

İSTANBUL METROSU MECİDİYEKÖY-GÜLTEPE ARASI TÜNELLERDE ENJEKSİYON UYGULAMALARI

GROUTING APPLICATIONS IN THE ISTANBUL METRO BETWEEN MECİDİYEKÖY AND GÜLTEPE

Ahmet VAROL

Istanbul Metrosu, 1. Aşama 1. Kısım, Tekfen İnşaat, 80660 4. Levent, İstanbul

Süleyman DALGIÇ

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 34850 Avcılar, İstanbul

Özet: İstanbul Metrosu 1. Aşama 1. Kısım tünellerinde kaya ortamının iyileştirilmesi, yüzey ve yeraltısuyu-
nu önleme amaçlı enjeksiyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada da yapılan kontak, derz, konsolidasyon, göçük
ve kimyasal enjeksiyonlar ile izolasyon çalışmalarının başarı durumları değerlendirilmiştir.
Kontak enjeksiyonu ile akar haldeki sular kesilmiş, sadece tünel duvarlarında ıslaklıklar ve damlamalar kal-
mıştır. ıslaklık ve damlamaları da engellemek için izolasyon ve derz enjeksiyonlarından olumlu, kimyasal enjek-
siyon çalışmalarından ise iyi sonuç alınamamıştır. Konsolidasyon enjeksiyonu Gültepe alt geçitindeki fore kazık-
ların tünel kazı alanında bulunması ve Gültepe T tüneline ise tüneller arasındaki topuğun çok az oluşu nedeniyle
uygulanmıştır. Gültepe T tipi tünellerde konsolidasyon enjeksiyonu kuyu alış miktarı ortalama 3 kg/m, Gültepe
alt geçitinde ise ortalama 17 kg/m olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Metro, kaya, su, enjeksiyon

Abstract: To improve rock environment and prevent surficial and groundwater flows, grouting studies were
conducted in 1st stage-1st part tunnels of the Istanbul Metro. In this study, status of contact, derz, consolidation,
slump and chemical grouting as well as isolation works is evaluated.

With the use of contact grouting, waters in flow were eliminated but the wetness and drippings on the walls
were remained. In preventing of wetness and drippings, isolation and derz studies yielded positive results while
chemical grouting works revealed unsatisfactory results. Because fore piles of the Gültepe underpass are in the tun-
nel excavation area and the tail between the tunnels is a little one, a consolidation grouting was performed. The
amount of well receiving in consolidation grouting of T type Gültepe tunnels is about 3 kg/m while it is 17 g/m in
the Gültepe underpass.

Keywords: Metro, rock, water, grouting

GİRİŞ

İstanbul metrosu 1. aşama inşaatında Taksim - 4. Levent arasında 6 istasyon ve çift tüp olarak yaklaşık 7.5 km uzunluğunda inşa edilmektedir. Tünel inşaatı yüzeyden ortalama 10-30 m derinliktedir. Tünellerin en kesit kazı alanları 22 ile 100 m² arasında değişmekte ve 6 farklı tünel tipi bulunmaktadır. Bu kesit alanlarından en büyüğü T tipi (100 m²) olarak adlandırılan makas tünelleridir.

İstanbul metrosu inşa çalışmalarında su geliş sorun olmuştur. Bu durum projede iç kaplama betonu ile birincil destek sistemi arasına proje gereği uygulanmayan sıcak uygulamalı membrandan kaynaklanmıştır. İç kaplama betonunda oluşan çatlaklardan ve imalat derzlerinden gelen su akış, damlama, sızıntı ve nemlenme şeklindedir. Metro elektrikli sistemle çalışacağı için bu durum tehlikelidir. Su gelişinin engellenmesi için kontak, derz, kimyasal enjeksiyon ile yüzeyel izolasyon çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, metronun yüzeye yakın inşa edilme-

si ve Gültepe tünellerinde 100 m²lik T tipi tünellerden dolayı kaya ortamının jeomekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla konsolidasyon enjeksiyonu çalışmaları uygulanmıştır.

METRO GÜZERGAHININ MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

İstanbul metrosu 1. Aşama 1. Kısım kazı çalışmaları Karbonifer yaşlı, Trakya Formasyonu olarak bilinen (Kaya, 1971) birbirleriyle yanal ve düşey geçişli kumtaşı, silttaşı ve kiltası içerisinde açılmaktadır. Trakya Formasyonu'nu oluşturan tabakaların kalınlıkları genel olarak 5 cm ile 50 cm arasında değişmekte, bazı kesimlerdeki kumtaşlarında ise tabaka kalınlığı 100 cm'yi bulmaktadır. Ayrıca, istif içerisinde yer yer andezit ve diya-baz damarları veya silleri bulunmaktadır. Genelde birbirinin uzantısı şeklinde her iki tüpte karşılaşılan andezit-diyabaz daykları 5-15 m kalınlıktadır. Diğer taraftan, Zincirlikuyu tünelineki mikrogabrodan oluşan sığ so-kulum bazik stokun Trakya Formasyonunu en az 150 m

kestiği belirlenmiştir (Biberoğlu ve Dalgıç, 1996). Trakya Formasyonunu kesen kuvars veya kalsit damarları da vardır. Bu damarların en çok 20-30 cm kalınlığında oldukları görülmüştür. Fliş niteliğindeki istif, Hersiniyen orojenez döneminde, daha sonra Alpin döneminde (Ketin ve Güner, 1989) şiddetle deforme olmuş, kıvrılmış, faylı ve ezik özelliktedir.

