

# YERALTI ÇALIŞMALARINDA ENJEKSİYON

Zeki ALBAYRAK\*

Atilla TURKEL\*\*

## ÖZET

*Madenlerdeki çökmeler sığ ve denn olmak üzere iki türlü problem yaratırlar*

*300 fit (90 m) den daha derin madenlerde meydana gelen çökmeleri önlemenin tek yolu topuk bırakmaktır*

*Genellikle sığ derinliklerdeki eski imadenle üstünde meydana gelen çöküntülerini önleyebilmek için her birinin meydana getirdiği problemleri ayrı ayrı çözmek gerekmiştir*

*Ayrıca mevcut işletme hantaları uzet inde de geiif> calumalai getektirmiştir*

*Buralardaki araştırmalar ocak işletme kotuna kadai men katottu sondajlar, kuyu fotoğrafları ve mumkun olan yerlerde de yarma açma veya isletme alanlarına inenek sut durulmuştur*

*Sığ derinliklerdeki problemlerin halli için seçilen önlem metodları maliyet ve risk durumlarına göre değerlendirilir Bu önlem metodları enjeksiyon, ocak boşluğunda beton kolon inşaası, geniş çaplı delikler açarak betonla doldurma şeklindedir*

*Bu metodlar uygulanmadan önce riski tam olaiak saptayacak şekilde \ctah araştırmaların yapılması halinde yetetli önlemler olabilir*

*Galerilerdeki gocuk enjeksiyonu için pasa içme çimento ser belinin guibi oulcunm lıdır Gocuk üstündeki boşluklar temel sondajları ile bulunmalı ve harçla enjeksiyonun yapılmalıdır Bu enjeksiyon kendi kendini tutabilen kayaçlardaki enjeksiyonla) iç m yeterli olabilir Ancak alüvyon ve fay dolgusundaki göçüklerde ayuça çimento + ben tonit ve bentonit 4- kimyasal katkılı şerbetler de enjekte edilerek su sızıntııai tunamen kesilmelidir Ancak bundan sonra gocuğun geçilmesi mumkun ohu*

*Şaft enjeksiyonlarında önceden çok detaylı etütlerin yapılması fiieku Son radan yapılan enjeksiyonlar muvaffak olmayabilir*

*Tabandan anı su patlamalarına karşı ışınsal ve yüksek basınçta enjeksiyonlar ge reislidir*

\* Maden Muh , DSİ , ANKARA

\*\* Jeoloji Millh DSİ ANKARA

## SUMMARY

*Subsidence following the mining operations can be classified as either shallow or deep subsidence.*

*The only way to prevent subsidence in mines deeper than 300 ft (90 m) is to leave pillars.*

*Usually, in order to prevent cavities in old mines; it is necessary to solve the problems caused for each mine one by one.*

*Also it requires detailed studies on the available mine maps.*

*Studies in these mines were made by drill—cores which went right down the operating levels, shaft photographs and where possible by open ditches or by descending to the operating places.*

*Selected preventive methods for the solution of the problems in shallow depths are evaluated according to the cost and risk status. These preventive methods are injections construction of cement columns in mine cavities and drilling of large diameter holes and filling these with cement.*

*These methods can be satisfactory if adequate studies are made to fully calculate the risk before the application of these methods.*

*For the cavity injections in the galleries, entering of the cement slurry into broken pile must be avoided. The emptiness above the cavities must be found by main drills and must be injected with cement slurry. This injection can be satisfactory for the injections in rocks which can hold itself. But cavities in the alluvial area and filled fault cracks must be injected with slurries cement + bentonite and bentonite + chemical compositions so that water leakage will be fully stopped. Only after this it is possible to pass the caved openings.*

*In shaft injections detailed studies must be made before hand later injections may not be successfull.*

*Against the instantaneous water rush from the floor injection pressure is required in accordance with the land resistance.*

### 1. YERALTI ÇALIŞMALARINDA ENJEKSİYON

#### 1.1. TASMANLARIN NEDEN OLDUĞU YÜZEYSEL ÇÖKMELERDEN İLERİ GELEN HASARLARIN ÖNLENMESİ

**Pittsburgh kömür işletme alanının büyüklüğünden ve kömür damarlarında uygulanan işletme tekniğinin bir neticesi olarak tasmanlardan ileri gelen sayısız çökme problemleri olmuştur.**

Başlangıçta işletme sahaları yerleşim yerlerinden çok uzakta idi. Böylece tasmanların sebep olabileceği yüzeysel çökmelerin önemi yoktu. Daha sonraları şehrin genişlemesi sonucu işletme alanlarının içine rastlayabilen sahalarda çeşitli inşaatlar yapılmıştır. Zamanlarda bu binalarda çeşitli hasarlar meydana gelmiştir.

Genellikle yer yüzündeki hasarlara karşı en güvenilir emniyet tedbiri, işletme alanlarında emniyet topukları bırakmaktır.

