin çözümüne yönelik alternatif metot denemeleri ve ilave susuzlaştırma çalışmaları bütçeye ciddi ilave maliyet getirmiştir. Bu vaka çalışmasıyla benzer jeolojik ortamlarda karşılaşılabilecek temel kazılarında susuzlaştırma problemleri ve alternatif, daha etkin sonuçlar elde edilebilecek susuzlaştırma yöntemleri ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ankraj, Debi, Karstik Boşluk, Enjeksiyon, Susuzlaştırma, Jet Grout

Kocaeli Bay Crossing Bridge North Anchorage Deep Rock Foundation Temporary Dewatering Problems and Solution Methods

ABSTRACT

The study area is the north anchorage foundation excavation pit on the Dilovası side of Osmangazi Bridge. The northern anchor block rests on dolomitic limestone as the main rock. During the project design phase, the groundwater quantity to be encountered at the final excavation level (-19,00 m) was estimated to be 400 m³/day (approximately 17 m³/hour). It was decided to carry out the dewatering of the north anchor excavation pit using the jet grout method. In parallel with the completion of the planned jet grout works during the construction phase of the project, excavation works were started in the north anchorage, but the groundwater inflow into the excavation area in the first meters of the excavation was recorded as 183 m³/hour. As the excavation reached the levels of -7,00 m, the water flow rate reached approximately 2100 m³/hour. In order to minimize the impact of the encountered problem on the construction schedule of the northern anchor and thus the overall project schedule, alternative dewatering methods were tested in the field, one after the other, that could provide effective and fast results. With the methods of cement injection and concrete pouring into the determined karstic cavities, dewatering has been achieved at a level that allows the construction of the foundation. The alternative method trials for solving the dewatering problem and additional dewatering works resulted in a significant additional cost to the budget. With this case study, dewatering problems in foundation excavations that may be encountered in similar geological environments and alternative, more effective dewatering methods have been revealed.

Keywords: Anchorage, Permeability, Karst Void, Injection, Dewatering, Jet Grout

I. GİRİŞ

Bu çalışma, İzmit Körfez Geçişi Köprüsü'ndeki kuzey ankraj uygulamalarında derin kaya temelinde ortaya çıkan geçici susuzlaştırma problemlerini ve çözüm yöntemlerini sunmaktadır. İzmit Körfez geçiş köprüsü kuzey ankrajda nihai kazı kotunda beklenen yeraltı suyu debisi $400 \text{ m}^3/\text{gün}$ ($17 \text{ m}^3/\text{saat}$) (TAR, 2013) olarak hesaplanmıştır [13]. Ancak kazının ilerleyen derinliklerinde (yaklaşık 11 metre, -7 m seviyeleri) yeraltı suyu debisi $2100 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'e kadar yükselmiştir. Yeraltı suyu debisinin hesaplanandan yüksek olması, başlangıçta tasarlanan ve sahada uygulanan susuzlaştırma yönteminin yeterli verimi sağlayamaması nedeniyle ilave yöntemlere başvurulmasını gerektirmiştir. Kazı çalışmasının ilave susuzlaştırma çalışmalarıyla eşzamanlı olarak devam etmesi, kazı şevlerindeki güvenlik risklerini en aza indirmek için püskürtme betonu ve kaya bulunu uygulamaları yapılmıştır. İnklinometre ve sörvey noktaları ölçümleriyle şev hareketleri izlenmiştir.

Ankraj çukurunun denize çok yakın olması nedeniyle kazı derinleştikçe su gelişinin arttığı tespit edilmiş ve bunun üzerine yeni bir zemin araştırması yapılmıştır. Uzman yorumlarına göre ilk raporda öngörülen su girişinin dört katı kadar su girişi olabileceği sonucuyla karşılaşılmıştır. İş programları ve yapım metotları değiştirilmiş ve gereken ek finansman için yeniden onaylar alınmıştır.

Susuzlaştırma, inşaat çalışmalarının kuru ve güvenli bir ortamda gerçekleştirilmesi için yeraltı ve yerüstü suyunun inşaat alanına girişini engelleme veya inşaat sahasından uzaklaştırma amacıyla yapılan çalışmalarını ifade eder. Susuzlaştırma yöntemleri, projenin jeolojik koşullarına bağlı olarak değişebilir. Yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında zeminlerde yeraltı su seviyesinin düşülmesi için pompa sistemleri kullanılması ve kaya ortamlarında ise kazı çukuru çevresine su geçirimsiz perde oluşturulması şeklindedir. Karstik kayaçların olduğu jeolojik ortamlarda hidrojeolojik verilerin gerekli hassasiyette araştırılmasının önemi tartışılmazdır. Güvenli olmayan parametrelere dayalı hesaplamalar, her ölçekte inşaat projesinde zaman ve maliyet kayıplarına yol açabilecek yanıltıcı sonuçlara neden olabilir.

Ford ve Williams (2007) [5] karsttaki yeraltı suyu ve kimyası, çözelti mağaralarının özellikleri, mağaralar ve mineraller konularını çalışmışlardır. Goldscheider ve Drew (2007) [7] karstik akifer sistemlerini incelemek için çeşitli yöntemlerin kullanılabilirliği ve karst hidrojeolojisi alanında çalışan bilim insanları ve öğrencilerin temel bilgilere erişebileceği bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Özler (2011) [11] Gebze, Dilovası ve yakın çevresinde yaygın olan karstik kireçtaşlarının yeraltı suyu kaynaklarını araştırmış ve bu bölge için hidrojeoloji haritasını hazırlamıştır. Lombardi ve Deere (1993) [9], kaya kütlelerinin mekanik ve hidrolik özelliklerini çimento karışımları kullanarak iyileştirmek için EYS (Enjeksiyon Yoğunluk Sayısı) kuralını çalışmışlardır. Yıldız (2011) [14] jet grout yöntemleri, makine ve ekipman, imalat parametre hesapları ve kalite kontrol yöntemleri konularında çalışmalar yapmışlardır. Wang, Linb ve Xiaotian (2018) [15] Çin'in Donghai Adası'nda 32.55 m derinliğinde bir dairesel temel kazıda potansiyel sızıntı risklerini belirlemede kullanılan saha deneyleri, sayısal simülasyonlar ve susuzlaştırma çalışmaları bir vaka analizi olarak incelemişlerdir. Bir kazı alanının zemin tabakaları çoklu akiferlerden oluştuğunda hidrojeolojik durum karmaşıktır ve inşaat sırasında karşılaşılabilecek risk artar. Nanjundaswamy (2015) (16) susuzlaştırmanın amacını, hatalı tasarımın potansiyel sonuçlarını, susuzlaştırma tasarımı ve saha uygulama yöntemlerini özetlemektedir. El-Garhy ve Youssef (2007) [17] bu makalede, farklı drenaj sistemleri için yeraltı su seviyesi düşüşünü hesaplamak için kullanılan matematiksel formüller içeren bir bilgisayar programı hakkında bilgi vermektedir. Geliştirilen program, drenaj sistemleri için matematiksel formüller kullanarak el hesabıyla yapılan su seviyesi düşüşü hesaplamalarıyla test edilmiştir. Ayrıca, genellikle farklı drenaj sistemlerini analiz etmek için kullanılan üç analiz yöntemi değerlendirilmiş ve tartışılmıştır. Bu yöntemler matematiksel formül yöntemi, akış ağı yöntemi ve sayısal modelleme yöntemi olarak adlandırılmaktadır.