Tünelin kazısı sırasında Trakya Formasyonu'nun akifer niteliği taşımadığı gözlenmiştir. İstifin su taşıma ve ileme kapasitesi; katmanlanma, eklem ve çatlaklar, ya da ezilme zonları gibi, ikincil geçirimsizlik kazandıran süreksizliklerin denetiminde gelişmiştir. Bu durumun doğal sonucu olarak, tünel inşaatı sırasında yerel bazı su boşalmaları yaklaşık 0.1 ile 1 l/s arasında değişen değerler ölçülmüştür. Güzergah boyunca karşılaşılan suların bir kısmı da yeraltısuyu olmayıp eski galerilerden gelen depolanmış su (Biberoğlu, 1995), yüzey, kaçak vb. sızıntı sularıdır. Ancak, tünel kazısı sonrasında bu az miktardaki suyun varlığı bile, bazı kesimlerde ortamın kuru tutulmasını engellemiştir. Sonuçta bu sorun enjeksiyon çalışmalarını ile çözülmeye çalışılmıştır.

ENJEKSİYON UYGULAMALARI

İstanbul metrosu Mecidiyeköy - Gültepe tünellerinde uygulanan kontakt, derz, kimyasal, konsolidasyon ve göçük enjeksiyonu çalışmaları aşağıda tanımlanmıştır.

Kontakt enjeksiyonu uygulamaları

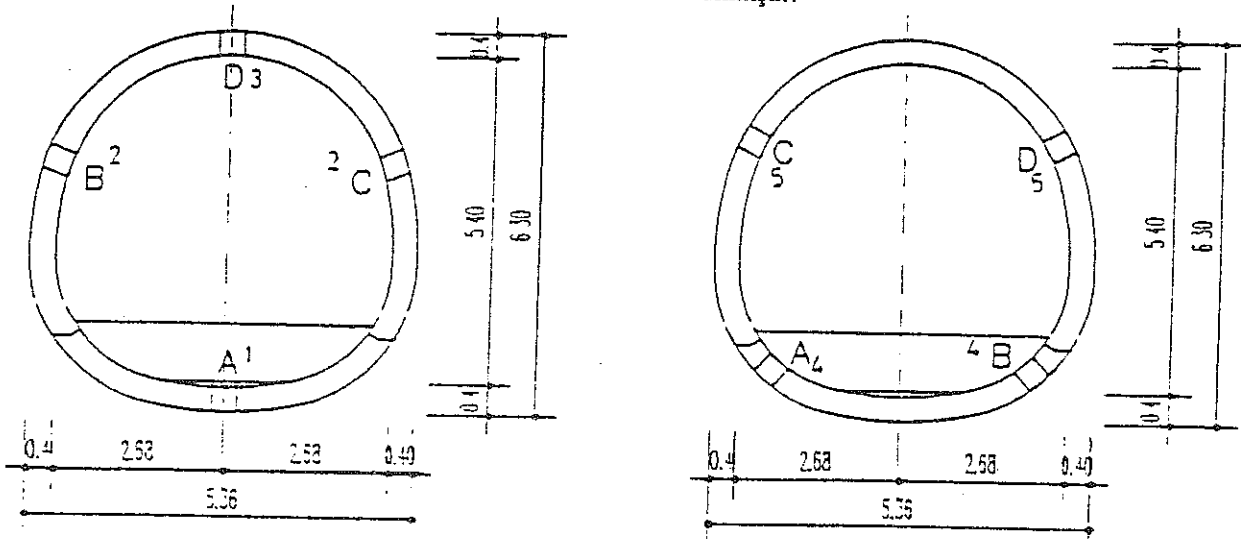
Kontakt enjeksiyonunda delik boyları beton kalınlığı (1.destek+2.destek)+50 cm'lik kayada ilerleme esasına dayanmaktadır. Tavandaki deliklerin olası boyları boşluklar nedeniyle genellikle 15 cm daha uzun tutulmaktadır. Çizelge 1'deki delik boyları en az olup, bazı kesimlerde 45-100 cm ilaveler uygulanmıştır. Kaplama betonun tamamlandığı kesimlerde proje gereği her üç metrede bir + 90°'lik ve 45°'lik açılarla ardışık olarak

delikler delinmiştir. Tünellerde kullanılan çimento - su - bentonit- kum karışım oranları Çizelge 2' de verilmiştir. Uygulanan kontakt enjeksiyonlarında refü basıncının Albayrak (1994)'e göre 2 kg/cm^2 olmasına rağmen sistemdeki kayıplar göz önüne alınarak 3 kg/cm^2 uygulanmıştır.

