

GÖÇÜKLERİN ENJEKSİYONLA ONARIMI DEMİRYOLU TÜNELLERİNDEKİ PROBLEMLERİN ENJEKSİYONLA ONARIMI

Zeki ALBAYRAK (*)

1- Trafiğe açılmış demiryolu güzergahlarındaki göçüğün enjeksiyonla onarımı: (Fransa Şekil 1) Göçüğün oluşma nedeni karayolu civarından gelen sular olmuştur. Ana zemin şıştır. Tünelin net çapı 6 m. olup on- nm çalışmalarına göçüğün iki tarafında duvar örülmesiyle başlanmıştır. Aralara 1"-1 1/2" çapında borular konarak gerek zeminden, gerekse enjeksiyondan gelen suların tahliyesi sağlanmıştır. Bu deliklerden enjeksiyon şerbeti gelmeye başlayınca ağızlan tıkanmıştır. Tünel içinde göçük malzemesi ile duvar arkasındaki boşluklar, kil veya çok ince kum sütle doldurulmuştur (çimento sarfiyatını azaltmak ve kazı sırasında problem çıkmaması için). Daha sonra yeryüzünden göçüğün içine 300-400 m dolgu malzemesi dökülmüştür. İki cins enjeksiyon delikleri tertiplenmiştir. Dış sıradaki deliklerden öncelikle koyu kıvamlı veya kum içeren şerbetler enjekte edilmiştir. Böylece daha iç sıradaki deliklerden enjeksiyon yaparken, şerbetin çok uzaklara gitmesi önlenmiştir. Başka bir deyimle tek sıra halinde enjeksiyonlar yapılmış olsaydı çimento şerbetleri çok uzaklara haftalarca gidebilir ve refü basıncı sağlana- mazdı. Ankara civarında, Ayaş tünellerinde böyle bu olay yaşanmıştır.

1- Enjeksiyonlar aşağıdan yukarıya doğru çıkan fazlar şeklinde ve kademe boyları 1 m. olacak şekilde yapılmıştır. Refü basıncı 2-5 kg/cm² arasında değişmiştir. Enjeksiyonda kullanılan harcın bileşiminde, çimento /su = 9/10, çimentonun % 33 ' ü kadar bentonit ve yine çimentonun %100 ' ü ne varan oranlarda ince kum kullanılmıştır. Bir mikserin toplam ağırlığı 525 kg. katı madde ağırlığı 445 kg. ve hacmi de 150 litredir. Enjeksiyon delikleri rotan-darbeli çalışan makinalarla açılmıştır. Enjekte edilen delik boylan, dolgu malzemesi içinde 4-6 m. yüksekliğe kadar çıkmıştır. Enjeksiyon şerbetlerinin prizden sonraki 7 günlük mukavemeti 27 kg / cm² olmuştur.

¹ *Uzman Mühendis. Yüksel Proje Uln\fauttct\ı A Ç*

2 - Demiryolu tüneline standart galeri yapım çalışmaları sırasında oluşan göçüğün onarımı: (Fransa Şekil-2)

Kunvçakıldan oluşan göçüğün boyu 40 m. olup, ana zemin mamlı kalıktır. Enjeksiyon delikleri oteks metodu ile açılmış ve borular içinden enjeksiyonlar yapılmıştır. Enjeksiyon deliklerinin toplam boyu 500 m.dir. Refü basıncı 1-2 kg/cm² gibi düşük dengelerde tutulmuştur. 800 ton çimento, 200 ton bentonit, 350 ton kum ve toplam olarakta 1350 ton katı madde enjekte edilmiştir. Enjeksiyon çalışmaları tamamlandıktan sonra pilot galeri açılarak, standart galeri yapım çalışmalarına hız kazandırılmıştır.

3 - TCDD' nun Balıkesir civarında galeri yapımı sırasında oluşan göçüğün tamiri diğer inşaat metodlarıyla daha uzun sürmüş, yolcular iki nokta arasında otobüslerle taşınmıştır.

4 - Tünellerin giriş ve çıkış aynalarında hasır çelikli püskürtme beton, naylon örtü, öngermeli ve öngermesiz ankraj sistemleri tek başına yeterli olmaz. Yağmur sularının veya yağmur sularının etkisi ile oluşabilecek heyelanların önlenmesi için ayrıca drenaj sisteminin yapılması şarttır.

5 - Tünel taban betonu altında titreşimlere uygun ortamın oluşması durumunda, çapraz açılmış deliklerden enjeksiyon yapılarak olay önlenbilir (Şekil 3).

6 - Tünellerin açımı sırasında oluşan göçüklerin onarımı: Tünellerin açımı sırasında ayna ile çelik iksa arasındaki uzaklığın 3 m.' yi geçmemesi gerekir. Daha önce de sürgü çubuklarının tavana belirli aralıklarla yerleştirilmesi gerekir. Bu yapılmadığı zamanlarda suyun etkisi ile veya çatlaklardaki yağlı killerin etkisi ile göçükler oluşabilir. Böyle durumlarda aynadan paşanın alınmaması gerekir. Aksi halde göçük malzemesi akarak gelir, göçük yeryüzüne kadar ulaşarak huni şeklinde boşluk oluşturur. Göçüğün üstünde oluşan boşluğun yeryüzüne olan yüksekliği iyi bilinmelidir. Burada tünelin yeryüzüne olan yüksekliği enjeksiyon paternini belirler.

A- *Göçüğün yeryüzüne ulaşması halindeki onarımlar:* Onarım, başlangıçta anlatılan 1. ve 2. bölümdeki esaslar dahilinde gerçekleştirilir

B - *Göçüğün aynanın üstünde oluşması halinde onarım:* öyle durumlarda aynadan müdahale en ekonomik yol olur. Göçük yüksekliğinin hesabı yapılmalıdır. Göçük malzemesi önüne duvar örülmelidir. Aralara su tahliye delikleri bırakılarak su İarın akışı sağlanmalıdır. Daha sonra tasarlanan enjeksiyon deliklerinin yatayla ve düşeyle yaptıkları açı ve boyları tesbit edilmelidir. Enjeksiyon çalışmaları alt deliklerden başlanarak

sırasıyla yukarıdaki deliklere doğru devam etmelidir. Fazla su gelen deliklerde çimento şerbetine, çimentonun %5-15' i kadar sodyum silikat katılmalıdır. Enjeksiyon çalışmaları, göçüğün tavanına kadar uzatılan tahliye borusundan şerbet gelinceye kadar devam etmelidir. Daha sonrada göçük etrafında oluşan çatlaklara konsolidasyon enjeksiyonu yapılmalıdır. Deliklerin uçları arasındaki uzaklık, kayada en fazla 1.5 m. zeminde (çamurlu kil, kum) 0.75m. yi geçmemelidir. Çalışmaların tamamlanmasından sonra meyilli dren delikleri, enjekte edilen yüksekliğin 5-10 m. üstünde olacak şekilde açılmalıdır (örneğin Kınık Tüneli).