Bu vaka çalışması, kuzey ankrajın derin kaya temelinde karşılaşılan susuzlaştırma ve ilişkili problemler, muhtemel nedenleri, çözüme için yapılan metot denemeleri ve etkili sonuçlar elde edilen metot uygulamalarını ortaya koymaktadır. Benzer jeolojik ortamlarda gerçekleştirilecek inşaat projelerinde zaman ve mali kayıpların önlenmesi amacıyla kazanılan deneyimler paylaşılmaktadır.

Kuzey ankraj araştırma kuyularına ait bazı permeabilite test sonuçları Tablo 1’de görülmektedir. Kazı çukuru çevresinde geçirimsiz perde oluşturma amaçlı jet grout, ilk tasarım susuzlaştırma yöntemi olarak uygulanmıştır. Alandaki kazı çalışmalarının ilk metrelerinde bu uygulamadan gerekli verimin alınmadığının anlaşılmasıyla beraber karşılaşılan susuzlaştırma probleminin çözümüne yönelik ilave metotlar devreye sokulmuştur. Susuzlaştırma kapsamında uygulanan bu metotlar “Saha Uygulamaları” başlığı altında detaylı olarak açıklanmıştır.

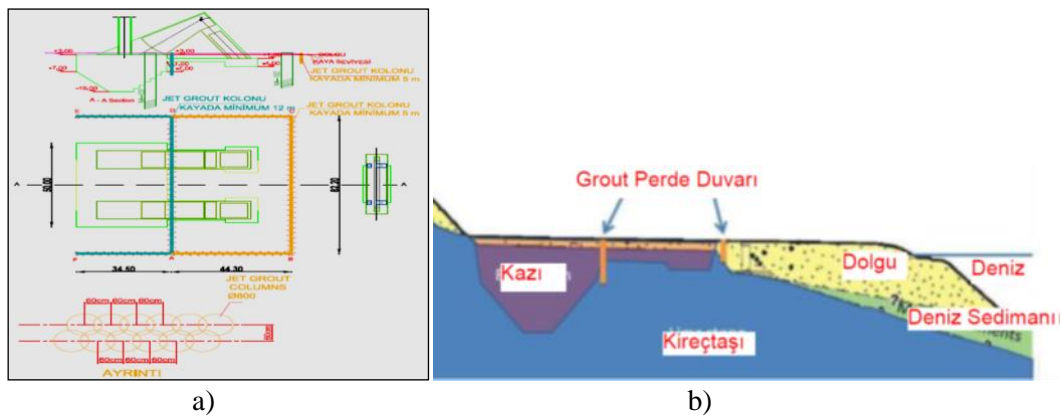
Tablo 1. Permeabilite deneyi ölçüm değerleri [10]

Araştırma Kuyusu	Yeraltı Su Seviyesi(m)	Derinlik Aralıkları(m)	Permeabilite k(m/s)	Tarih	Kaya
NA-101	3.9	13.5-16.5	2.28E-06	18/08/2011	Kireçtaşı
		16.5-19.5	7.45E-07	18/08/2011	
		19.5-22.5	8.63E-07	7/8/2011	
		22.5-25.5	5.27E-07	7/8/2011	
		25.5-28.5	2.27E-06	7/8/2011	
		28.5-31.5	7.72E-07	6/8/2011	
		31.5-34.5	6.65E-07	6/8/2011	
NA-102a	3.7	6.5-9.5	3.88E-08	15/08/2011	

III.SAHA UYGULAMLARI

A. Jet Grout Metodu (İlk Tasarım ve Uygulanan Metot)

Etki çapları 80 cm olan merkezden merkeze 60 cm olan 2 sıra kesişen kolonlar (kaya içinde kolon oluşturulması mümkün değildir, kolon ifadesi, sadece etki çapının ifadesi olarak kullanılmaktadır) ile kazı çukuru çevresinde su geçirimsiz perde oluşturulması tasarlanmıştır. Kolon derinlikleri, ankrajın temel kazı derinliği -1,00 m olan güney kısmında zemin artı 5 m, -19,00 m olan kuzey kısmında ise zemin artı 12 m olarak uygulanmıştır. Jet grout hatları ve derinlikleri gösterir plan Şekil 3’te verilmektedir. En uygun jet grout parametresinin belirlenmesi için sahada deneme enjeksiyonları yapılmıştır. Çimento olarak CEM II A 42,5 kullanılmıştır. Jet grout hattı üzerinde iki farklı alanda 3 farklı parametre ile 21 adet jet grout uygulaması yapılmıştır. Deneme jet grout uygulaması sonrası zemin kısımlarda kolon çap kontrolleri, kaya ortamında ise enjeksiyon şerbetinin kırıklara nüfuzu gözlemek için seçilen deneme kolonlarının merkezinden karotlu sondaj yöntemi ile örnekler alınmıştır. Saha kalite kontrolleri sonucu nozul çapı 2.4 mm, basınç 450 bar, çekme hızı 40 cm/dakika, tij dönüş hızı 25 rpm olan deneme parametresi uygulama parametresi olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. a) Kuzey ankraj bölgesinde jet grout planı [4] b) Jet grout perde duvarı görünümü

Jet grout uygulamalarının tamamlanması sonrası ve kazı derinliği yaklaşık 3,00 m seviyelerinde yeraltısuyu su debisi ölçümü yapılmıştır. Drenaj pompaları aktif haldeyken kazı taban alanı sörvey okumaları alınmış ve yeraltısuyunun statik su seviyesine (+0,62 m) kadar yükselmesine izin verilmiştir. Statik seviyede zamana karşı kazı çukuruna dolan su miktarı 183 m³/saat olarak hesaplanmıştır. Yeraltısuyu debi hesabı çalışmasından bir görüntü Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Kazı alanına giren yeraltısuyu debisinin ölçümü

Alternatif susuzlaştırma yöntem denemeleri esnasında kazı çukuruna atılan dalgıç pompalarla geçici susuzlaştırma yapılarak kazı çalışmalarına devam edilmiştir. Yatay drenaj hattında 700 mm ve 500 çelik borular kullanılmıştır. Kazı çukurundaki dalgıç pompalar yatay tahliye hattına bağlanmıştır. Su, iki çökertme havuzundan geçtikten sonra denize deşarj edilmektedir. Çökertme havuzundan alınan su numunelerinin sonuçları ilgili devlet kurumuna iletilmiştir. Yatay drenaj hattı ve kazı alanından bir görüntü Şekil 5'te görülmektedir.