Hasarların şiddeti, topukların boyut ve dağılımlarına kömür damarının tavan ve taban kayaçlarının durumuna, örtü tabakasının kalınlığına, ağırlığına, kömür işletme metodlarının değişikliğine ve bilhassa YAS.ndeki dalgalanmalara bağlıdır.

Pittsburgh kömür damarının tabanında bulunan kil hava ve su ile temas ettiğinde mukavemeti azalmış, neticede topuğun tabanındaki kilin taşıma gücünün azalması sonucu topuk görevini yapamaz hale gelmiştir. Topuk yüzeyindeki kömürün çatlamalar sonucu kesiti gittikçe küçülmüş. Bu olay topuk tamamen devreden çıkıncaya dek devam etmiştir.

Böyle bir topuğun görevini yapamaz hale gelmesi, civarındaki diğer topukların taşıma güçlerinin aşırı derecede artmasına sebep olmuştur. Neticede de bütün topuklarda çatlamalar kırılmalar sonucu çöküntüler başlamıştır.

Eski işletme alanları üzerinde inşa edilen yapılardaki hasarların şiddetini ölçmede teorik hesaplardan çok tecrübelerden elde edilen sonuçlara önem verilmektedir.

Kaya mekaniği çalışmaları faydalı bilgiler vermekle beraber kömür işletme alanları için birikmiş bilgilerin bugüne iletilememiş olması sonucu arzulanana değere ulaşamamıştır.

#### 1.1.1. Önlem Yöntemleri

İşletme alanlarındaki taşınanlardan ileri gelen hasarları önlemek için dört yöntem vardır:

- 1— Örtü tabakasının enjeksiyonu
- 2— Beton topuk inşası
- 3— Geniş çaplı sondaj ve betonla doldurarak topuk inşası
- 4— Temel sondajı açarak enjeksiyonla topuk inşası

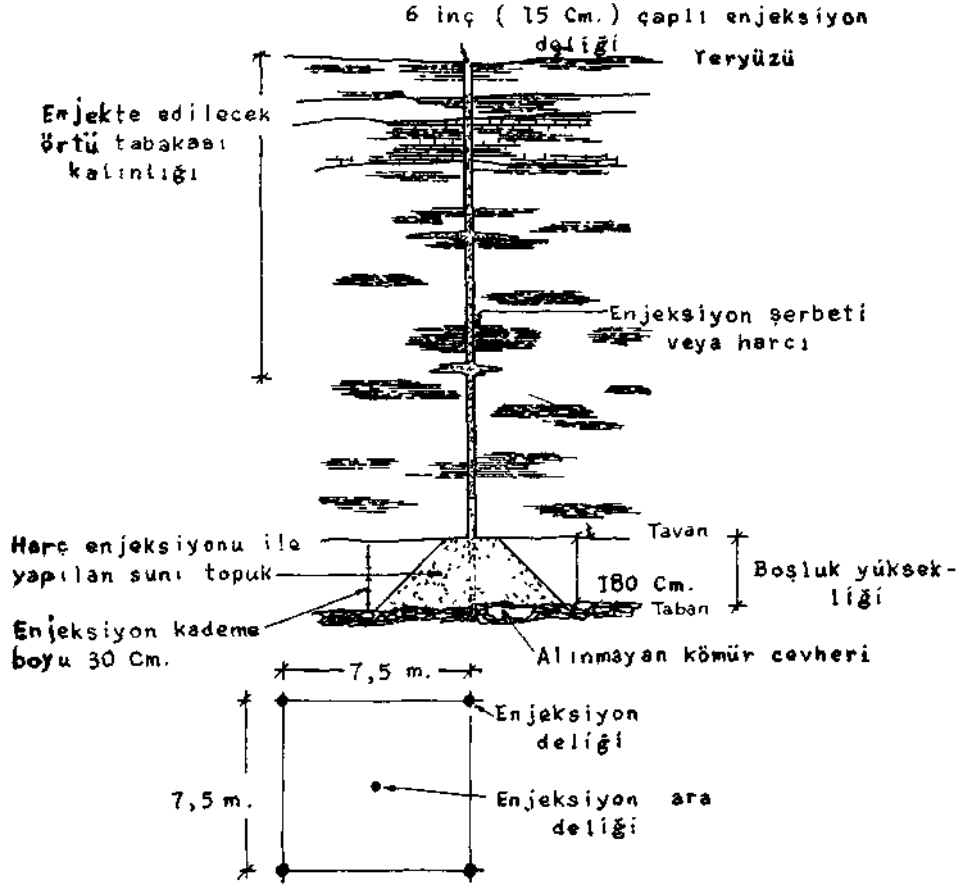
##### 1- Örtü Tabakasının Enjeksiyonu

Bir galerinin ve bunun üzerindeki kayalardaki çatlak ve boşlukların enjeksiyonla doldurulması, çöküntüleri önlemek için pozitif bir yöntemdir.