Enjeksiyonları tamamlanmış göçükler ancak bitim tarihinden itibaren bir hafta sonra havalı tabancalar kullanılarak açılmalıdır. Ateşleme yapılarak açım yapılmak istenirse göçük tekrar oluşabilir (örneğin Kapulukaya Barajı derivasyon tüneli).

7- Tünel açımının hızlarını arttırmak için açılan şaftlarda enjeksiyonla onarım çalışmaları: (Türkiye Şekil 4)

Şaft açımında yeteri kadar jeoteknik bilgilerin bulunması gerekir. Bunlar yapılmadan açılan şaftlarda birçok problemlerle karşılaşılabilir (örneğin suyun pompalanması ve şaft tabanından su patlaması gibi). Ankara civarında Kınık şaftında bu tür olaylar çok yaşanmıştır. Şaft açımı YAS. 'nin altına inince problemler başlamış ve sonuçta şaft açımı durmuştur. Su akışlarını önlemek için 3 tür geçirimsizlik enjeksiyonu yapılmıştır. Şaft betonundan 1.5 m. uzaklıkta çevresinde herbiri 60 m. derinlikte 8 adet delik açılmış, aşağıdan yukarıya doğru çıkan fazlar metoduna göre enjeksiyonlar yapılmıştır (137ton/m). Şaft duvarlarında su gelirin çok arttığı yerlerde ışınal geçirimsizlik enjeksiyonu 141 adet delikten yapılmıştır (4.18 ton/delik veya 2.78 ton/m). Şaft tabanında ise 8 adet delikten ışınal enjeksiyon yapılmış ve 0.78 ton/m alışırlar olmuştur. Enjeksiyondan önceki 80-120 lit /san lik su kaçakları enjeksiyondan sonra 9 lit /san' ye indirilebilir iş tir.

8- Güzelhisar Barajından Petkim Aliğa kompleksine su taşıyacak isale tünelinin aynasında su bulunması, tahkimatsız 3 m kazı yapılması ve zeminin tuf olması nedeniyle göçük oluşmuştur. Devamlı pasa alınarak göçük 17 m. yukarıdaki yeryüzüne ulaşmış ve 10 m. çapındaki alanı etkilemiştir. Çözüm, göçük alanındaki su sızıntılarının tamamen önlenmesi durumunda hareketlerinin duracağı esasına göre hazırlanmıştır. Öncelikle göçüğün üstüne 10 cm. kalınlıkta beton dökülmüş ve 20 adet delikten stabl çimenlo şerbeti enjeksiyonu. 12 adet delikten bentontt şerbeti en-

jeksiyonu ve 9 adet delikten de kimyasal madde enjeksiyonu (toplam 163 ton çimento) yüksek refu basıncı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil.5.). Öncelikle göçüğün üstüne 10 cm. kalınlıkta beton dökülmüş ve 20 adet delikten stabl çimento şerbeti enjeksiyonu, 12 adet delikten bentonit şerbeti enjeksiyonu ve 9 adet delikten dekimyasal madde enjeksiyonu (toplam 163 ton çimento) yüksek refu basıncı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil.5.).

9 - Büyükçekmece - Küçükçekmece arasında İSKİ tarafından açtırılan tünelde oluşan iki göçüğün onarımı :

1. Göçük:

Zemin ince kumlu sert kildir. Bazen basınçlı su taşıyan kumlu mercerlerde geçilmiştir. Tünel şilt metodu ile açılmıştır. Tünel 70 m ilerledikten sonra kohezyonsuz zeminde, devamlı pasa alınması sonucu göçük oluşmuştur. Et kalınlığı 25 m dir. Öncelikle yeryüzünden 25 m. derinliği olan 8 adet delikten 95 ton katı madde enjekte edilmiştir. Burada $\frac{\text{ç}}{\text{s}} = 1 / 1$ olan stabl harçlar ve $\frac{\text{ç}}{\text{s}} = 7/5$ (çimentonun % 5 'i kadar bentonit ve % 20 - 40 kum) içeren stabl harçlar kullanılmıştır. Daha sonra tünele gelen suları kesmek için 6 adet delikten geçirimsizlik enjeksiyonu yapılmıştır.

Şerbetin bileşimi %	Şerbet No		
	1	2	3
Çimento	40	20	30
Bentonit	10	5	10
Su	50	75	60

Burada üçgen diyagramından alınan üç tür şerbet enjeksiyonu yapılmıştır. Daha sonra aynadan pasa alınmaya başlayınca göçük tekrar başlamıştır. Bu sefer aynadan 8 adet ınsal delikten % 30 - 40 çimento, % 10 bentonit, % 50 - 60 su içeren şerbet enjekte edilmiştir. Göçüğün durduğu belirlenince şildin bakım işlemi 15 günde tamamlanmıştır. Bakımı sırasında tünel aksı üzerinde 8 x 6.5 metre boyutlu iki adet oda şeklindeki yüzeyin kenarlarından iki metre aralıklarla açılan deliklerden geçirimsizlik enjeksiyonu yapılmıştır. Birinci oda enjeksiyonunda 80 ton çimento, 8.4 ton bentonit, ikinci odada ise 16 ton çimento ve 4 ton bentonit kullanılmıştır. Böylece su geçirmeyen ortam sağlanarak şildin ilerlemesine yardımcı olunmuştur (Şekil 6.).

2. Göçük :

Tünelin bitimine 500 metre kala ikinci büyük göçük oluşmuştur. Göçüğün boşluğuna saman balyalan doldurulmuş ve daha sonra da iki aynı

kimyasal enjeksiyon yapılmıştır. Birinci kimyasal madde poliüretanlı köpük olup, boşluk doldurmayı amaçlamıştır. İkinci kimyasal madde ise, potasyumferrisiyanür katalizörlü mukavemet kazandıran organik menşeyli bileşiktir, (prospektüsünde yanıcı olduğu ve güneş ışığından saklanması gerektiği yazılı). Kimyasal enjeksiyon, stabl çimento şerbeti enjeksiyonuna göre bin kere daha pahalıdır. İşlemler tamamlanırken bazan kaynak yapmak gerekmiştir. Farkında olunmadan saman balyalan ve zaten yanıcı olan kimyasal maddeler için için yanmaya başlamıştır. Bir hafta sonra aynanın kontrolü için bir işçi ve makina teknikeri traktörle tünele girmişler, ancak geri dönmedikleri görülünce itfaiyeden yardım istenmiş, 20 metre ara ile cesetleri naylonun üzerinde bulunmuştur.

10 - TCDD Elmadağ 7 No'lu Tünelinde Galeri Yapım Çalışmaları Sırasında Oluşan Göçüğün Onarımı:

Onarım için iki görüş belirtilmiştir. Birinci görüşe göre; göçüğün üstüne yeryüzünden geniş çaplı delik açılarak içindeki boşluğa toz çimento dökülecektir. İkinci görüşe göre; göçüğün üstünde yeryüzünden 76 mm çaplı delik açılarak buradan $\dot{c}/s = 7 / 5$ olan ve % 25 kum içeren harç enjekte edilecek ve daha sonrada tünel içinden dren delikleri açılarak su yükü azaltılacaktır (Şekil 7).