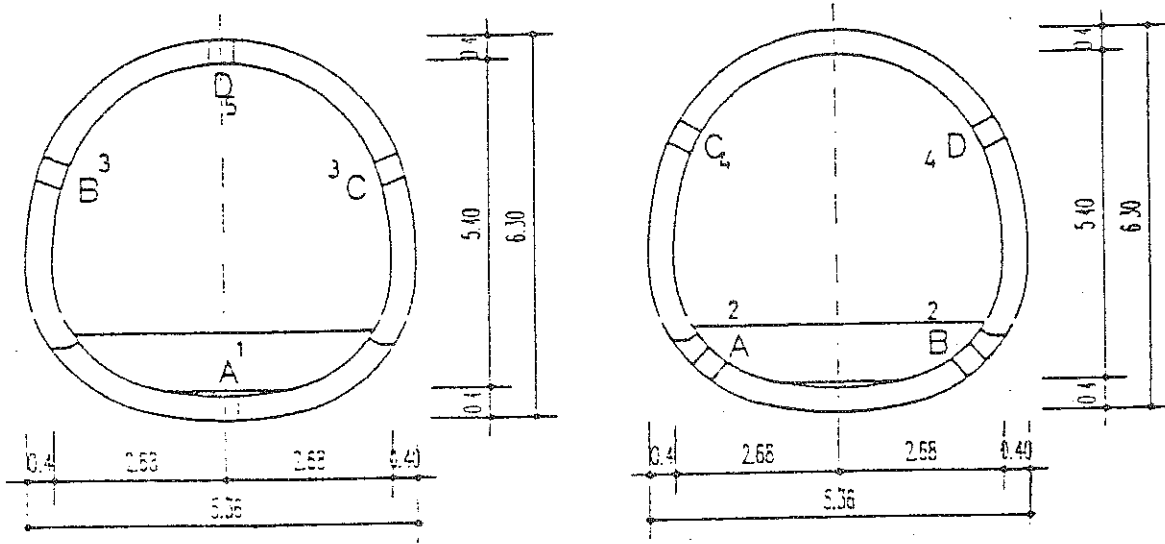
Daralan aralıklar sistemi

İstanbul Metrosu 1. Aşama 1. Kısım inşaatında daralan aralıklar sistemi 700 m'lik bir alanda uygulanmıştır. Birleşik kaplar sistemine göre dolgu yapmak için enjeksiyona tünel eğiminin tersi yönünde başlanmıştır. Enjeksiyonu yapılan tünel tüpünün boyu 100-200 m arasında değişmektedir. Bu sistemde 90 derecelik + kuyuların önce tabandaki A kuyusundan enjeksiyonuna başlanmıştır. Sonra + B ve C kuyuların enjeksiyonu yapılmıştır. Daha sonra + kuyulardaki D kuyularının enjeksiyonuna geçilmiş ve 6 metrede bir açılan 90 derecelik kuyuların enjeksiyonları tamamlanmıştır (Şekil 1). Sonra 45°'lik x kuyuların enjeksiyonuna geçilmiştir. Bu kesimde önce 45°'lik A, B kuyularının, daha da sonra 45°'lik C, D kuyularının enjeksiyonu yapılmıştır. Derzler yakın olan +B, C ya da x C, D kuyuları ise açılı olarak delinmiştir. Burada amaç; su gelişinin en çok sorun çıkardığı derzlerin enjeksiyonla kapatılmasıdır.

Daralan enjeksiyon sisteminde enjeksiyon alımları 233 kg/m olarak tespit edilmiştir. Bu sistemde kuyular arasındaki enjeksiyon etkileşimi fazla olmuş, bu da etkileşim yapan kuyunun yeniden delinmesini gerektirmiştir. Bu sistemde tüm kuyuların delgi ve enjeksiyonu beş aşamada tamamlanmıştır. Enjeksiyon kuyularının çimento alımları homojen olmayıp, tavandaki +D kuyularında yoğunlaşmıştır. Daralan aralıklar sistemi tünellerde genellikle konsolidasyon enjeksiyonlarında uygulandığından (DSİ, 1987 şartnamesi) bu sistem daha sonra terkedilmiştir.



Şekil 1. Daralan aralıklar sistemindeki +90° ve x 45° kuyu yerleri ve enjeksiyon sırası.
Figure 1. The + 90° and x 45° well positions and row at the shrinking spaces system.



Şekil 2. Aşağıdan yukarıya enjeksiyon uygulamasında $+90^\circ$ ve $\times 45^\circ$ delgi yerleri ve enjeksiyon sırası.
Figure 2. The $+90^\circ$ and $\times 45^\circ$ well positions and row at the grouting system from down to up.

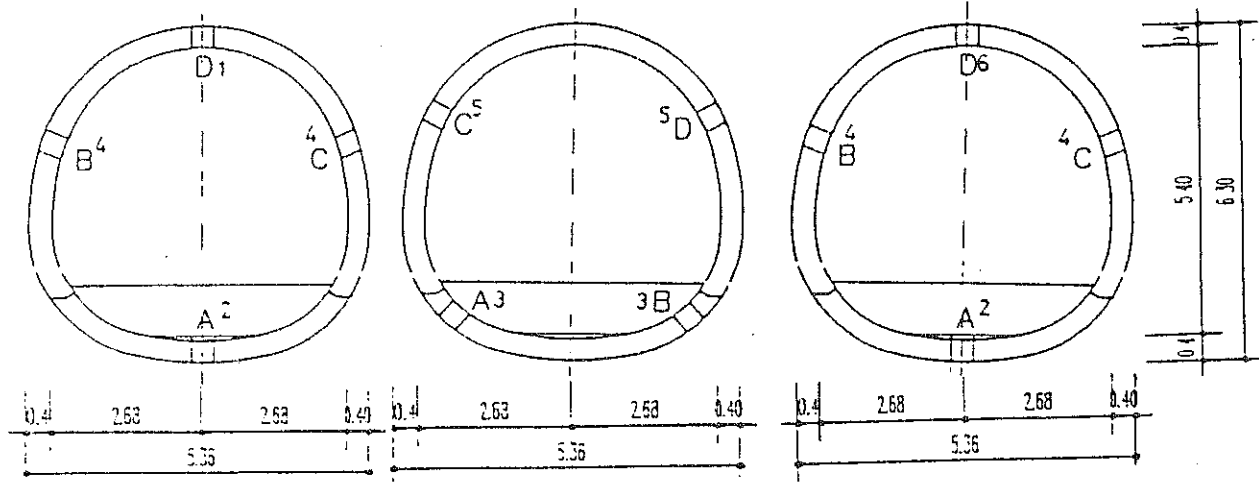
Aşağıdan yukarıya enjeksiyon sistemi

İstanbul Metrosu 1. Aşama 1. Kısım tünellerinde 2189 m'lik kesimde ve 5 adet bağlantı tünellerinde aşağıdan yukarıya enjeksiyon sistemi uygulanmıştır. Bu sisteme geçilmesindeki amaç, suyun bir üst kottaki kuyudan drene edilmesi ve irtibatlı kuyuların sayısının en aza indirilmesidir. Burada kuyuların enjeksiyonuna $1/3 + \% 6$ bentonit karışım oranlı şerbet ile başlanmıştır. Bu karışım oranıyla kılcal çatlaklara ve derzlere enjeksiyonun nufuz etmesi sağlanmıştır. Bu sistemde önce 90° 'lik + tabandaki A kuyularının enjeksiyonu yapılmıştır. Sonra 45° 'lik \times A -B kuyularının enjeksiyonu yapılmıştır. Daha sonra 90° 'lik B, C ve 45° 'lik C-D kuyuların enjeksiyonu uygulanmıştır. En son 90° 'lik D kuyusunun enjeksiyonu ile çalışılan tüpün enjeksiyonu tamamlanmıştır (Şekil 2). Bu sistemde de daralan aralık sisteminde oldu-