Yüksek maliyeti gerektirdiğinden genellikle uygulanmaz fakat maliyetinin daha önceden hesaplanması da zordur (Şekil 1).

# ENJEKSİYON (MADEN İSLETMESİ)

ÖRNEK : İnsâ edilecek 18 katlı betonarme hastane binası altında 100 fit (30 m.) kalınlıktaki örtü tabakasının 70 fitlik ( 21,30 m.) kalınlığı 160\*480 fith'k (48,75x146,25 m.) dikdörtgen içinden enjekte edilmiştir.  
Enjeksiyon maliyeti  $520.000 \times 50 = 26$  milyon TL. dir.  
( 1949 - 1350 yıllarında jBirim maliyet 500 - 800 dolar/fit veya 82.000 - 131.200 TL./m. dir.



Şekil. 1 : Enjeksiyonla sun'î topuk yapımı

Maden ocağındaki komple enjeksiyon için en güzel örnek Amerika'da Pittsburgh bölgesinde bir hastane binası altında yapılan çalışmalardır. Hastane 18 katlı betonarme bir bina olup yüz fit altında (30,5 m) kömür yatakları bulunmaktadır.

160 x 480 fit (48,75 x 146,25 m.) lik bir alanı kaplayan temelin altında 70 fit (21,25 m.) kalınlıktaki örtü tabakası enjekte edilmiştir.

1949—1950 yıllarında yapılan bu enjeksiyonun maliyeti 520 000 dolardır.

## 2- Beton Topuk İnşası

Bu yöntemdeki çalışma koşullarının çok tehlikeli olmasına karşın çeşitli zamanlarda uygulanmıştır. İşletmenin eski giriş ağızlarından ya da şaftlardan girerek tavan için yeterli beton kolonların inşasını gerektirir (Şekil. 2). Bu yöntemin uygulanabilmesi için işletme sahasının YAS'nin üstünde olması gerekir. Örnek olarak işletme sahasından 100 fit yükseklikteki yer yüzünde bir okulun temel atımını gösterebiliriz.

İşletme sahasının içinde okulun temeline rastlayan kısımlar 15 x 15 fit (4,5 x 4,5) metre boyutlarda tabandan tavana doğru beton kolonlar yapılmıştır.

Aynı yere rastlayan galeri ve şaft ise cürufıyla doldurulmuştur.

## 3- Geniş Çaplı Sondaj ve Betonla Doldurarak Topuk İnşası

Üç fitten (0,9 m) büyük çaplı sondaj deliklerinin açılmasını gerektirir. Bu yöntemin tatbik edilebilmesi için genellikle örtü tabakası kalınlığının 50 fit (15 m) ya da daha az olması gerekir (Şekil. 3).

İlk proje 1962 yılında uygulanmıştır. Geniş çaplı sondaj kuyularının içine muhafaza boruları yerleştirilmiştir. Kullanılan muhafaza borularının çapları 18-36 inç (45-90 cm) dir.

Geniş çaplı her deliğin derinliği 23,4 fit (7 m) olup toplam derinlik ise 299 fit (91 m) dir. Maliyet ise 1962 yılı itibarıyla 110.000 dolardır.

## 4- Temel Sondajı Açarak Enjeksiyonla Topuk İnşası

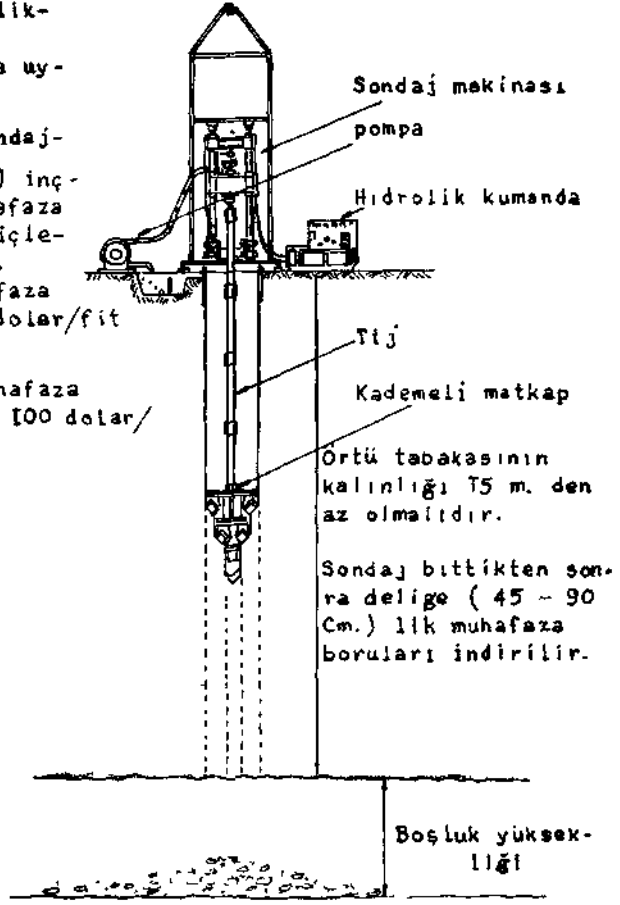
Bu yöntemle Pittsburgh Maden işletmesinde denenmiştir. Bu yöntem çöküntülerin önlenmesinde etkin ve ekonomik bir yöntemdir. Enjeksiyon deliklerinin çapları 6 inç (15 cm) olup, rotari—havalı sistemle açılmışlardır. Enjeksiyon takımının çapı (1 — 1/2) inç (2,54-1,27 cm) olup üzerinde 3/8 inç (0,95 cm) çaplı delikler vardır (Şekil. 1)