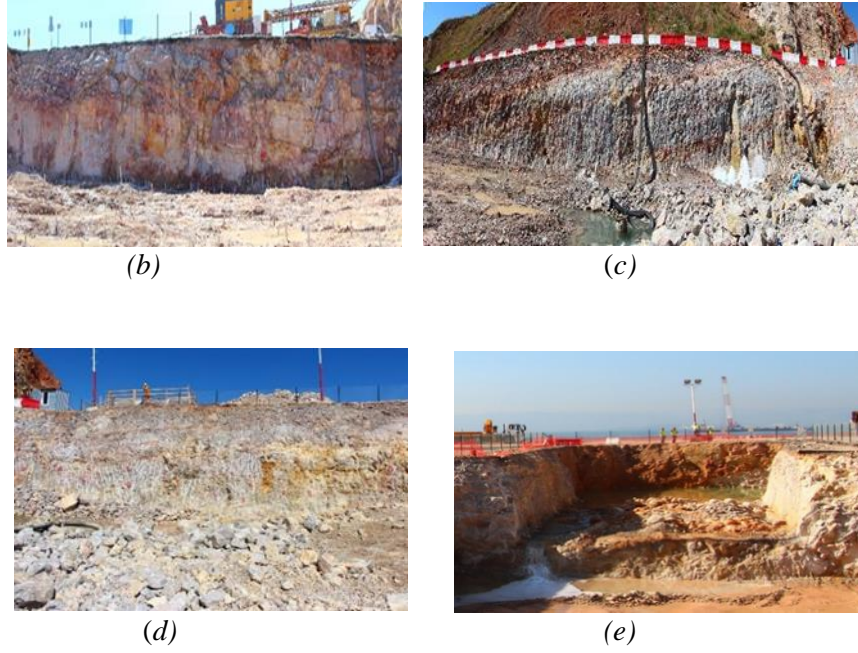


Şekil 5. a) Ankraj çevresi yatay drenaj hattı b) Kullanılan drenaj pompalarından birine ait görüntü c) Yatay drenaj hattı planı

Kazı derinliği yaklaşık 4,00 m seviyesindeyken kazı şevleri üzerinden kayaç durumlarının görülmesi amaçlı çekilen fotoğraflar Şekil 6. a), b), c), d) ve e) de görülmektedir.



(a)



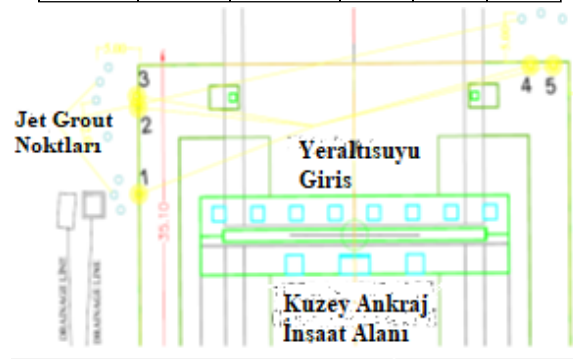
Şekil 6. (a) Kuzey ankray kazı şev yönleri (b) Batı şev kesiti (c) Kuzey şev kesiti (d) Doğu şev kesiti (e) Güney şev kesiti

B. Jet Grout Metot

Kuzey ankray kuzey batı ve kuzey doğu köşelerindeki ana su giriş noktalarının 3,00 m gerisinden, 2,00-5,00 m aralıklı, 102 mm çaplı, derinliği 17 metre olan 8 adet kuyu açılmıştır. Jet grout planı Şekil 7’de verilmiştir. Sondaj sıvısına katılan boya, sondaj noktasına yakın kazı alanına giren kaynak noktalarında gözlenmiştir. Su + çimento, su + çimento + bentonit ve su + çimento + kum olmak üzere 3 farklı deneme karışımı kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan toplam çimento ve bentonit miktarları Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Her bir kuyuda kullanılan çimento ve bentonit miktarları

Kuyu No	Tarih	Çimento (Kg)	Bentonit (Kg)	Taze Grout Sıcaklığı (C°)	Taze Grout Yoğunluğu
1	04.05.2013	9700	475	26,2	1,51
2	06.05.2013	3150	-	27,4	1,62
3	07.05.2013	2400	400	26,5	1,65
4	08.05.2013	5250	250	27,1	1,61
5	08.05.2013	4100	200	27,2	1,61
6	08.05.2013	1400	100	27,4	1,62
7	09.05.2013	2725	75	27,1	1,64
8	08.05.2013	1550	-	27,4	1,61
6 (2. Trial)	09.05.2013	2400	50	27,3	1,63
3 (2. Trial)	10.05.2013	50	50	25,8	1,3
4 (2. Trial)	10.05.2013	50	50	25,8	1,3
Toplam Miktar		32775	1650		



Şekil 7. Yüksek basınçlı jet grout noktaları Aplikasyon planı

C. Kimyasal Enjeksiyon

Kimyasal enjeksiyonda poliüretan, üreaslikat, akrilik veya koloidal silika esaslı ürünler kullanılmaktadır. Yoğun su akışının olduğu yerlerde diğerlerine göre daha hızlı kürlenme özelliğine sahip oldukları için poliüretan ve üreaslikat bazlı ürünler tercih edilirken, hareket beklenen çatlak ve zeminlerde akrilik bazlı ürünler tercih edilmektedir. Daha özel durumlarda ise suyun nüfuz edebildiği her türlü zemine girebilen koloidal silika bazlı ürünler tercih edilmektedir. Katalizörler ile köpükleşme faktörü, hacimsel olarak 7-25 arasında ayarlanabilmektedir [3]. Üç farklı noktada farklı karışım oranları ve delgi düzeni kullanılarak Paker ile poliüretan enjeksiyon denemesi yapılmıştır (Şekil 8).

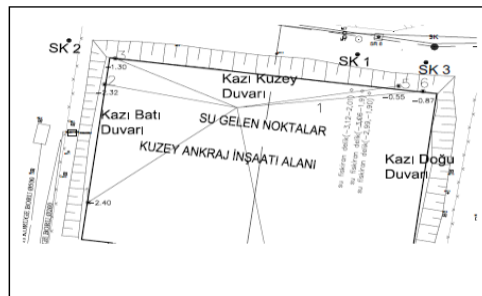


Şekil 8. Poliüretan enjeksiyon uygulaması

Birinci denemede, kazı şevi yüzeyinden 8 m derinlikte kuyu açılmıştır. Paker, kuyu ağzına bağlanmış 600 kg poliüretan ve 60 l katalizör (catalytic) malzeme enjekte edilmiştir. İkinci denemede, kazı şevi yüzeyinden 6 m derinlikte kuyu açılmış 175 kg poliüretan ile 17,5 l katalizör enjekte edilmiştir. Üçüncü denemede ise, şev yüzeyine 15 derece açıyla 2,50 m derinlikte kuyu açılmış 250 kg poliüretan ve 25 l katalizör enjekte edilmiştir.