Sonuçta ikinci görüşle onarım gerçekleştirilmiştir. Eğer güzergahta heyelan varsa ODTÜ raporunda belirtildiği gibi zemin içinde bulunan büyük kaya bloklarının şevin dengesini olumlu yönde etkileyerek hareketleri önleyebileceği belirtilmiştir (TCDD Elmadağ heyelanı ve varyantının jeoteknik etüdü). ODTÜ Döner sermaye işletmesi müdürlüğü, Proje kod no;83-04-03-02-02 Ankara, Ağustos 1983). Böyle durumlarda kayma yüzeyine harç enjeksiyonu yapılarak yukarıda belirtildiği gibi kaya bloklarının görevi yaptırılabilir. Ayrıca dren sistemi de yapılarak su yükleri azaltılabilir.

11 - İstanbul metrosunda enjeksiyon çalışmaları;

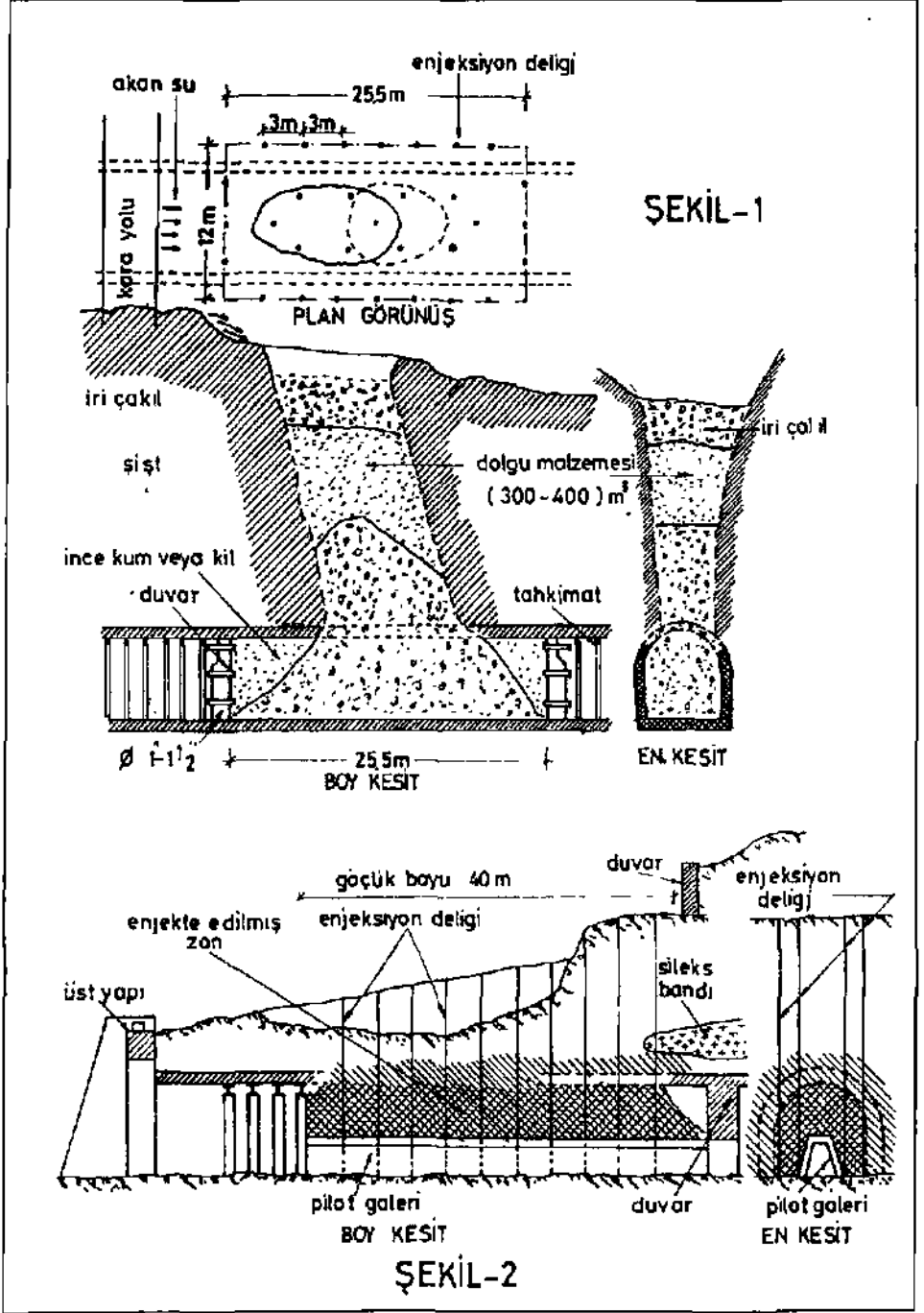
Taksim yaklaşım galerisi ile hat-1 in kesim noktası civarında, büyük bir yapının altında grovaklarda boşalma olmuştur. Paşanın devamlı çekimi ile de boşalma 55 metreküpe yükselmiştir(Şekil 8). Yeryüzünden 20 cm çapında boşluğun üstüne 8.5 m derinlikte iki adet delik delinmiş ve 54 metreküp betonla doldurulmuştur. Betonun göçük malzemesi içine girmemesi nedeni ile tünel aynasından 10 adet delik açılarak kontak enjeksiyonu yapılmıştır.Yine Taksim yaklaşım tüneli ile hat-1 in kesiştiği noktada İSKİ borularından sızan 8-10 litre/san lik su kaçaqları ,grovak püskürtme beton arası ve daha sonrada 6m uzunluktaki deliklerden geçirimsizlik enjeksiyonu yapılarak sular tamamen kesilmiştir (Şekil 9-10-11). Taksim