ğu gibi, derzlere yakın olan + B, C ya da \times C, D kuyuları derzlere açılı olarak delinmiştir. Bu sistemde tüm kuyuların delinip enjeksiyonun yapılması için ekipman işi dört aşamada tamamlanmıştır. Buradaki kuyu alışları 245 kg/m olarak saptanmış ve kuyuların çimento alış dağılımında homojenlik görülmüştür.

Ön dolgulu aşağıdan yukarıya enjeksiyon sistemi

Ön dolgulu aşağıdan yukarıya enjeksiyon sistemi, aşağıdan yukarıya enjeksiyonun özel bir durumu olup, bu uygulama Zincirlikuyu tünellerinde yaklaşık 1698 metrelik kısmında gerçekleştirilmiştir. Daha değişik bir sistemin uygulanmasının sebebi, burada bileşimli bir yalıtım polietilen malzemesinin betondaki çatlakların önlenmesi amacıyla uygulanmış olmasıdır. Bu malzeme Zincirlikuyu tünellerinde püskürtme betonu ile ikinci



Şekil 3. Ön dolgulu aşağıdan yukarıya enjeksiyon sisteminde $+90^\circ$ ve $\times 45^\circ$ kuyu yerleri ve enjeksiyon sırası.
Figure 3. The $+90^\circ$ and $\times 45^\circ$ well-positions and row at the front filling grouting system from down to up.

Çizelge 1. Kontakt enjeksiyonu delik derinlikleri.**Table 1.** The hole depths of contact grouting.

Tünel tipi	Taban delik derinliği (cm)			Yan delik derinliği (cm)			Tavan delik derinliği (cm)			
	Beton kalınlığı	Kayada delik derinliği	Toplam uzunluk	Beton kalınlığı	Kayada delik derinliği	Toplam uzunluk	Beton kalınlığı	Tavandaki boşluk	Kayada delik derinliği	Toplam uzunluk
T	90	50	140	50	50	100	50	15	50	115
P	65	50	115	40	50	90	40	15	50	105
A	40	50	90	40	50	90	40	15	50	105

kaplama (iç kaplama) betonu arasına yerleştirilmiştir. Bu uygulama sırasında kullanılan polietilen malzeme tavana zorunlu olarak belirli yerlerden kesilmiş ve bu şekilde bırakılmıştır. Bu kesimlerin sızdırmazlığını sağlamak amacıyla ön dolgu enjeksiyon sistemi uygulanmıştır. Önce tavan D kuyularının 12 metrede bir atlamalı enjeksiyonu yapılmıştır. Daha sonra aşağıdan yukarıya sisteminde olduğu gibi tabandan tavana doğru enjeksiyon tamamlanmıştır (Şekil 3).

Ön dolgululu enjeksiyon işçilik açısından zor bir sistemdir. Çünkü tüm kuyuların delinip enjeksiyonları için makineler 6 aşamada işi tamamlamaktadır. Bu uygulamada kuyu alışları ise 245 kg/m olarak tespit edilmiştir. Burada tavan kuyularında enjeksiyon alışları oldukça yoğunlaşmıştır. Ayrıca, bu sistemde tavan kuyularının enjeksiyonu başlarken ve tamamlanırken 12 metrede bir tekrar yapıldığı için tavanlardaki boşluklar kontrol edilmiş olmaktadır.

Derzlerde enjeksiyon uygulanması

Bu uygulama kontak enjeksiyonu tamamlandıktan sonra su gelen derzlerde yapılmıştır. Derzlere açılı olmak üzere (45-60°) delikler delinmiştir. Enjeksiyonun tüm derz boyunca irtibatı sağlanmıştır. Enjeksiyona başlangıçta 1/3 çimento /su oranlı karışımla başlanmış derzin irtibatı sonrasında 1/1 çimento su oranlı, daha koyu karışım ile enjeksiyona devam edilmiştir.

Derz enjeksiyonlarında kuyu alışları az miktarda olup (15 kg/m) önemli sayılabilecek rakamlara ulaşmamıştır. Bu çalışmalar sonunda tünel derzlerinde damlama ve akış durumundaki sular kesilmiş, sadece nemlenme ve ıslaklık giderilememiştir. Ancak, metroda iç kaplama betonu anolarının ayrı ayrı çalışmasını sağlamak için derzler arasına 2 cm'lik taş yünü bırakılmış olduğundan derz boyunca enjeksiyon irtibatı yeterince sağlanamamıştır. Bu durum enjeksiyonların başarısını olumsuz yönde etkilemiştir.