D. Derin Kuyu Pompaj Sistemi

4 ana kaynak noktasındaki yeraltısuyunun kontrol altına alınması amacıyla, kazı alanı gerisinde bu kaynaklara yakın 3 noktada derin kuyu açılarak dalgıç pompalarla statik su seviyesi kazı kotu altına düşürmesi hedeflenmiştir. Derin kuyular (SK-1, SK-2, SK-3) lokasyon planı Şekil 9'de verilmektedir. Ana su giriş noktalarının gerisinde SK-1, SK-2, SK-3 noktalarında su sondajları yapılmıştır. SK-1 ve SK-2 kuyuları 27,00 m derinliğinde açılmış, SK-3 ise 18,00 m derinliğindedir. Kuyu çapları 254 mm olarak açılmış daha sonra 308 milimetreye genişletilmiştir. Kuyulara 6inçlik pompalar yerleştirilmiştir. Filtreli PVC boru çapı 200 mm olarak seçilmiştir. Sondaj ve pompa yerleştirme çalışmalarının görüntüleri Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 9. Derin kuyular lokasyon planı



Şekil 10. Sondaj ve pompa yerleştirme çalışmaları

SK-1: 12. metreye kadar olan derinlikte yeraltısuyu debisi 10 m³/gün, statik su seviyesi 5 m, dinamik su seviyesi 10 m olarak tespit edilmiştir. 3, 15 ve 21 metrelerde kırıklı akiferle karşılaşmıştır. Kritik debi 25 l/s olarak bulunmuştur. 6 inçlik dalgıç pompa 20. metreye yerleştirilmiştir.

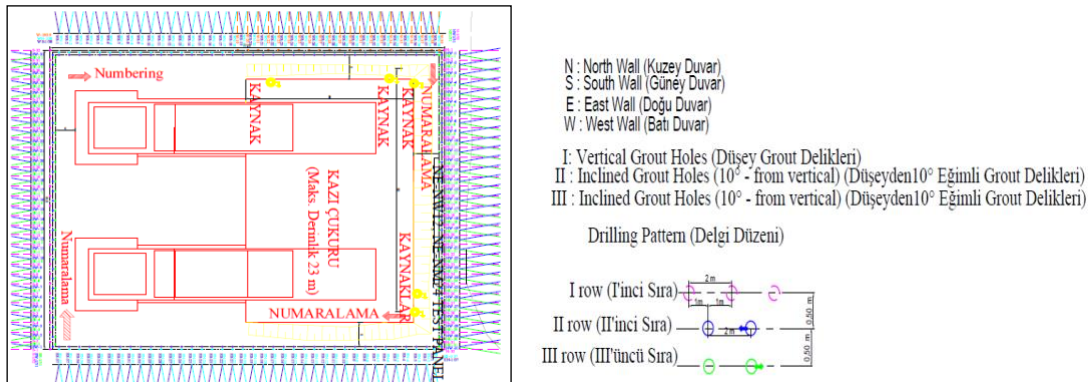
SK-2: 200 mm çaplı filtreli/kapalı borular 26. metreye kadar yerleştirilmiştir. Statik su seviyesi 5 m ve dinamik su seviyesi 10 m olarak tespit edilmiştir. 3, 15 ve 21 metrelerde kırıklı akiferle karşılaşmış, kritik debi 25 l/s olarak bulunmuştur. 21. metrede su debisi 85 m³/h olarak gözlenmiştir. 6 inçlik dalgıç pompa 25. metreye yerleştirilmiştir.

SK-3: 225 mm çaplı filtreli/kapalı borular 15. metreye kadar yerleştirilmiştir. Statik su seviyesi 5 m ve dinamik su seviyesi 10 m olarak tespit edilmiştir. 5, 9 ve 12 metrelerde kırıklı akiferle karşılaşmış, debi 75 l/s olarak rapor edilmiştir. Bu denemeler devam ederken yeraltısuyu debisi 1.030 m³/saat seviyesine yükselmiştir.

E. Çimento Enjeksiyonları

Çimento enjeksiyonu, çimentonun belirli oranda suyla karıştırılarak elde edilen sıvının, zemin türüne ve uygulama metoduna göre, zemin veya kaya içerisine enjekte edilmesidir. Uygulanacak zemin türüne göre karışım oranını belirlemek ve uygulama metodunu tayin etmek esastır. Enjeksiyon yapılan yerde geçirimli özellikteki birimlerin, bu birimlerin altındaki geçirimsiz birimlere perde enjeksiyonu ile bağlamak en çok istenen durumdur. Geçirimsiz birimlerin çok derinde olması durumunda, enjeksiyon perdesi askıda kalacak şekilde oluşturulur ve su kaçaklarının etkisini azaltması için sızma boyu uzatılmış olur. Enjeksiyon delikleri ve sonrasında enjeksiyonların yapılma sistemi “ano” olarak adlandırılır ve belirli aralıklarla yapılır. Bir anonun delgi ve enjeksiyonu tamamlandığında diğer anoya geçilir. Ano uzunluğu yatayda 6-12-24 metre, kuyu aralıkları 1.5 – 3 metre alınabilir. Ano uzunluğunun ve delik aralıklarına karar vermek için enjeksiyon yapılacak alanın genel özelliklerini (kırık – çatlak, boşluk durumlarını vb.) küçük ölçüde yansıtan bir yer seçilerek deneme enjeksiyonları yapılır [12].

Enjeksiyon perdesi, güney ve kuzey duvarlarda 3 sıra batı duvarda 2-3 sıra ve doğu duvarda 2 sıra olarak uygulanmıştır. Kazıya yakın olan II. ve III. sıralar kazı şev çizgisinden 5.0-4.0 metre mesafede 10 derece eğimli olarak çapraz delgi düzeniyle delinmiştir. En dıştaki düşey I. sırası ise bu 2 sıraya şaşırtmalı şekilde delinmiştir. Sıralar arası 0.50 metre, delikler arası mesafe ise 2.00 metredir. Eğimli deliklerin derinliği 28.50 metre iken, düşey deliklerin derinliği 28.00 metredir. Enjeksiyon delgi paterni ve enjeksiyon planı Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 11. Enjeksiyon planı

6 adet enjeksiyon karışım türü (SF-M1, SF-M2, SF-M3, SF-M4, SF-M4, SF-M5, SF-M6) kullanılmıştır. Bu karışımların ana bileşenleri su, çimento (Cem-II A-M 42,5 R), bentonit, kimyasal katkı (Rheobuilt T1, Meyco SA430) ve kum içermektedir. Her bir karışımın bileşenleri Tablo 3'te verilmiştir. Enjeksiyon limit değerleri Tablo 4'te görülebilir. Enjeksiyon kademeleri 3.0 metre olarak hedeflenmiştir. Enjeksiyon refü basıncı, kademe derinliğine bağlı olarak değişmektedir (Tablo 5).