# ENJEKSİYON (MADEN İŞLETMESİ)

Örnek : 3 fitten ( 90 Cm. )  
büyük çaplı sondaj delik-  
leri gerektirir.  
İlk proje 1962 yılında uy-  
gulanmıştır.

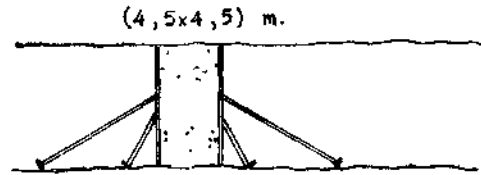
Açılan geniş çaplı sondaj-  
ların içine ( 18 - 36 ) inç-  
lik ( 45 - 90 Cm. ) muhafaza  
boruları indirilir ve içle-  
ride harçla doldurulur.  
18 inçlik ( 45 Cm. ) muhafaza  
borusunun maliyeti 20 dolar/fit  
3280 TL./m. dir.

36 inçlik ( 90 Cm. ) muhafaza  
borusunun maliyeti ise 100 dolar/  
fit 116400 TL./m. dir.



Şekil 3 Geniş çaplı sondaj ve en betonla doldurarak topuk inşası

Örnek : Örtü tabakası kalınlığı 100 fit ( 30 m. ) olan işletme sahası üzerinde okul inşa edilmiştir. Beton topukların boyutları 15x15 fit ( 4,5x4,5 m. ) alınmıştır. Ayrıca 30 inç ( 75 Cm. ) çapında 36 adet geniş çaplı sondajda açılmıştır.



Şekil 2 Beton topuk inşası

Tablo. 1— Çimento + Uçucukül +Bentonitli Stabl Şerbetler

Uçucu kül % Ç	Ç/S oranları		Kat. Mad. Su ağırlık	Bent. % kat. m.	Viskozite San.	Çökme %	Ş.Yoğ. gr/cm	28 gün muk. kg/cm <sup>2</sup>
	Hacimce	Ağır. D=1,4						
	1/1	7/5	1,4/1	0	10,4	4	1,60	136
	2/3	1/1	9,3/10	0	9,2	23	1,45	94
	1/2	2/3	7/10	0	9	36	1,34	59
	1/1	7/5	1,4/1	2	10	7	1,61	119
	2/3	1/1	9,3/10	2	9,6	28	1,45	84
	1/2	2/3	7/10	2	9,6	43	1,37	48
30	1/1	7/5	1,4/1	5	12,2	3	1,64	100
	2/3	1/1	9,3/10	5	9,8	17	1,47	71
	1/2	2/3	7/10	5	9,3	26	1,40	46
	1/1	7/5	1,4/1	10	15,6	3	1,62	90
	2/3	1/1	9,3/10	10	10,3	13	1,48	46
	1/2	2/3	7/10	10	9,9	28	1,39	36
	2/3	1/1	9,3/10	15	12	7	1,49	40
	1/2	2/3	7/10	15	11,1	17	1,40	32
	2/3	1/1	9,3/10	20	16,2	1	1,51	32
	1,2	2/3	7/10	20	12,2	6	1,41	28

Enjeksiyon çalışmalarının planlanmasına yardımcı olmak amacı ile sondajlardan elde edilen verileri daha iyi değerlendirebilmek için fotoğraflık araştırmada yapılmıştır.

İki tip fotoğraf çekilmiştir. Birincisi altı açık kamera ile, diğeri ise dik açılı kamera ile çekilmiştir. Altı açık kamera ile çekilen fotoğraflar ortii tabakasının durumunu incelemeye yararmıştır. Ayrıca kömür işletmesi sonucu meydana gelen boşluğun gerçek yüksekliğini ve tabandaki kömür, paşa yığınının durumunu da göstermiştir.

Dik açılı kamera ile boşluğun yatay uzunluğu inşaat çalışmalarını gözleme ve civar kuyulardan alınan fotoğraflar yardımı ile enjeksiyon çalışmalarının sürdürülmesinde kullanılmıştır.