Kimyasal enjeksiyon

Kontakt ile derz enjeksiyonu sonrasında bazı kesimlerde damlama ve ıslaklık halinde su sorunları kalmıştır. Bu sorunların giderilmesi için kimyasal enjeksiyon yapılmıştır. Kullanılan malzeme; %10 bentonit, %20 su, %10 sodyum silikat (Na_2SiO_2), %0.5 sodyum pirofosfat

(Na_2PO_4)'dır. Uygulamada derzler açılı şekilde delikler delinmiştir. Delik boylarının dış ve iç kaplama arasında kalmasına dikkat edilmiştir. Delinen deliklere 2-5 kg/cm²'lik basınç altında hazırlanmış karışım enjekte edilmiş ve derz boyunca ilerlemesi beklenmiştir. Amaca ulaşıldıktan sonra drenaj delikleri bırakılarak derzler alçı ile sıvanmıştır. Fakat, 200 lt karışım enjeksiyonu basılmasına ve derzin tümü enjeksiyonla irtibat yapmasına rağmen halen bazı kesimlerden damlama halinde suyun geldiği gözlenmektedir. Alışların daha az olduğu yerlerde ise suların aktığı gözlenmiştir. Buradan çıkarılacak sonuç; karışımın 7 saate varan jelleşme süresince derzlerdeki su hareketinin devam ettiğidir. Bu karışım su kesme amaçlı değil, kum, çakıl ve kısmen iri taneli örnekler üzerinde daha etkili olmaktadır (Özbeyoğlu, 1988).

İzolasyon çalışmaları

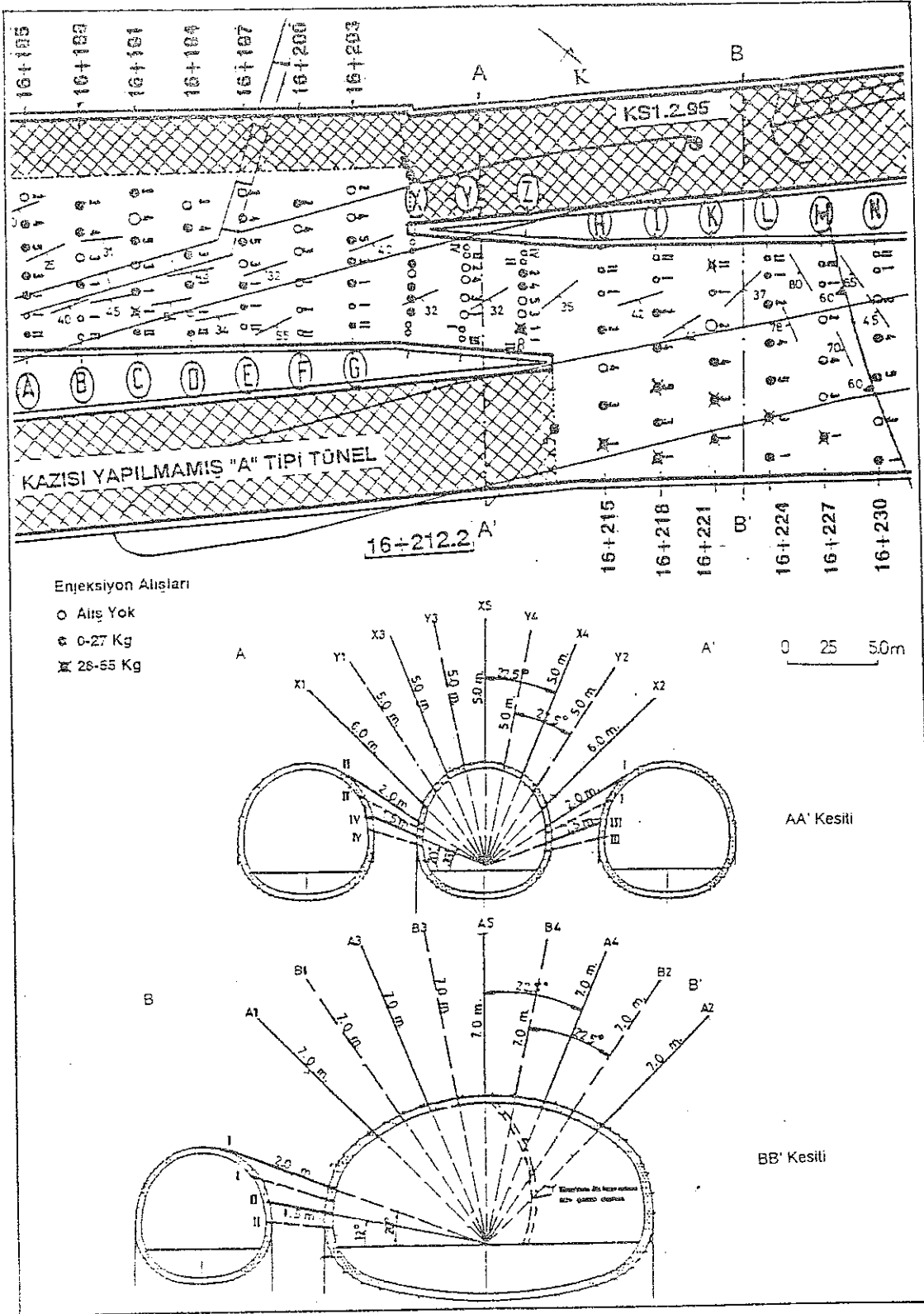
Tünellerde damlama ve ıslaklıkların yoğun olduğu yerlerde izolasyon çalışmaları da yapılmıştır. İzolasyon çalışmalarında değişik karışımlar denenmiş, ancak kullanım kolaylığı, ekonomikliği ve diğer nedenlerle Ceme-seol, See prompt, Sika, Thoro, Hey'di ve Kristop ürünleri kullanılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda tüneldeki damlamalar tamamen kesilmiş, sadece bazı kesimlerde ince sızıntılar kalmıştır.