Tablo 3. Karışım bileşenleri

Lab. No. Karışım No.	Su/Çiment o oranı	Bentonit %	Kum (oran)	Kimyasal Katkı		Yoğunluk (gr/cm3)	Viskozite - Marsh Hunisi			
				Rh. T1 (1)	Myc. (2)		*Prepakt			
							0 dak.	15 dak.	30 dak.	45 dak.
18 SF-M1	0,65	-	-	2	-	1,71	34,4	35	35,2	35,5
20 SF-M2	0,65	-	-	2	1,2	1,69	41	41,5	43	44
21 SF-M3	0,65	0,8	-	2	1,2	1,64	43	43,8	43,9	44
29 SF-M4	0,65	0,8	0,5	1,8	1	1,82	12*	-	15*	-
28 SF-M5	0,65	0,8	0,75	1,8	1	1,86	12*	-	13*	-
25 SF-M6	0,65	1	1	1,8		1,9	12*	-	13*	-

Tablo 4. Her bir karışım için enjeksiyon limit hacimleri

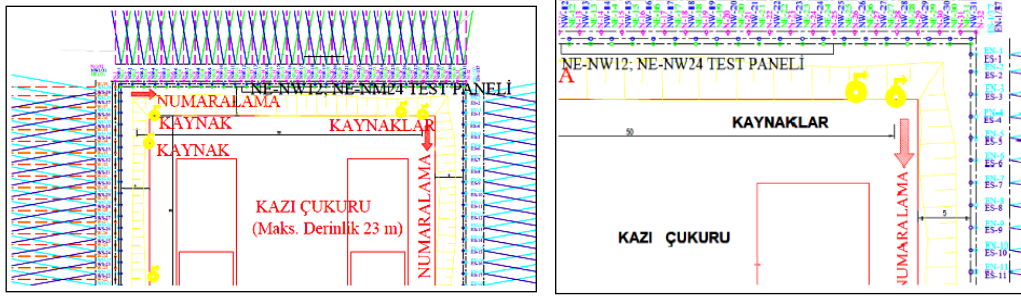
Karışım No.	Limit Hacim(l)	Limit Hacim(l)	Açıklama
		Karstik kanal, boşluk	
SF – M1	3000	-	Basıncı gerekli refü basıncının %50'inden az ise, limit hacim ulaşılmaması sonrası karışımı değiştir
SF – M2	4000	1000	
SF – M3	1000	1000	
SF – M4	5000	4000	
SF – M5	5000	7000	
SF – M6	6000	7000	
Priz Süresi: 8 saat			

Tablo 5. Refü basınçları

Derinlik (m)	Refü Basıncı-PE(Bar)
0,1-1,0	2
1,0-3,0	4
3,0-10,0	10
10,0-28,0 (28,50)	15

Genel olarak enjeksiyona M1 karışımı ile başlatılmıştır. Refü basıncına çıkılamaması durumunda takip eden karışıma geçilmiştir. Basılan enjeksiyon kazı çukurundan çıkması durumunda bir sonraki karışım ile enjeksiyona tekrar başlanmıştır. Bu işlem, refü basıncı elde edilene kadar tekrarlanmıştır.

Enjeksiyon test panel alanı ankrajın kuzey tarafında NE-NW12; NE-NW24 numaralı noktalar arasında seçilmiştir. Enjeksiyon parametreleri, kuyu aralıkları, karışım, penetrasyon ve test alanındaki enjeksiyonun etkinliği gözlenmiştir. Yukarı kademeli enjeksiyon yöntemi kullanılarak test paneli enjeksiyonları tamamlanmıştır. Enjeksiyon test paneli planı Şekil 12'de görülmektedir.

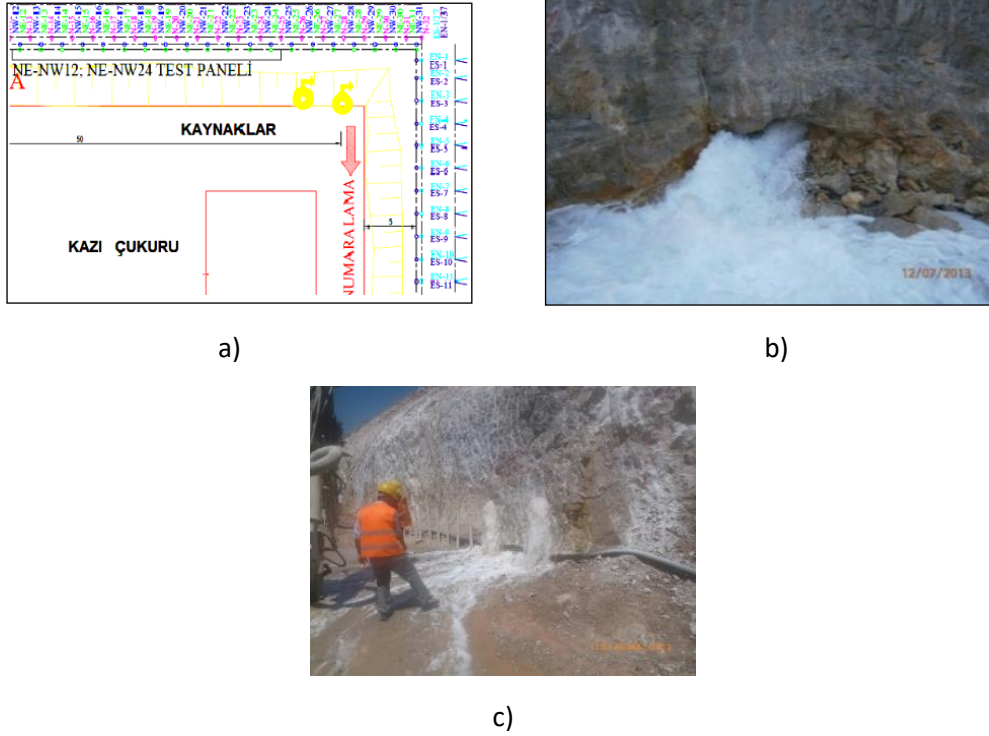


Şekil 12. Enjeksiyon deneme paneli (NE-NW12-NE-NW24)

Test paneli enjeksiyon sonuçları değerlendirmeleri sonrası, deneme enjeksiyon parametreleri kullanılarak normal enjeksiyon çalışmalarına hız verilmiştir.

F. Geniş Çaplı Karstik Boşluklara Beton Atılması

Kuzey ankraj kuzey doğu köşesi -7.00 m (Derinlik 10 m) kotunda büyük çaplı karstik boşluk tespit edilmiştir. Kazı çukuruna giren su debisi yaklaşık 2100 m³/saat olarak belirlenmiştir. Kazı çukuruna giren su miktarının yaklaşık %75'nin bu karstik boşluktan kaynaklandığı hesaplanmıştır. Öncelikli olarak bu karstik boşluğun ıslah edilmesine karar verilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. a) Kuzeydoğu ana yeraltısuyu giriş noktaları plan b) Kuzeydoğu ana yeraltısuyu girişi c) Kuzeydoğu kazı şev dibi patlatma deliğinden yeraltısuyu girişleri

Kuzey doğu köşesindeki enjeksiyon kuyuları (NE-26, NE-28 ve NE-27) 90 mm çapında 6 metre derinliğinde delinmiştir. Karstik boşluk yakalandığı halde, beton mikser oluğu kullanılarak 4 m³ SAP400 betonu dökülebilmştir. Bu kısımda karstik boşluğu daha fazla noktada yakalamak için ek olarak 16 adet kuyu (140 mm çapında ve 12 metre derinlikte) delinmiştir. Kuyular arasındaki mesafe 1 m olarak uygulanmıştır. Kazı çukurundaki su pompaları kapatılarak su seviyesinin yükselmesine izin verilmiştir. SAP400 karışımı beton kullanılmıştır. Karstik boşluğa toplam yaklaşık 40 m³ beton dökülmüştür. Beton dökümü süresince bir dalgıç yardımıyla dökülen betonun kazı çukuruyla irtibatı kontrol edilmiştir. Beton dökümü sırasında betonun kazı çukuruyla irtibatı rapor edilmiştir. 12 saatlik

beton priz bekleme süresi sonunda kazı çukurundaki su drenajı başlatılmıştır. Operasyon sonunda, ana karstik boşluktan gelen suyun miktarında yaklaşık %70'lik bir azalma gözlenmiştir. Beton dökümü ve sonrasındaki işlemlerle ilgili görüntüler Şekil 14'te görülebilir.