Sondaj ve fotoğraflardan alınan verilerle temel inşaat alanı üç bölüme ayrılmıştır. Bu bölümler Şekil. 4'de 1,2,3 bölüm olarak gösterilmiştir

Birinci bölümde topuklar genellikle sağlam olup örtü tabakasını desteklemiştir. Üçüncü bölümde kömür topuklarının hepsi alındığı için çökmeler olmuştur.

İkinci bölüm, diğer iki bölüm arasında geçiş bölgesidir. Burada örtü tabakası kırıklı olup içinde küçük boşluklar bulunmaktadır. İnşası düşünülen binanın bütün temelini kaplayacak şekilde 25 fit (7,5 m) lik karelagagöre enjeksiyon delikleri açılarak temelin konsolidasyonu sağlanmıştır.

Enjeksiyon deliklerinin yerleri Şekil. 4'de gösterilmiştir.

Tablo.2— Çimento + Uçucukül + Bentonitli Stabl Şerbetler

Uçucu kül % Ç	Ç/Soranları		Kat. Mad. Su ağırlık	Bent. % kat. m.	Viskozite San.	Çökme %	Ş.Yoğ. gr/cm	28gün muk. kg/cm
	Hacimce	Ağır. D=1,4						
40	1/1	7/5	1,4/1	0	10,4	h	1,5	78
	2/3	1/1	9,3/10	0	9,4	21	1,44	60
	1/2	2/3	7/10	0	9,4	40	1,32	50
	1/1	1/5	1,4/1	2	10,4	7	1,60	76
	2/3	1/1	9,3/10	2	9,2	22	1,45	53
	1/2	2/3	7/10	2	9,4	35	1,36	48
	1/1	7/5	1,4/1	5	11,6	6	1,62	73
	2/3	1/1	9,3/10	5	9,8	16	1,45	49
	1/2	2/3	7/10	5	9,4	26	1,38	42
	1/1	7/5	1,4/1	10	15,4	2	1,61	71
	2/3	1/1	9,3/10	10	10,3	12	1,48	47
	1/2	2/3	7/10	10	9,8	28	1,39	32
	2/3	1/1	9,3/10	15	11,8	9	1,48	42
	1/2	2/3	7/10	15	11,4	13	1,40	29
	2/3	1/1	9,3/10	20	15,8	2	1,50	42
	1/2	2/3	7/10	20	11,8	6	1,40	26



Zemini stabil hale getirebilmek amacı ile ocak seviyesindeki boşlukların agrega ile doldurulup enjekte edilmeleri de gerekmiştir. Böylece hem örtü tabakasının sağlamlas-tırılmasına yardım edilmiş ve hem de eski işletme alanlarındaki boşluklar azaltılmış olu-yor.

Çimento, uçucu kül ve sudan meydana gelen şerbetler enjeksiyonda kullanılmıştır.

Karışım oranları genellikle 1 çimento +1 uçucu kül +2 su (hacimce) şeklindedir. Çatlakların ince veya kalın olma durumlarına uygun olarak şerbetin viskozite değeri de-ğiştirilmiştir.

Enjeksiyon deliğinin çapı ocak tavanında da 6 inç (15 cm) olup boşluk tamamen agrega ile doldurulup çimento şerbeti ile enjekte edilerek suni topuk yapılmış olur. Agrega malzemesi olarak çakılda kullanılabilir.

Tablo.3— Çimento + Uçucu kül +Bentonitli Stabil Şerbetler

Uçucu kül % Ç	Ç/S oranları		Kat. Mad. Su ağırlık	Bent. % kat. m.	Viskozite San.	Çökelme %	Ş.Yağ. gr/cm	28 gün muk. kg/cm
	Hacimce	Ağır. D=1,4						
	1/1	7/5	1,4/1	0	9,8	7	1,59	111
	2/3	1/1	9,3/10	0	9,4	29	1,43	70
	1/2	2/3	7/10	0	9,2	42	1,31	50
	1/1	7/5	1,4/1	2	10,2	7	1,59	107
	2/3	1/1	9,3/10	2	9,4	16	1,44	59
	1/2	2/3	7/10	2	9,6	37	1,35	35
50	1/1	7/5	1,4/1	5	11,7	6	1,61	86
	2/3	1/1	9,3/10	5	9,9	17	1,46	50
	1/2	2/3	7/10	5	9,6	26	1,37	34
	1/1	7/5	1,4/1	10	14,4	2	1,60	63
	2/3	1/1	9,3/10	10	10,2	15	1,47	41
	1/2	2/3	7/10	10	10	24	1,39	31
	2/3	1/1	9,3/10	15	12	5	1,48	38
	1/2	2/3	7/10	15	11,6	13	1,39	30
	2/3	1/1	9,3/10	20	16,8	1	1,48	23
	1/2	2/3	7/10	20	11,6	6	1,39	21