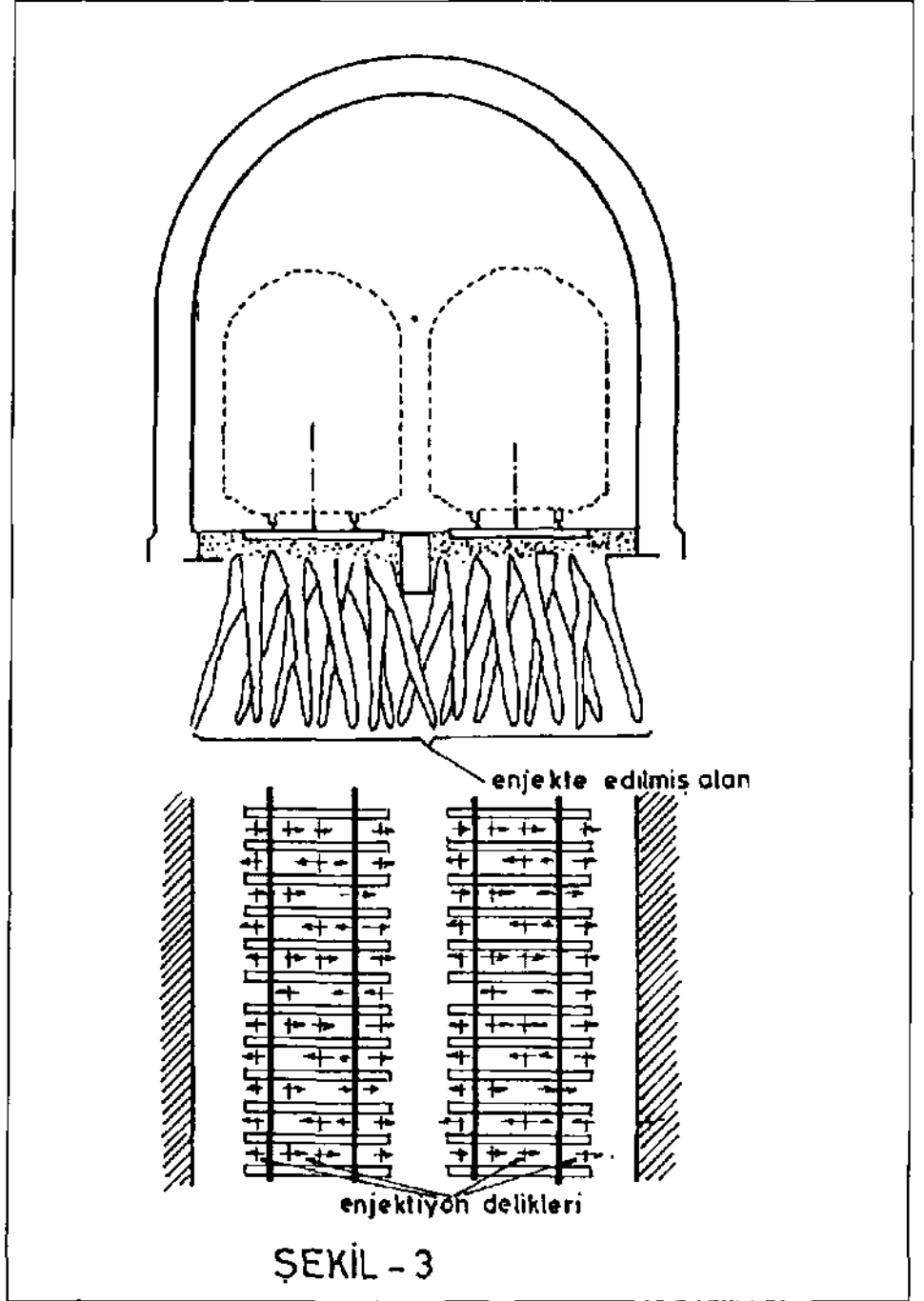
tünellerinin birbirine çok yakın (4-5 m.) olduğu kısımlarda topukların konsolidasyon enjeksiyonu yapılmış fakat kayda değer alışlar olmamıştır, uzunluktaki deliklerden geçirimsizlik enjeksiyonu yapılarak sular tamamen kesilmiştir (Şekil 9-10-11). Taksim tünellerinin birbirine çok yakın (4-5 m.) olduğu kısımlarda topukların konsolidasyon enjeksiyonu yapılmış fakat kayda değer alışlar olmamıştır. Yine Taksim'de Mc Donalds'ın önünde konsolidasyon enjeksiyonu yapılmış (zeminin perméabilité değeri $K = 10^{-5}$ cm / sn olduğu bilinmesine rağmen) hiç alış olmamıştır. Çimento şerbeti enjeksiyonu ile perméabilité değeri ancak $K = 10^{-4}$ cm/san. ye kadar çıkartılabilir. Bu nedenle grovaktaki çimento şerbetlerini yememesi normal sayılmalıdır. Osmanbey-Metro İstasyonu'nda 1. konkorsda ankraj perde duvarı tabanı ile hat-1 arasında kod farkının çok az olduğu yerde konsolidasyon enjeksiyonu yapılmış, toplam olarak 18 ton çimento enjekte edilmiştir (Şekil 12.). Tünellerin betonla kaplama işlemleri yapıldıktan sonra 3 metre aralıklı kesitler üzerinde açılacak deliklerden kontak enjeksiyonu yapılacaktır. Tatbikattan alınan sonuçlara göre grovak ile püskürtme beton arasında tavanda $0.15 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ boşluklar tespit edilmiştir

Kontak enjeksiyonu ile hem bu boşluklar, hem de püskürtme beton - nihai beton arasındaki boşluklar doldurularak geçirimsizlik sağlanacaktır. Su sızıntılarının olabileceği beton derz araları, segregasyona uğramış beton yüzeylerinin geçirimsizlik enjeksiyonları iki aşamada yapılacaktır. Birinci aşamada, $\text{ç} / \text{s} = 1/1, 7/5$ (% 5 bentonitli) stabil şerbetlerin enjeksiyonu, ikinci aşamada ise kimyasal madde enjeksiyonu yapılacaktır. Kimyasal enjeksiyonda bentonit, su, sodyumsilikat ve sodyumfosfat kullanılacaktır. Bu şerbetin jelleşme süresi 24 saattir. Jelleşme sonucu bu şerbetlerin yerinden su ile sökülüp atılması çok zor olur. Konsolidasyon enjeksiyonları çok özel şartlarda kontak enjeksiyonundan sonra gerçekleştirileceğinden şimdiden birşeyler söylenemez.

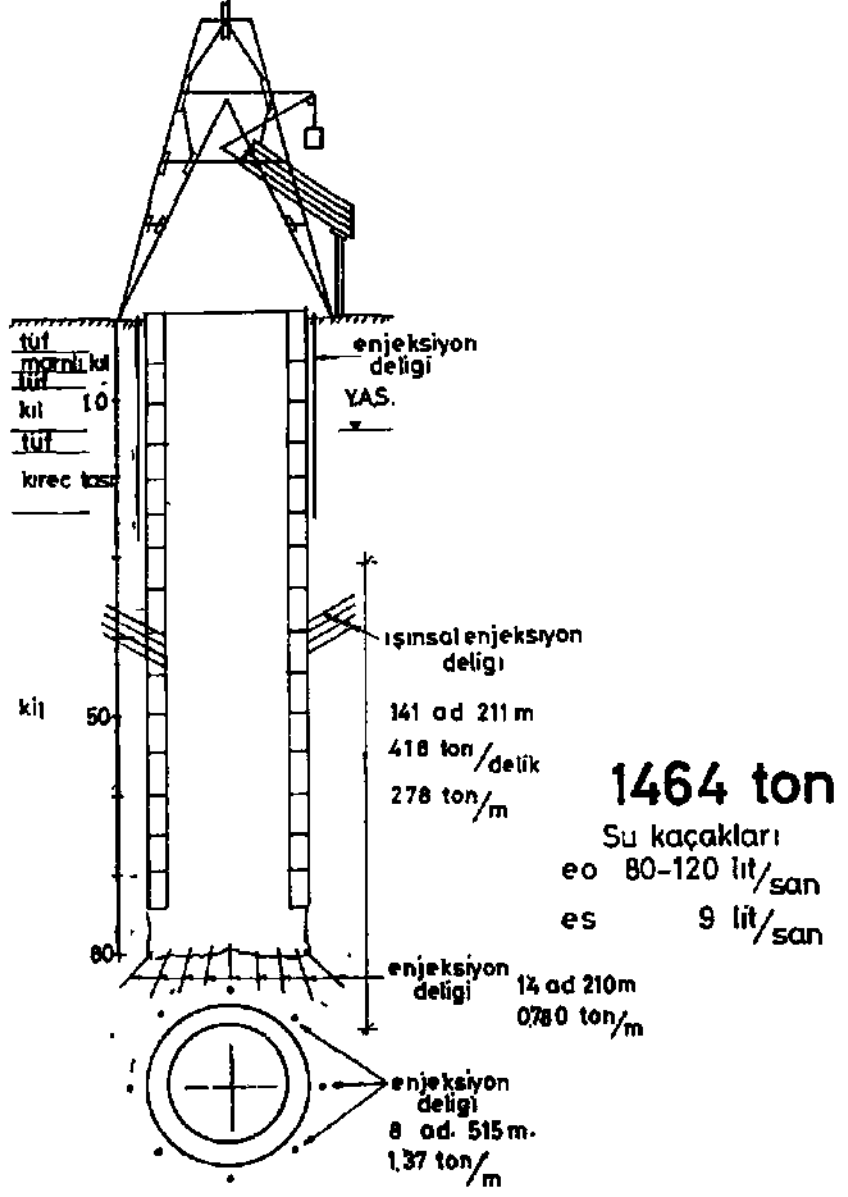
SONUÇ :