Şekil 14. Bu şekil ana yeraltı suyu giriş noktasındaki ıslah çalışmalarından alınmış

Ana karstik boşluktaki su akışını tamamen kesmek ve boşluğu kazı tarafında da betonla doldurmak için özel çelik bir kapak tasarımı yapılmıştır. Karstik boşluktan gelen suyun kontrol altına alınması amacıyla kum torbalar kullanılarak su, 200 mm çaplı koruge boru içine alınmıştır. Çelik plakanın kaya yüzeyine tutturulması için toplamda 12 adet delik açılmıştır. Bu deliklerin aralığı 2-3 metre, derinlikleri ise 0,50 metredir. Çapı 32 mm olan donatı çubukları grout malzemesiyle deliklere ankrajlanmıştır. Çelik kapak çerçevesi, bu ankrajlı donatılara kaynaklanmıştır. Plaka yerleştirilmeden önce karstik boşluk Şekil 44'te görüldüğü gibi püskürtme beton ile doldurulmuştur. Püskürtme beton uygulaması sonrası çelik kapak kayaya ankraj edilmiş çelik çerçeveye kaynaklanmıştır. Çelik kapak üzerindeki kaynaklı beton dirseği aracılığıyla, karstik boşluğa 5 m³ SAP 400 karışımı beton dökülmüştür. Beton dökümü sonrasında çelik çerçeve etrafından gelen sulara karşı delikler açılmış ve mekanik paker kullanılarak deliklere sırasıyla 2 bar basınçla enjeksiyon yapılmıştır. Yapılan çalışmaların fotoğraflar Şekil 15'te sunulmaktadır. Bu çalışmalar sonunda, karstik boşluktan gelen su debisi yaklaşık 119 m³/saat seviyesine düşmüş ve toplam kazı alanına giren su debisi yaklaşık olarak 319 m³/saat seviyesine düşmüştür.



Şekil 15. Karstik boşluğun kazı iç kısmından kapatılma çalışmaları

F.1. Kuzey Kazı Şevi Üzerindeki Lokal Karstik Boşlukların Enjeksiyonu

Bu yöntemde öncelikle su kum torbaları kullanılarak çelik boru içine alınmıştır. Çelik borunun etrafına çelik mesh yerleştirilmiş ve ardından püskürtme beton ile kapatılmıştır (Şekil 16).



Şekil 16. Küçük çaplı karstik boşlukların enjeksiyonu

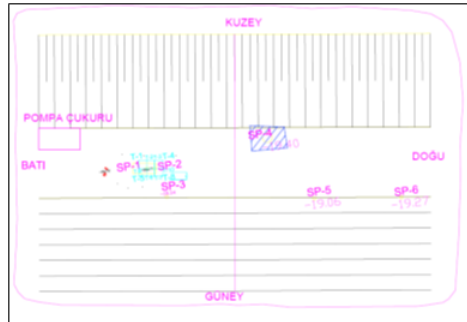
Püskürtme betonu priz süresinin sonunda, enjeksiyon valfi ve manometre çelik boruya bağlanmıştır (Şekil 17). M1, M2, M3, M4, M5 ve M6 karışımları kullanılarak 2 bar basınçla enjeksiyon uygulanmıştır. Enjeksiyon çalışması sonrasında su tamamen kesilmiştir.



Şekil 17. Karstik boşluğa enjeksiyon uygulaması

F.2. Nihai Kazı Kotunda Ortaya Çıkan Kaynakların Islahı

-19.00 m kotunda kuzey ankraj kazısı tamamlanmış fakat bu kotta da ortaya çıkan yeni basınçlı artezyen kaynakları sebebiyle kazı çukuruna giren su debisi yaklaşık $600 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'e yükselmiştir. Kazı tabanında 6 noktadan yeraltısuyu girişi gözlenmiştir. Kaynakları gösterir plan Şekil 18'de görülmektedir. En fazla su girişleri SP-1 ve SP-2 kaynaklarında görülmüştür. SP-1, SP-2, SP-3 kaynaklarına ilk etapta aşağıdaki yöntemlerle müdahale edilmiştir.



Şekil 18. -19.0 metrede karşılaşılan kaynakları gösterir plan

İlk etapta 6 adet kuyuya (SP-1 – SP-6) mekanik paker bağlandıktan sonra aşağıdaki verilen parametrelerle enjeksiyon yapıldı. Enjeksiyon karışım ve karışım limit değerleri Tablo 6 ve 7'de verilmektedir. Refü basıncı maksimum 4 bar, bekleme süresi 10 dakika ve refü koşulu $0,5 \text{ L / m / dk}$ olarak uygulanmıştır. Uygulama esnasından tüm karstik boşlukların birbiriyle bağlantılı olduğu anlaşılmıştır. İstenen refü değerlerine çıkılamamıştır.

Tablo 6. Enjeksiyon karışım özellikleri

Lab. No.	Su/ Çimento (oranı)	Bentonit (%)	Kum (oran)	Kimyasal		Yoğunluk (gr/cm ³)	Viskozite – Marsh Hunisi				
				Katki	Myc.		*Prepakt				
Karışım No.				Rh. T1 (1)	-2	0	15	30	45		
20											
SF-M2	0.65/1.0	-	-	2.0	1,2		41	41,5	43	44	
21											
SF-M3	0.65/1.0	0,8	-	2.0	1,2		43	43,8	43,9	44	
31											
SF-M4/1	0.65/1.0	0,8	0,50	1,8	1,4	1,820					
30											
SF-M5/1	0.65/1.0	0,8	0,75	1,8	1,4	1,850	16*	-	23*	-	
33	0.65/1.0	1,0	100	1,8	1,6		*Akmadı				

Tablo 7. Enjeksiyon akış şeması

Karışım No.	Limit Hacim (L)	Limit Hacim(L)	Limit Hacim (L)	Açıklama
	Su Kaybı Yok (A)	Su kaybı – Çatlak (B)	Su kaybı – açık karstik kanal, boşluk (C)	
SF – M2	200	200	200	Karışım değişimi 2 bar
SF – M3	200	200	200	
SF – M4/1	200	400	600	
SF – M5/1	200	400	600	
	Priz Süresi: 8 saat			

En fazla su girişi olan SP-1 ve SP-2 kaynaklarının ıslahı için bu kaynaklar çevresinde 10 m derinlikte 10 adet kuyu açılması, tüm irtibatlı kuyulara mekanik paker bağlanması, 4 bar refü basıncıyla 4.0+4.0+2.0 m, 0.0-0.30 (2 bar) kademelerde belirli bir sırada enjeksiyon yapılmasına karar verildi. Ancak, delgiler sırasında daha yüksek bir debiye sahip artezyen kaynağıyla karşılaşmıştır. SP-1 ve SP-2 çevresinde karşılaşılan yüksek debili kaynaklar Şekil 19’da görülmektedir.