Tablo 4 - KUM/ÇİM - 2 OLAN STABL HARÇLAR

Ç/S Oranı	Bentonit %	Uçucu Kül %	Viskozitesi Son	Çökme %	Yoğunluk Gr/Cm <sup>d</sup>	28 günlük mıkav kg/Cm <sup>2</sup>	
Hacice	Ağır	Kat. Mad	% Çim.				
			0	17	7	1,98	86
		2	30	16,4	7	1,96	95
			40	15,5	5	1,95	89
			50	15,2	8	1,95	93
			0	17,2	3	1,97	78
2/3	1/1	5	30	16	4	1,94	75
			40	15,8	6	1,95	83
			50	15	5	1,92	82
			0	8,2	15	1,91	50
			30	8,2	14	1,80	48
		2	40	3,4	15	1,75	43
			50	8,2	13	1,71	49
			0	9	7	1,83	32
1/2	2/3		30	8,8	8	1,80	39
		5	40	8,8	10	1,83	41
			40	8,6	11	1,81	38

Enjeksiyona kömür tabanından başlanılmış ve birer fit (30 cm) aralıklarla tavana kadar devam etmiştir.

Şekil.4'de her enjeksiyon deliğinin maliyeti görülmektedir.

Şekil tetkik edildiğinde büyük boşlukların bulunduğu birinci bölümdeki enjeksiyon maliyetinin üçüncü bölümdeki enjeksiyon maliyetinden çok yüksek olduğu görülür.

Temelin konsolidasyonu sağlandıktan sonra bina inşa edilmiştir.

## 2. ŞAFT AÇIMINDA ENJEKSİYON

Parisalt yapı tesislerinin bir bölümünü oluşturan galerilerin bir kısmı çok ince kum tabakalarından geçmiştir.

# ENJEKSİYON (İŞLETME ALANINDA)

MADEN İŞLETME ALANININ DURUMU :

PB Kömür topuğunda enjeksiyon deliği

CP Kömür topuğu

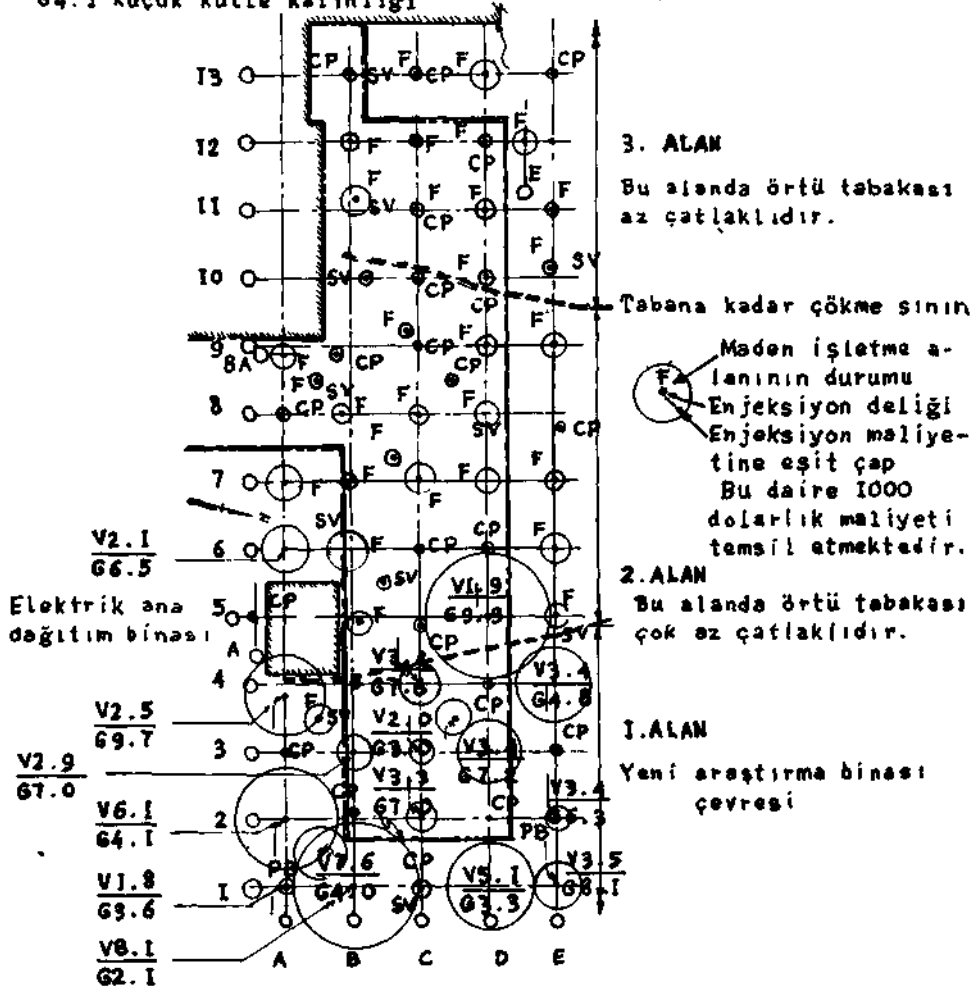
SV Küçük boşluk

F Çatlaklı kaya

V6.1 Boşluk yüksekliği

64.1 küçük kütle kalınlığı

Binanın dış yüzü



şekil I EnjokMjonla >apıl.m \*m ı topukların durumu

Bu maksatla röğör rolünü oynayacak şaftlardan birinin açılmasına karar verilmiştir. Şaft, moloz yığınlarından ve kalkerden geçerek kumlu greli tabakaya kadar kolaylıkla açılmıştır. Kumlu tabakada YAS'de bulunduğundan su boşaltma işlemi arasında çok fazla miktarda kumda boşaltılmaya başlanılmıştır. Bu metot çok sakıncalı görüldüğünden hemen durdurulmuştur.