Tünellerin açımında su ile karşılaşılıyorsa, genellikle boşalma olayları olmaz. Yalnız ayna kuru olduğu halde çatlaklarda kil veya yağlı kil varsa yinede boşalmalar olabilir (üç metreden fazla kazı yapılması hali). Metro tünelleri boyunca YAS = 10-15 metre derinlikte olduğundan aynalar genellikle ıslak olacaktır. Her iki durumda da tavandaki parçaların irilik derecesine göre tavana sürgü çubukları çakılmalıdır. Aynada tahkimatsız 3 metreden fazla yer yukarıdaki şartları içeriyorsa açılmamalıdır. Boşalma olayının başladığı anda kesinlikle pasa alımı yapılmamalı, sürgü çubukları ile tavan takviye edilmeli ve aynaya konsolidasyon enjeksiyonu yapılmalıdır. Tünel üstünde oluşan boşluklara kesinlikle saman salyaları doldurulmamalıdır.



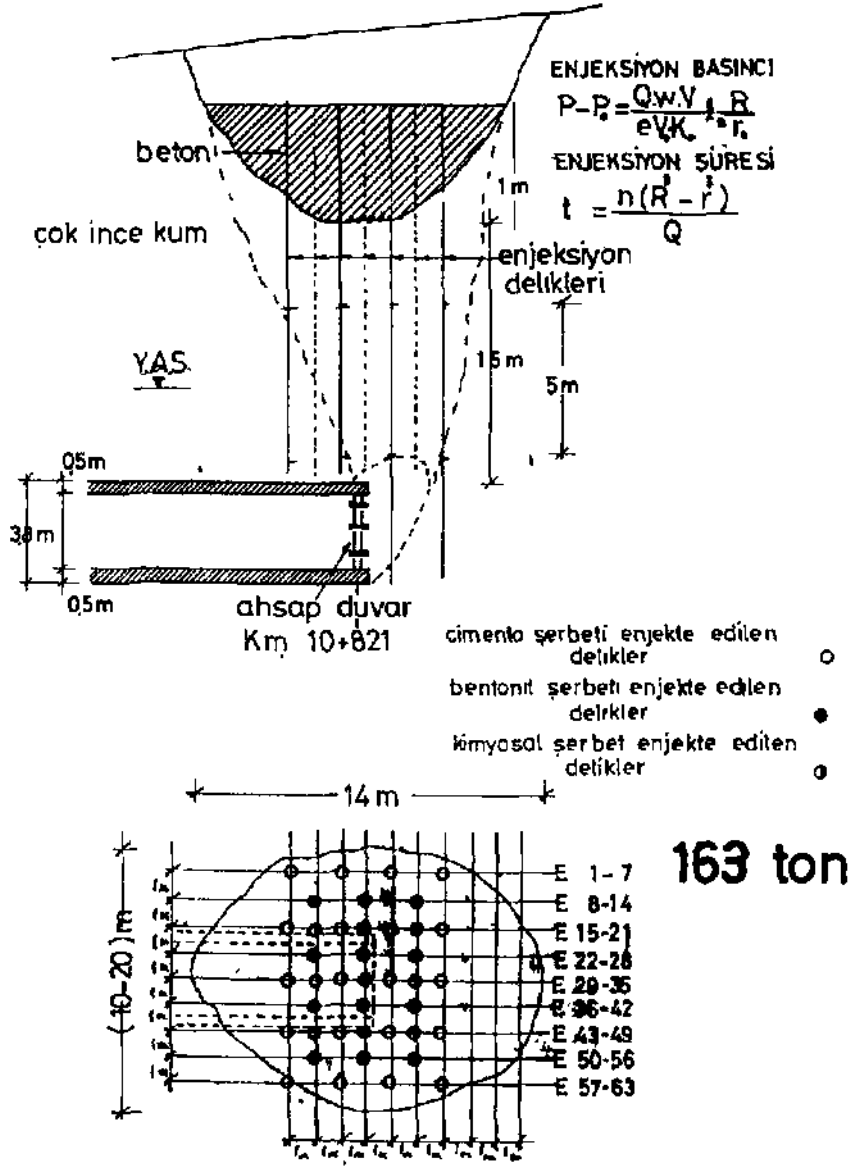


KINIK ŞAFTI



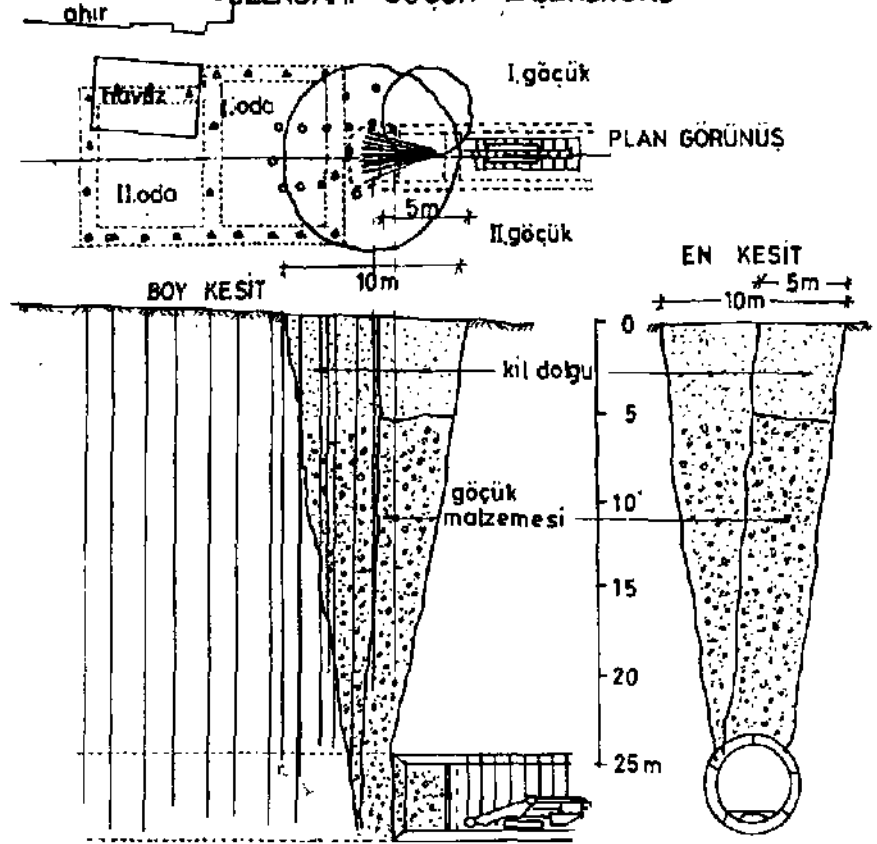
ŞEKİL-4

PETKİM ALIAGA KOMPLEKSİ SU İSALE TUNELİNDEKİ
GÖÇÜĞÜN ENJEKSİYONLA ONARIMI



ŞEKİL-5.

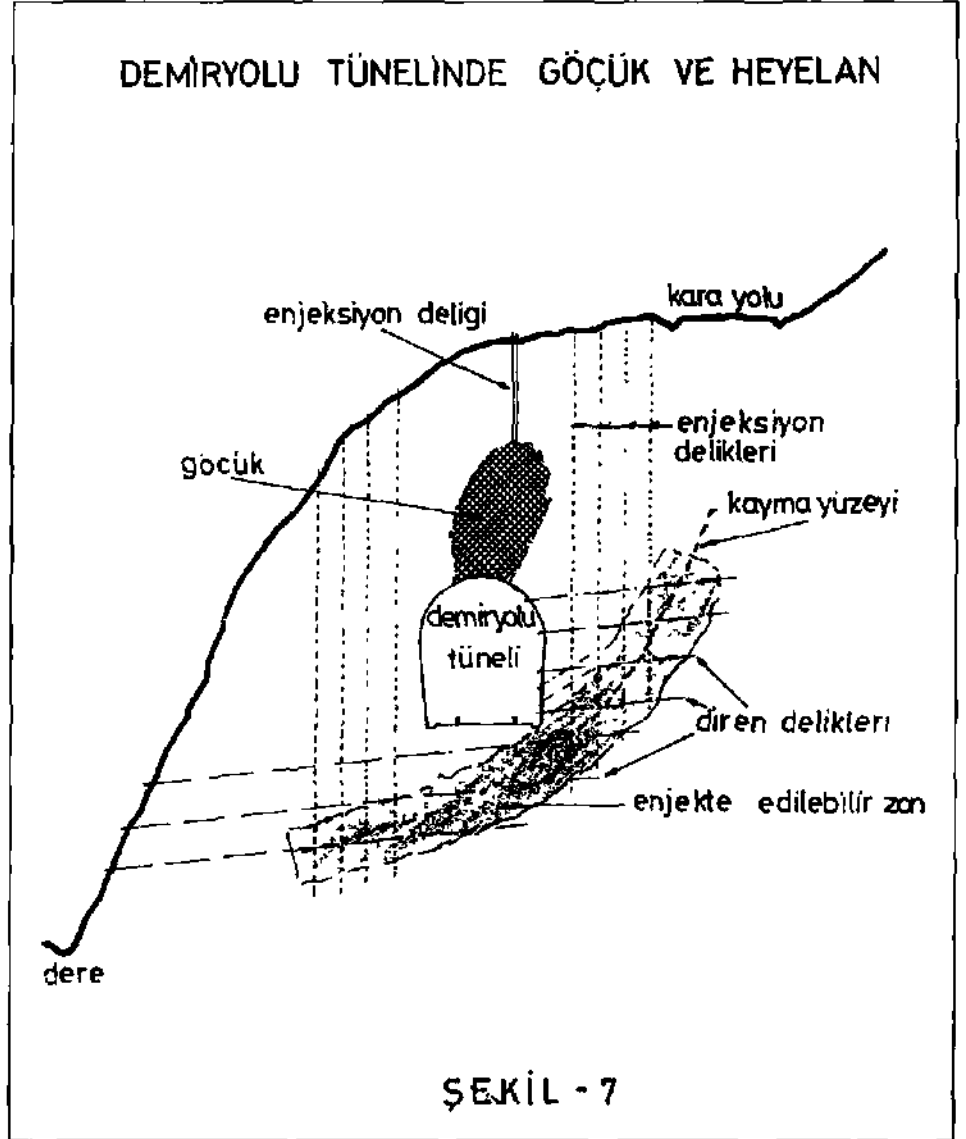
BÜYÜK ÇEKMECE - KÜÇÜKÇEKMECE ANA İSALE HATTI TUNEL
GÜZERGAHI GÖÇÜK ENJEKSİYONU



- Göçük enjeksiyon delikleri
- Geçirimsizlik enjeksiyon delikleri
- ▲ I.oda geçirimsizlik enjeksiyon delikleri
- ▲ II.oda geçirimsizlik enjeksiyon delikleri