Konsolidasyon enjeksiyonu uygulamaları

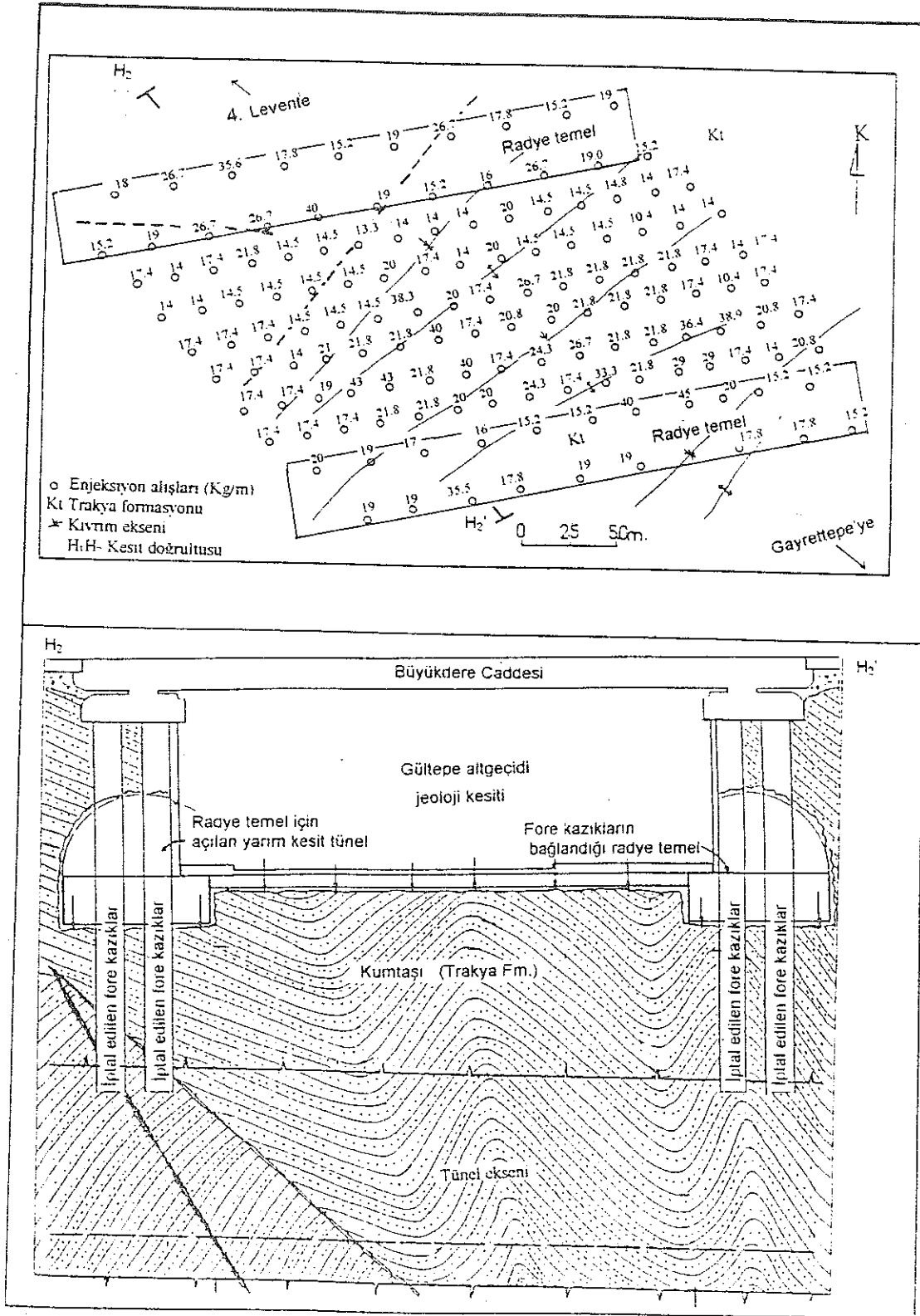
Gültepe tünellerinde kaya ortamının jeomekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla, T tipi tünellerin bulunduğu alanlarda ve Gültepe alt geçitinde konsolidasyon enjeksiyonu uygulanmıştır (Biberoğlu, 1996).

T tipi tünellerin bulunduğu alanlarda konsolidasyon enjeksiyonu uygulamaları

T tipi tünellerin bulunduğu alanlarda örtü kalınlığı 16-17.5 m, kazı kesiti 100 m² ve tüneller arasındaki topuk yaklaşık 1-3 m'dir. Örtü kalınlığının üstten 1-2 metrelik kısmı yapay dolgu, 2-4 metresi zemin özelliğinde son derecede ayrılmış kaya, alt kesimlerde ise çok zayıf-zayıf kaya kütlesi ortamı bulunmaktadır. Tünellerin örtü kalınlığı bu durumda yaklaşık 10 metredir. Bu kalınlık ise açılacak yeraltı boşluğundan (topuk dışında 16-18 m) daha az olduğundan tünellerde kemerlenme sorunu olabileceği tahmin edilmiştir. Bu nedenle T tipi tünellerin



Şekil 4. Gültepe tünellerinde konsolidasyon enjeksiyonu uygulamasında kuyu alışları ve jeolojik kesit.
 Figure 4. Well taking of the consolidation grouting in the Gültepe tunnel and their cross section.



Şekil 5. Gültepe alt geçidi konsolidasyon enjeksiyonu kuyu alışları ve kesiti.
Figure 5. Well taking of the consolidation grouting in lower passage at the Gültepe and cross section.

Çizelge 2. Kontak enjeksiyonunda kullanılan karışım oranları.**Table 2.** The proportions of mixture at the contact grouting.

Çimento/su karışım oranı	Çimento		Su
	(kg)	(l)	
1/3	50	16.6	150
1/1	150	50	150
7/5	150	50	107

bulunduğu alanlarda enjeksiyon çalışmalarının yapılmasına karar verilmiştir.