Su sızmalarını önleyecek şekilde kuyu civarının enjekte edilmesine karar verilmiştir. Kuyunun hemen altındaki kalın ve kompakt marn tabakalarında 10 m. yükseklikte ve 3 m. çapında ve 2 m. kalınlıkta silindirik bir alanın enjeksiyonu yapılmıştır (Şekil. 5).

Böylece emniyetli bir sızdırmazlık sağlanmış ve hem de YAS'nin maksimum 1 kg/cm<sup>2</sup> lik hidrostatik basıncına karşı direnç oluşturulmuş oldu.

Bu enjeksiyon ince kumların uygun şerbetlerle emprenye hale getirilmesiyle sağlanmıştır. Kuyu tabanındaki şerbet fışkırmalarını önlemek için tabana beton tıkaç dökülmüştür.

A sırası deliklerinin enjeksiyonunda Kil + Çimento şerbeti kullanılmıştır. Böylece şerbeti kum içine nüfuz etmesi, diğer taraftan da şaft içindeki ahşap tahkimat etrafındaki büyük boşlukların doldurulması sağlanmıştır.

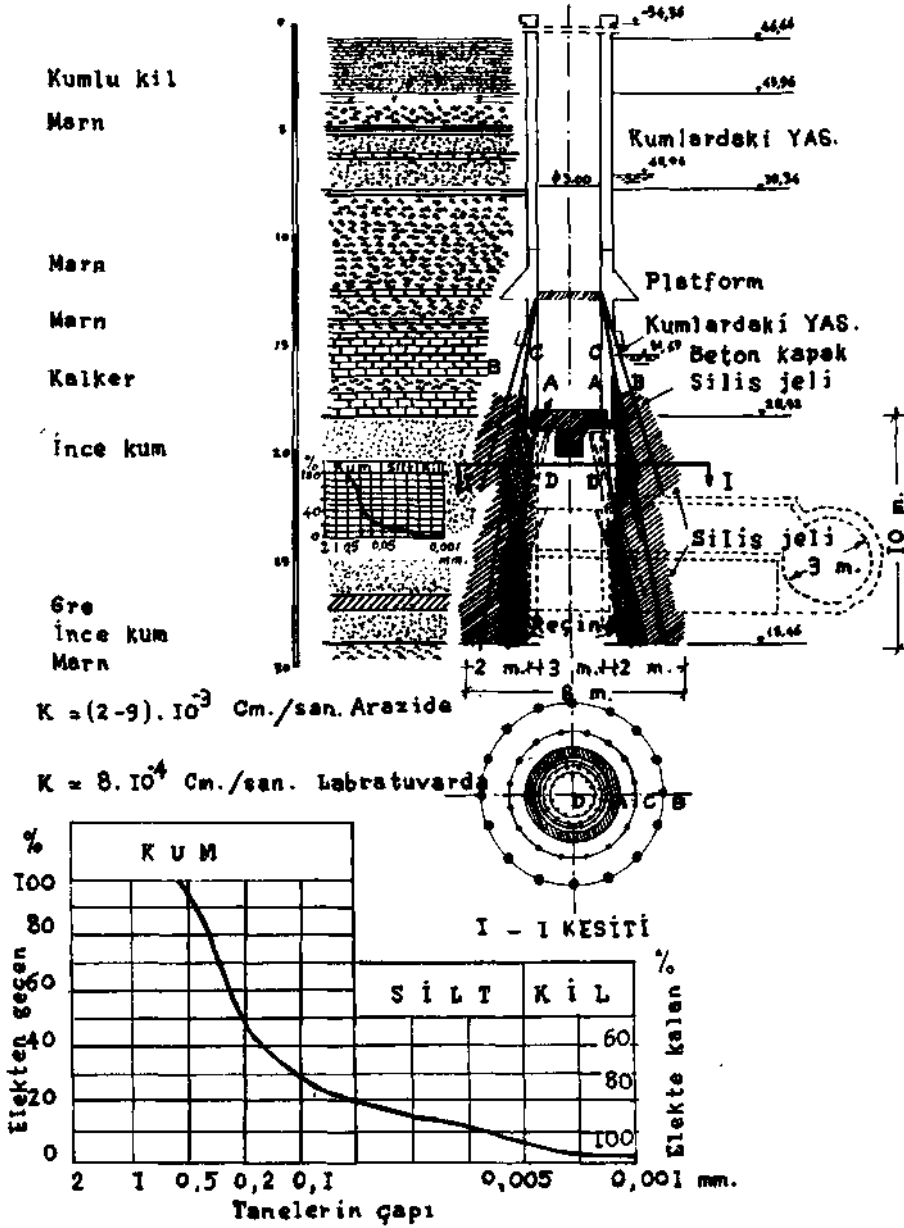
A sırası deliklerin enjeksiyonunda 70 ton kuru malzeme enjekte edilmiş olmasına rağmen alüvyon geçirimsizliği tam olarak sağlanamamıştır. Ancak daha iç sıralardaki enjeksiyonda şerbet miktarının azalmasına sebep olmuştur. İkinci bölümde enjeksiyonların yapılabilmesi için kuyu içindeki suyun biraz üstünde platform kurularak üzerinden B ve C sırası deliklerin enjeksiyonu yapılmıştır.