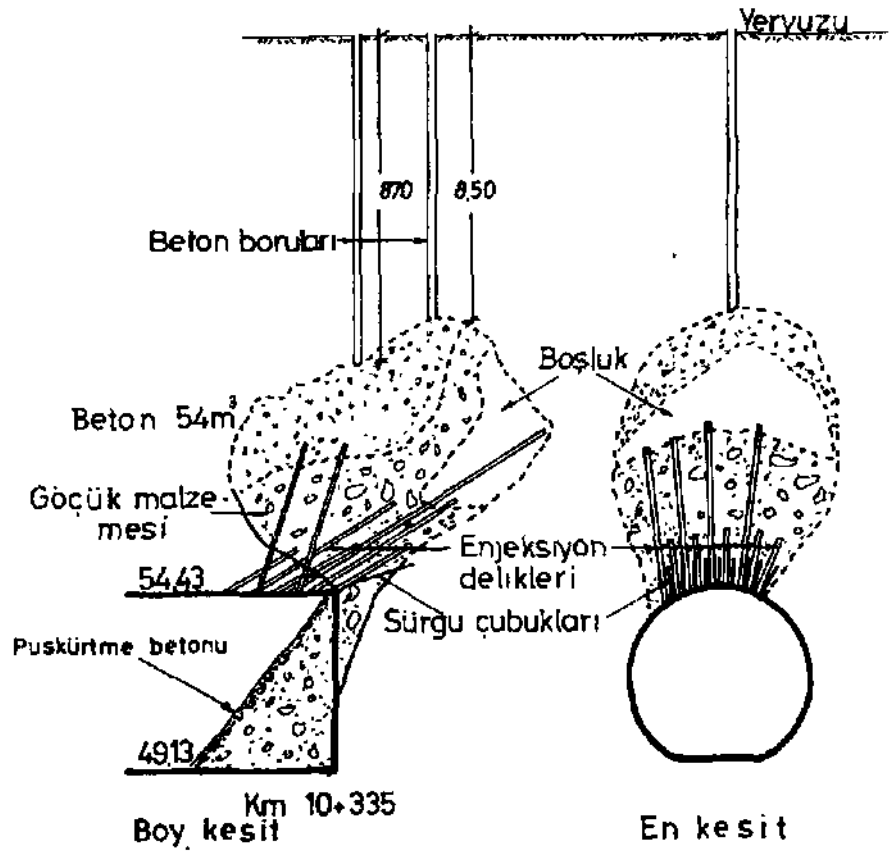
ŞEKİL - 6

DEMİRYOLU TÜNELİNDE GÖÇÜK VE HEYELAN



ŞEKİL - 7

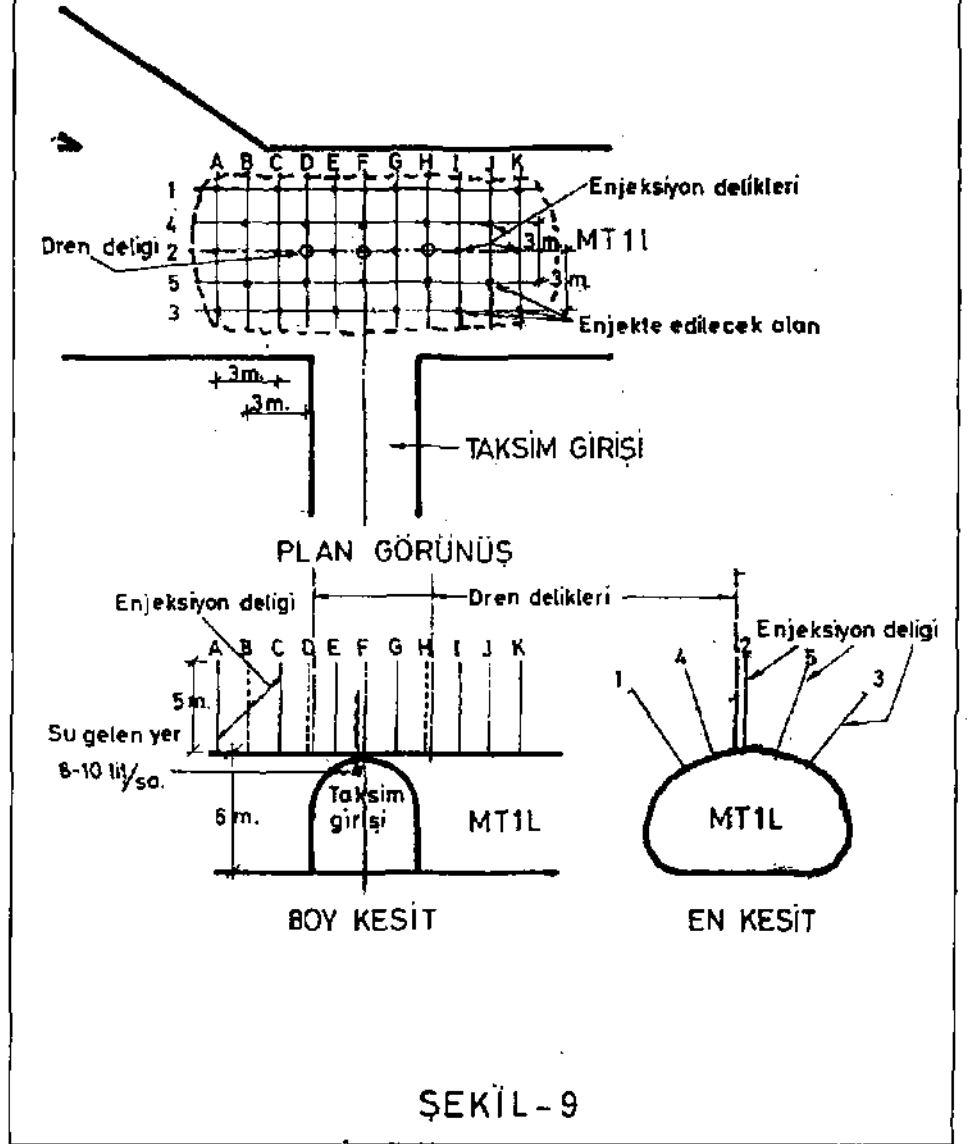
METRO TUNELİNDE GÖÇÜK ENJEKSİYONU



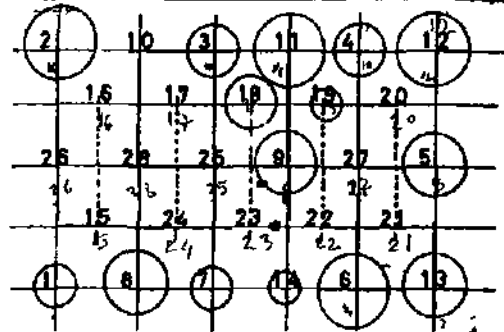
85 Ton

ŞEKİL - 8

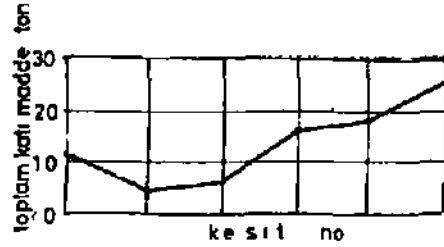
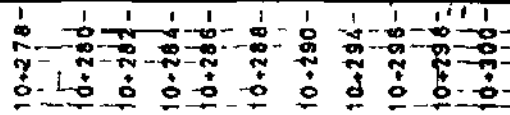
TAKSİM GİRİŞİ-MT1L METRO TÜNELİ ARASI
GEÇİRİMSİZLİK VE KONSOLİDASYON ENJEKSİYONU