Şekil 19. SP-1 ve SP-2 kaynakları

Enjeksiyon yöntemi ile sonuç alınamayacağı anlaşıldıktan sonra SP-1 ve SP-2 kaynaklarına beton dökülmesine karar verildi. Sonucun başarısız olması durumunda mevcut su debisinin çok daha üstünde bir su debisi ile karşılaşma riski göze alınarak SP-1 ve SP-2 kuyuları 90 mm çapa genişletildi. Genişletilmiş kuyulara beton pompası bağlanabilen çelik borular yerleştirilmiştir. Çelik borular sağlam kayaya 25 mm donatı çubuklarla ankraj edildi. Bu donatılar çelik boruya kaynatıldı. Kuyulara SAP 400 karışımı ile beton basıldı. Bu yöntemle bu 2 ana kaynağın ıslahı sağlanırken bu kuyuyla irtibatlı diğer kaynaklarda da su debilerinin azaldığı gözlemlendi. Kaynakların ıslah çalışmalarından görüntüler Şekil 20 a, b ve c’de verilmektedir.



Şekil 20. SP-1 ve SP-2 kaynaklarının ıslahı çalışmaları

F.3. Kazı Şevlerinde Çimento Enjeksiyonu ile Kesilemeyen Çok Küçük Çaplı Kaynakların 20mm PVC Borular ile Nihai Kazı Kotundaki Yatay Drenaja Bağlanması

Tüm kazı şevlerinin bazı kısımlarında noktasal veya dağınık halde su girişlerinin olduğu gözlenmiştir. Bu su girişlerinin temel beton dökümüne imkân verecek şekilde ilave tedbirlerle ıslahı gerekmektedir.

Kazı tabanında mevcut müdahalelerle ıslah edilmeyen kaynak suları, küçük kanallar vasıtasıyla kuzey şev dibi boyunca açılan ana kanal yoluyla kuzey batı köşesindeki pompa çukuruna yönlendirilmiştir. Şevlerdeki küçük çaplı kaynaklar matkaplarla genişletilmiş ve delgi çapına uygun PVC borular bağlanmıştır. Yaklaşık 400 adet PVC boru, şev dibi yatay drenaj kanalındaki perfore borulara bağlanmıştır. Yaklaşık 0.40x0.30 m boyutlu yatay drenaj kanalı, uygun gradasyonlu filtre malzeme ve üzerinde jeotekstil ile kaplanmıştır. Çalışmalarla ilgili görseller Şekil 21’de verilmiştir.



Şekil 21. Şevlerdeki küçük çaplı kaynakların yatay drenaj bağlanması

Pompa çukuruna 2 adet 800 mm çelik boru yerleştirilmiş ve boruların etrafı çakıl ile doldurulmuştur. Çakıl üzeri jeotekstil ile örtülmüştür. 2 adet drenaj pompası çelik boruların içine yerleştirilmiştir. Su pompalarından biri çalışır durumdayken diğer pompa herhangi bir arıza durumuna karşı yedek olarak hazırlanmıştır. Çelik boruların boyu ankraj betonunun yükselmesine paralel olarak uzatılmıştır. Kuzey ankraj beton işleri tamamlandıktan sonrası çelik boruların içi betonla doldurularak körlenmiştir.

IV. BULGULAR ve TARTIŞMA

İnşaat projesinin tasarım, kalite ve maliyetinin belirlenmesinde kritik unsurlardan bir olan zemin etüt çalışmaları ve bu çalışmaya bağlı zemin parametrelerinin yanıltıcı sonuçları, hemen proje aşamasında veya ilerleyen zamanlarda mal ve can kayıplarına neden olmaktadır.

İlave 3 jet grout denemelerinde enjekte edilen karışımın sızan suda yıkandığı gözlenmiştir. Bu nedenle müdahale edilen noktalarda su miktarında bir azalma sağlanamamıştır. Debisi yüksek noktalarda yapılan kimyasal enjeksiyon denemelerinde olumlu sonuç elde edilememiştir. Aynı şekilde, derin kuyu pompaj sisteminde kullanılan pompalar, statik su seviyesini düşürememiştir.

Çimento enjeksiyonu metodu kullanılarak, nihai kazı kotunun 5 m altına kadar uzanan su geçirimsiz perde duvarı oluşturulmuştur. Enjeksiyon parametrelerinin doğrulanması için deneme paneli, yeraltı suyu girişlerinin en yüksek olduğu kuzeydoğu köşesinde seçilmiştir. Karotlu sondaj yöntemiyle elde edilen numuneler üzerinde enjeksiyon etkinliği doğrulanmıştır. Büyük çaplı karstik boşluklar haricinde, kazı çevresinde daha sorunlu noktalarda karışım oranları ve özellikle priz hızlandırıcı oranındaki değişikliklerin kullanılması, daha etkin sonuçlar elde etmeyi sağlamıştır.

Kuzey ankraj kuzey doğu köşesi -7,00 m kotunda karşılaşılan karstik boşluğa beton mikseri oluğu kullanılarak serbest akışla beton dökülmüştür. Nihai kazı kotunda karşılaşılan karstik boşluğa ise mobil beton pompasıyla beton basılarak olumlu sonuç elde edilmiştir. SP-1 ve SP-2 kaynaklarının ıslah edilmesi, SP-3-SP6 kaynaklarından gelen su miktarını kabaca %80 azaltmıştır. Bu kottaki kaynakların birbiriyle bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Kuzey ankraj temel betonunun kalitesini olumsuz etkileyecek kazı şevlerinde küçük çaplı kaynaklar, 20 mm PVC borularla nihai kazı kotundaki yatay drenaja bağlanmıştır. Kazı duvarları/şevleri boyunca

birçok noktadan yeraltı suyu gelmesi, noktasal kaynaklara yetersiz müdahale olduğunu ve kazı alanının çevresel geçirimsiz bir perde oluşturulmasının zorunlu olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, çimento enjeksiyon yöntemi etkin bir çözüm olarak öne çıkmıştır.

Kazı çalışmasının derinleştikçe, yeraltı suyu debisinin artması, bazı yöntemlerin yeterli verimi sağlamamasına neden olabilir. Bu nedenle, benzer şartlarda ve jeolojik ortamda yapılacak susuzlaştırma amaçlı geçirimsizlik perdesi çalışmalarının yeraltı suyu statik seviyesinde uygulanması, uygulama maliyetini ve iş süresini azaltabileceği söylenebilir.

Kazı duvarlarındaki süreksizlikler ve eklemlerden gelen sular, mevcut su sorununa ek olarak şev duyarsızlık problemine de neden olmuştur. Şev duyarsızlığına karşı kaya bulonu ve püskürtme betonu uygulanmıştır. Şevlere uygulanan püskürtme betonu uygulamasının kılcal su girişlerinin ıslahında etkili olduğu söylenebilir.