Gültepe tünellerinde çoğunluğu 7 m olan 1.5-7 m boyunda, 111 kuyu delinmiş ve toplam 550 m konsolidasyon enjeksiyonu yapılmıştır (Şekil 4 ve Çizelge 3). Konsolidasyon enjeksiyonunda refü basıncı 5 kg/cm² olarak seçilmiş ve sürtünme kayıplarında dikkate alınarak 1 kg/cm² artışla toplam 6 kg/cm² uygulanmıştır. Delikler arasındaki mesafe 3 m olup, delgi ve enjeksiyon çalışmaları bir tur atlanarak uygulanmıştır. Enjeksiyonlar aşağıdan yukarıya doğru ve 5 m derinlikteki kuyular için iki kademede, 7 m derinlikteki kuyularda ise üç kademede yapılmıştır. Enjeksiyonlara 1/3 su/çimento ve %5'lik bentonit karışımı ile başlanmış, alış olmadığı için daha yoğun karışımlara geçilmemiştir. Kuyulardaki ortalama alışlar da 3 kg/m olmuştur. Bu değer Deere (1976) sınıflamasına göre, düşük alış değerini temsil etmektedir.

Gültepe alt geçiti konsolidasyon enjeksiyonu uygulamaları

Gültepe köprü tabliyesi fore kazıklar üzerine oturulmuştur. Fore kazıkların 12 tanesi metro tünellerin kazı alanları içerisinde kalmaktadır. Metro tünelleri ve alt geçit köprüsünün duraylılığını korumak, ortamın dayanım parametrelerinin artırılması gerekmiş ve bu amaçla

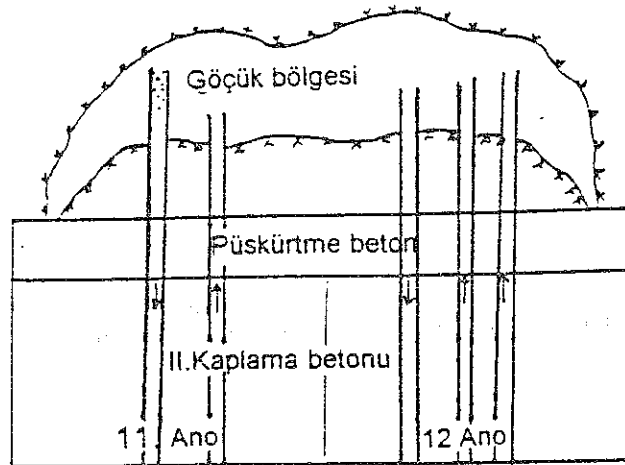
Çizelge 3. Gültepe tünelleri konsolidasyon enjeksiyonunda delgi boyu, delgi sayısı ve alışlar.**Table 3.** The length, number and taking of drill at the consolidation grouting in the Gültepe tunnels.

Delik boyu (m)	Delgi sayısı	Çimento (kg)	Bentonit (kg)
8	50	2.5	
2	2	50	2.5
1.5-7	46	37.5	1.25
1.5-7	55	-	-

konsolidasyon enjeksiyonları uygulanmıştır. Radye temel altında ve bunların arasındaki alanda metro tünellerin konumuna göre 4.5-11,5 m arasında değişen derinliklerde, 3 m aralıklı şaşırtmalı, 138 adet düşey delgilerle, toplam 1156.5 m enjeksiyon yapılmıştır. Delgilerde kademeli şekilde ikişer metrede bir 2-4 kg/cm² refü basıncı ile enjeksiyon uygulanmıştır. Şaşırtmalı şekilde delinen deliklerde 1/1 ile 7/5 oranında çimento/su karışımı ve ek olarak % 2 bentonit kullanılmıştır. Refü şartında kuyular 20 dakika beklenerek prize bırakılmıştır. Kazı destek sonrası yerinde yapılan konverjans ölçümlerinde kaya ortamının iyileştirilmesinin amacına ulaştığı saptanmıştır. Gültepe geçiti konsolidasyon enjeksiyonunda en az ve en fazla alış değerleri fay/fay zonu ve antiklinal eksenlerinde görülmüştür (Şekil 5). Buralarda ortalama enjeksiyon alış 17 kg/m olmuştur. Bu değer, Deere (1976) sınıflamasına göre düşük alış değerini temsil etmektedir.

Göçük enjeksiyonu

Kazı esnasında genelde fay zonlarında gelişen (Biberoglu ve Dalgıç, 1996) göçüklü kesimlerde de enjeksiyon çalışmaları yapılmıştır (Şekil 6). Delikler göçük tavanına ulaşacak şekilde tünel içinden yapılmış ve bu de-



Şekil 6. İstanbul Metrosunda oluşan fazla kazı-kaya boşalmalarının enjeksiyon ile doldurulması.
Figure 6. The filling of the overbreak and rock fall by grouting in the İstanbul Metro.

liklere 1 1/4 inç'lik borular sürülmüştür. Deliklere farklı boyda sürülen borulardan öncelikle kısa boylu olanından enjeksiyon verilmiş ve diğer kuyudaki borudan enjeksiyonun gelmesi beklenmiştir. Kuyuda refü sağlanıncaya kadar enjeksiyona devam edilmiştir. Bu bölgelerde göçük büyüklüğüne ve delinen deliklerdeki başarıya göre delik sayısı artırılmış veya azatılmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

İstanbul Metrosu Mecidiyeköy - Gültepe tünelleri inşaatı sırasında yüzey ve kaya ortamından yeraltısuyunun gelişinin engellenmesi ve kaya ortamının sağlamlaştırılması amacıyla enjeksiyon çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

İstanbul Metrosu Mecidiyeköy ile Gültepe tünelleri arasında kontakt enjeksiyonu daralan aralıklar, aşağıdan yukarıya ve ön dolgulu aşağıdan yukarıya olmak üzere 3 farklı şekilde uygulanmıştır. Bunlar içerisinde aşağıdan yukarıya enjeksiyonların, kuyulardaki alıtların homojenliği, işçilik ve ekipmanların zamana bağımlılığı açısından, uygulanan diğer yöntemlere göre üstün tarafları olmuştur. Uygulanan her üç kontak enjeksiyonu yönteminde akış halindeki sular kesilmişse de ıslaklık ve yer yer damlamalar giderilememiştir. Derzlerin enjeksiyonu kontak enjeksiyonu tamamlandıktan sonra su gelen yerlerde uygulanmıştır. Kontak enjeksiyonu ve derz enjeksiyonuna rağmen su gelişinin önlenemediği kısımlarda, ayrıca derz tamiri ve izolasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonunda tüneldeki damlama ve akış durumdaki sular kesilmiş, yalnızca su sızıntıntıları kalmıştır. ıslaklığın giderilmesi için kimyasal enjeksiyon çalışmaları da denenmiş fakat, bu yöntemle su gelişini engellemede başarı sonuçlar alınamamıştır.