ŞEKİL-9



TAKSİM GİRİŞİ MİTL METRO TUNELİ ARASI PÜSKÜRTME
BETON KAYA BOŞLUĞU KONTAK ENJEKSİYONU



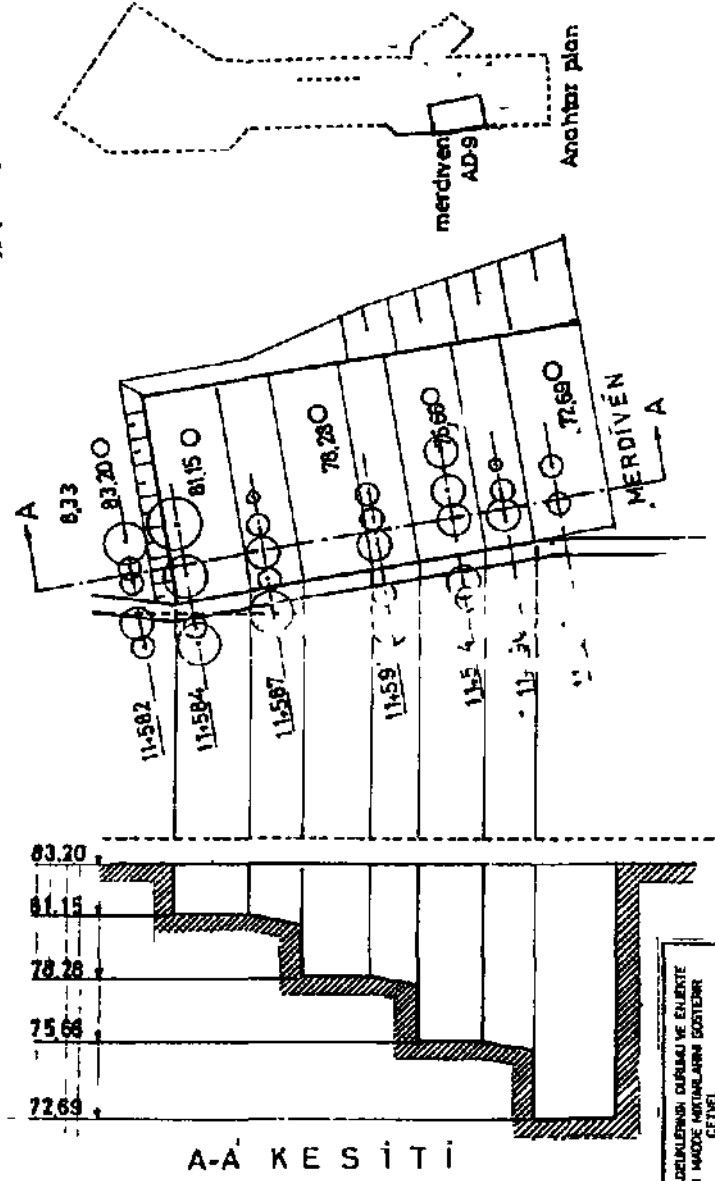
ENJEKSİYONDA KULLANILAN KATI MADDE
MİKTARLARINI GÖSTERİR CETVEL

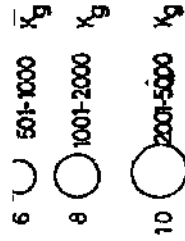
ENJEK SİYON DELİK No	TOPLAM KATI MADDE Kg	KATI MADDE BİLEŞİMİNDEKİ			DÜŞÜNCELER
		ÇİMENTO Kg	BENTONİT Kg	KUM Kg	
1	1224	1200	24		
2	10863	10660	213		
3	4743	4650	93		
4	2142	2100	42		
5	6685	6720	135		
6	16524	16200	324		
7	1836	1800	36		
8	5355	5250	105		
9	6732	6600	132		
11	10251	10050	201		
12	10098	9900	198		
13	8568	8400	168		
14	612	600	12		
18	3213	3150	63		
19	612	600	12		
toplam	89558	87800	1758		

- A L I Ş L A R (kg)
- 6 ○ 501 - 1000
- 8 ○ 1001 - 2000
- 10 ○ 2001 - 5000
- 12 ○ 5001 - 10000
- 14 ○ 10001 - 20000

ŞEKİL-10

OSMANBEY METRO İSTASYONUNDA ANKRAJ DUVARI İLE HAT-1 ARASINDA KONSOLIDASYON ENJEKSİYONU

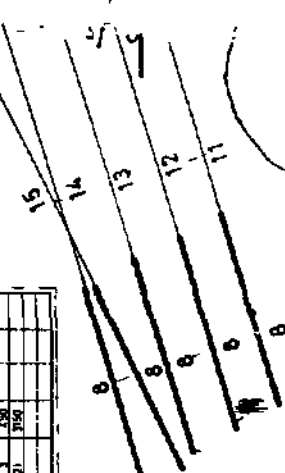
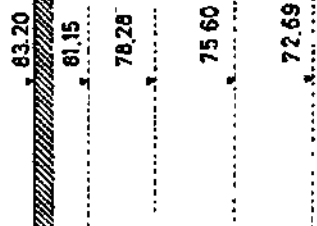




KAZI ÇUKURU

Ankraj duvarı

Ankraj Çukuru AD-S.2



H A T 11-562

11.5.3

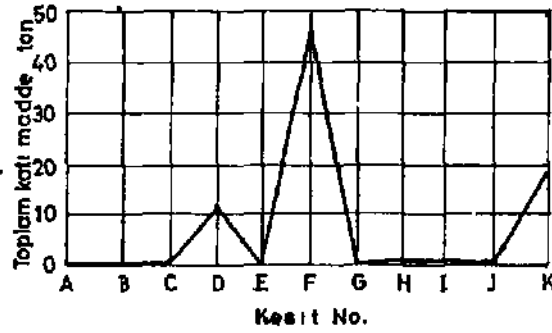
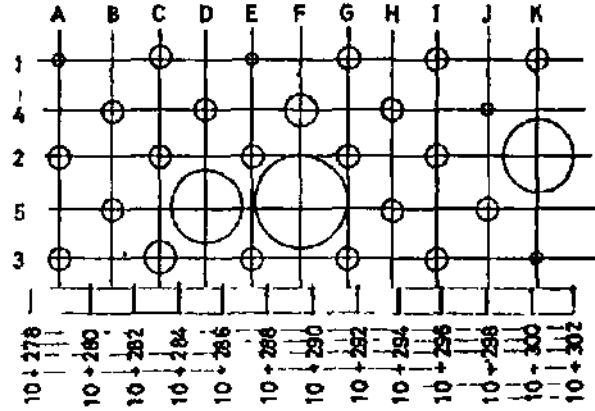
Diyarbakır	Yazık	AD-S.2
1	6	20
2	8	10
3	8	10
4	8	10
5	8	10
6	8	10
7	8	10
8	8	10
9	8	10
10	8	10
11	8	10
12	8	10
13	8	10
14	8	10
15	8	10

ENYEREN DİZİLERİN DURUM VE ENERJİ EYLEM SATI MADDE MATYALARI GÖSTERİ CETVELİ

Sıra No	Diyarbakır	Yazık	AD-S.2
1	6	20	10
2	8	10	10
3	8	10	10
4	8	10	10
5	8	10	10
6	8	10	10
7	8	10	10
8	8	10	10
9	8	10	10
10	8	10	10
11	8	10	10
12	8	10	10
13	8	10	10
14	8	10	10
15	8	10	10

ŞEKİL 12

TAKSİM GİRİŞİ-MT11 METRO TÜNELİ ARASI
GEÇİRİMSİZLİK ENJEKSİYONU



ENJEKSİYONDA KULLANILAN KATI MADDE
MIKTARLARINI GÖSTERİR CETVEL

ENJEKSİYON DELİK No	TOPLAM KATI MADDE Kg	KATI MADDE BİLEŞİMİNDEKİ			DUSUNCELER
		CEMENTO Kg	BENTONİT Kg	KUM Kg	
A	650	631	19		
B	458	446	14		
C	1262	1232	32		
D	11016	10696	321		
E	48125	4825	1425		
F	45732	35144	7215	6985	
G	49725	4925	1475		
H	612	592	18		
I	458	450	8		
J	267	259	8		
K	18144	145845	4365	3125	
TOPLAM	795945	658925	15085	119915	

ALİŞİRLER (K₂)

2	○	0 - 100
4	○	101 - 500
6	○	501 - 1000
14	○	10 001 - 20 000
18	○	40 001 - 50 000

SEKİL-11