V. SONUÇLAR

İnşaat projelerinde derin kazı ve devamında inşaat çalışmalarının planlanan kalite, güvenlik ve iş programında sürdürülebilmesi için yeraltı suyunun kontrol altına alınma zorunludur. Susuzlaştırma, inşaat alanına gelen suyun ortamdan uzaklaştırılması dolayısıyla uygun çalışma ortamı yaratması yanı sıra, şevlerde olası kayma düzlemi üzerindeki gözenek suyu basıncının düşürülerek kayaç duyarlılığının artırılmasına yönelik uygulamaların başında gelir. Yanlış bir yaklaşım olarak kazı alanlarında yeraltı suyuyla ilişkin sorunlar genellikle sorunun ortaya çıkmasından sonra çözülmeye çalışılır. Derin inşaat temel kazılarında olası yeraltı suyu sorunlarının tanımlanması, boyutlandırılması ve olası çok yönlü risklerin kontrol altına alınması çalışmaları eksik ve yetersiz düzeyde kalmaktadır.

Proje tasarımı öncesinde ve tasarım aşamasında, zemin araştırmalarıyla hidrojeolojik ortamın detaylı bir şekilde incelenmesi ve ilgili tasarım parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gereklidir. Özellikle çok kırıklı kaya ortamında, permeabilite testleri (WPT) gibi çalışmalarda zorluklarla karşılaşılabilir. Proje safhasında, sebep olabileceği bedeller hesaba katılarak hassas verilerin gerektirdiği çalışmalar için bu aşamalarında gerçekleştirilmelidir.

Susuzlaştırma tasarımcısı, tasarıma girdi parametrelerinin doğruluğunu bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleriyle uyumunu da kontrol etmelidir. Çalışma alanını yansıtmayan verilerle yapılan hidrojeolojik hesap ve susuzlaştırma yönteminin olumsuz sonuçları projeye maliyeti kestirilemez kayıplar yaşatabilir.

Jet grout uygulaması, yaygın olarak zeminlerde kullanılan bir yöntemdir. Ancak, kaya ortamında geçirimsiz perde oluşturulmasında hedeflenen verimin alınmadığı tespit edilmiştir.

İlave susuzlaştırma çalışmalarına devam ederken, kazıya da devam edildi ve geçici susuzlaştırma işi kazı alanı içinde yüksek kapasiteli dalgıç pompalarla kullanılarak sağlandı. Bu nedenle, kazı kazı çukuru giren su debisi arttı. Bu durumda, kimyasal enjeksiyon ve derin kuyu pompaj yöntemlerinden yeterli verim alınamamış olabilir.

Uygulanan susuzlaştırma yöntemlerine ek olarak, kazı çalışmalarına paralel olarak geçici susuzlaştırmanın kazı çukuru içinde dalgıç pompalar kullanılarak sağlanması, kazı alanı çevresindeki statik su seviyesi eğrisinin kazı çukuru sınırlarından geri çekildiğini ve su probleminin nihai kazı kotuna taşındığını söylemek de yanlış olmaz.

VI. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

VII. KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında STFA Temel Araştırma ve Sondaj A.Ş., ECAP Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş. ve Ayson Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş. yetkililerine, Ayson tasarımcısı Sn. Saydın Altuğ'a ve IKG Projesi'ndeki STFA Kalite Kontrol, Teknik Ofis ve Şantiye Ekibindeki tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

VIII. KAYNAKLAR

- [1] Ş. Abdüsselamoğlu, "Kocaeli Yarımadası'nın Jeolojisi," MTA Ens. Rapor No. 3249, İstanbul, Turkey, 1963.
- [2] İ. E. Altınlı, "İzmit-Hereke-Kurucadağ Alanının Jeoloji İncelemesi," Sayı 71, 1-26 ss. MTA Mecmuası, Ankara, Turkey, 1968.
- [3] DSİ, "Temel Sondaj ve Enjeksiyon Teknik Şartnamesi," DSİ, Ankara, Turkey, 2016.
- [4] DTWRCW, "Detail Design of Temporary Water Retaining Cutoff Walls (DTWRCW) (Jet Grout Columns) for North Anchorage Excavation Works, İzmit Bay Suspension Bridge, DTWRCW, Doküman No. 79.15.E.6408, 2012.
- [5] D. Ford and P. Williams, "Karst Hydrogeology and Geomorphology," John Wiley and Sons Ltd, 2007. (Published in Cave and Karst Science, Vol. 34, No. 1, pp. 40-41, 2007).
- [6] FDRNABMRC, "Field Data Report, North Anchorage Bedrock Mapping and Rock Mass Characterization (FDRNABMRC) for İzmit Bay Bridge, Turkey," FDRNABMRC, Task No. 6, 2010.
- [7] N. Goldscheider and D. Drew, "Methods in Karst Hydrogeology," Taylor & Francis is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business. Taylor & Francis Group, London, UK, 2007.
- [8] GIR, "Geotechnical Interpretative Report (GIR), İzmit Bay Crossing Bridge," GIR, Doküman No. IZMIT-COW_REP_DD_GEO_0001, 2012.
- [9] G. Lombardi ve D.U. Deere "EYS kuralı ile enjeksiyon projelendirmesi ve kontrolü (Water Power and Dam Construction, June)," SX Bölge Müdürlüğü, Antalya, Turkey, 1993 (Translated by Adil Öktem).
- [10] OGSIFDR, "Onshore Geotechnical Site Investigation Factual Data Report (OGSIFDR), Engineering Studies İzmit Bay Suspension Bridge-EPC Geotechnical Studies İzmit Bay, Turkey," OGSIFDR, Task No. 4, 2011.
- [11] H. Özler, "Gebze ve Dilovası'nın (Kocaeli) Hidrojeolojik İncelemesi," Fiziki Coğrafya Araştırmaları Sistemik ve Bölgesel Dergisi, 2011.
- [12] H. Özkan, "Enjeksiyon Yöntemleri ve Uygulamaları," Ankara, 2006.
- [13] TAR, "Technical Assessment Report (TAR) for Dewatering Design of the Deep Excavation Pit of the North Anchorage. İzmit Bay Suspension Bridge," TAR, Report No.: IZMIT-EC-RPT-TWN-3100, 2013.
- [14] R. Yıldız "Jet Grout Kolon Yöntemi ile Zemin İyileştirmesi Yapılması", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Semineri, İzmir, 2011.
- [15] J. X. Wang, Linbo Wu, Xiaotian Liu "Dewatering of a 32.55 m Deep Foundation Pit in MAMA Under Leakage Risk Conditions, KSCE Journal of Civil Engineering (2018) 22(8):2784-2801.
- [16] P. Nanjundaswamy, Construction Dewatering, S J College of Engineering Mysuru – 570 006, 2015.
- [17] B. M. El-Garhy ve A. F. Youssef, Evaluation of Three Analysis Methods of Dewatering Systems, Soil Mechanics and Foundation Engineering 18(2):1-15, 2007.