Konsolidasyon enjeksiyonu Gültepe altgeçitinde ve Gültepe T tüneline uygulanmıştır. Bu her iki alandaki konsolidasyon enjeksiyonu çalışmalarında kuyu alıtları yaklaşık 3 kg/m ile 17 kg/m düzeyinde kalmıştır. Bu miktar enjeksiyon alışıma göre yapılan sınıflamada düşük değeri temsil etmektedir. Kazı esnasında oluşan boşalma alanlarında, son kaplama betonu tamamlandıktan sonra göçük iyileştirme amaçlı kontak enjeksiyonu yapılarak bu alanlar sağlamlaştırılmıştır.

Metro elektrik ile çalışacağından tünellerin sudan tamamen arındırılmış olması gerekmektedir. Suyun tamamen engellenmesi için tünellere sıcak yapıştırma esaslı membran dahil edilmelidir. Ayrıca, tünellerde elektrik sistemine zarar verecek durumda sorunlu kısımlardaki yüzey-yeraltısularını önlemek için, tabanda belirli aralıklarla drenaj delikleri delinmeli ve toplanan sular dışarıya aktarılmalıdır.

SUMMARY

During the construction of Mecidiyeköy-Gültepe tunnels of the İstanbul Metro, grouting studies were carried out to prevent groundwater flow from surface and

rock environment and strengthen the rock environment. Results obtained are summarized below.

Contact grouting between Mecidiyeköy and Gültepe tunnels of the İstanbul Metro were performed in three different forms as narrowing spaces, bottom-to-top, and bottom-to-top with fore-filling. Of these, bottom-to-top grouting has superiority to the other methods with respect to homogeneity of fluids in the wells, labor, and time-dependence of equipment. Although waters in flow were eliminated in all three contact grouting methods, wetness and partly drippings could not be removed. Upon completion of contact grouting, derz grouting was applied in places of water flowing. In addition, derz repairing and isolation works were also conducted in places where water flow could not be stopped in spite of consolidation and derz grouting. As results of these works, water flowing and drippings in the tunnel were eliminated but the water seepage was still remained. Chemical grouting studies performed to eliminate the wetness also yielded unsatisfactory results.

Consolidation grouting was conducted in Gültepe underpass and Gültepe T tunnel. The amount well-receiving in both consolidation works was about 3 kg/m which corresponds a lower value in the classification of grouting receiving. Following the completion of final coating cement, the discharge areas formed during the excavation were strengthened with the contact grouting having a slump improvement goal.

Since metro will work with electricity, tunnels should be completely free of water. In order to remove water, tunnels have to be included a membrane with hot-stuck basis. In addition, in case of electricity system is damaged, to remove surficial-groundwater in problematic parts of the tunnel, drainage holes should be perforated and waters accumulated must be drained out.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, İstanbul Metrosu 1. Kısım 1. Aşama inşaatını gerçekleştiren Metro 1 ortaklığı çalışanlarına veri aktarımından dolayı teşekkür ederler.

DEĞİNİLEN BELGELER

Albayrak, Z., 1994, İstanbul metrosu kontak enjeksiyonu teknik şartnamesi, Yüksel proje, İstanbul. (Yayınlanmamış rapor) 13 .

Biberoğlu, S., 1995, İstanbul Metrosu 1. Aşama 1. Kısım inşaatındaki delme tünellerde karşılaşılan eski su tünelleri, İstanbul su kongresi ve sergisi, Bildiriler kitabı, 241-247

Biberoğlu, S., ve Dalgıç S., 1996, İstanbul metrosu kazılarında karşılaşılan fay zonlarının kazı duraylılığına etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Ulusal kongresi, İzmir, 316-324.

- Biberoğlu, S., 1996**, Gültepe tünellerindeki konsolidasyon enjeksiyonu değerlendirmeleri, Tekfen Tesisat A.Ş. İstanbul, (Yayınlanmamış rapor), 5.
- Deere, D.,U., 1976**, Dams on rock foundations, some design questions in: Rock engineering for foundations and slopes conference II, Boulder, Colorado, August, pp. 55-86.
- DSİ, 1987**, Sondaj ve enjeksiyon teknik şartnamesi, Ankara, 34.
- Kaya, O., 1971**, İstanbul'un Karbonifer stratigrafisi. TJK Bülteni, Cilt XIV, Sayı 2, s. 143-199.
- Ketin, İ., ve Güner, T., 1989**, İstanbul bölgesinde Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu'nun yapısal özelliği, Mühendislik jeolojisi Bülteni, Sayı 11, s. 13-18.
- Özbeyoğlu, F., 1988**, Kimyasal enjeksiyon yöntemlerinin mekanik özellikleri ve diğer enjeksiyonlarla ıslah yöntemlerinin karşılaştırılması, Yayınlanmamış seminer notları, 99.

Makalenin geliş tarihi: 09.01.1998

Makalenin yayına kabul tarihi: 04.05.1998

Received January 09, 1998

Accepted May 04, 1998