B ve C sırası enjeksiyon delikleri YAS'nin içinde açılmalarına rağmen artezyen yapmamışlardır.

D sırasındaki enjeksiyon delikleri kuyu tabanında üç defa açılmış ve her delik açılışında da enjeksiyonları yapılmıştır. Her sırada 16 adet delik açılmıştır. Çalışmalarına başlamadan önce, kum enjeksiyonunun çok zor olduğu biliniyordu. Bu maksatla bir araştırma sondaj yapılmıştır. Temel sondajı ile bozulmamış numune alınmıştır. Karotlardan ince kum ve siltin üst üste tabakalaşmış olduğu anlaşılmıştır. Daha sonrada araştırma kuyusunun tabanına Moline cihazı indirilerek YAS'nin hareketi incelenmiştir. Buradaki kumun gronülometrik analizi ve perméabilité deneylerinden ince kumların silis jeli ve şiltlerinde organik reçine ile enjekte edilebileceği anlaşılmıştır.

Kuyu çevresi önce silikat jeli ile daha sonra da iç kısımlardaki delikler reçine ile enjekte edilmiştir. Böylece çok pahalı olan reçinenin uzaklara gitmesi önlenmiştir.

# SAFT ENJEKSİYONU



Şekil 5 : Şaft açımında enjeksiyon çalışmaları

Enjeksiyonlar muhafaza borusu içinden enjeksiyon takımlarının tutturulması ile yapılmıştır.

Her kademeye enjekte edilebilecek şerbet miktarı teorik olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara rağmen enjeksiyon sırasında bir kaç yarılma olayı olmuştur.

Enjeksiyonlar tamamlandıktan sonra açılan kontrol deliklerinde su hareketlerinin tamamen durdurulamadığı anlaşılmıştır.

Su hareketlerinin tamamen durdurulabilmesi için iki sıra daha delik açılması uygun görülmüştür. Birinci sıra YAS'nin içinde kalan kumların biraz üstünde ikinci sıra ise beton kapak civarında açılmıştır. Bu iki sıradaki enjeksiyon metodu, yukarıda uygulanan enjeksiyon metodundan farklıdır. Daha önce enjekte edilmiş kum tabakaları içinde tekrar delik delip muhafaza borusu yerleştirildiğinden kuyu cidarı ile muhafaza borusu arasında boşluk kalacağından şerbetlerin buralardan belirsiz yönlere sızma tehlikesi olur.

Bu sebepten dolayı son iki sıra deliğin enjeksiyonu manşetti borular içinden yapılmıştır. Başlangıçta enjeksiyon basıncı (2—4) kg/cm<sup>2</sup>, derinlerde ise (6—9) kg/cm<sup>2</sup> olmuştur.

### 3. TÜNEL GÖÇÜK ENJEKSİYONU

Fransa'da Boubard demir yolu tüneli şist yapılı bir formasyondan geçmiştir. Tünel tavanında 300 mm lük bir göçük olmuştur. Bu göçüğün oluşundan iki gün sonra da tavanında 20 m.lik sağlam kısımda ikinci bir göçük olmuştur.

Çözüm yolu olarak en emin ve pratik yol göçüğün enjeksiyonu olmuştur. Göçüğün yer yüzündeki mostrasından kum ve üzerinde iri çakıllar dökülmüştür. Tünelin içinde, göçüğün iki yönünde birer duvar inşa edilmiştir. Duvarların önünde de 10 m.lik kısımlar emniyet düşüncesiyle ağaç tahkimatla takviye edilmiştir (Şekil 6).

İlk önce göçüğün dışında sağlam kayada olmak üzere dikdörtgen şeklindeki bir çevre üzerinde 3 m. aralıklarla enjeksiyon delikleri tünelin üst kotuna yakın bir yere kadar açılmıştır. Bu deliklere 2 kg/cm<sup>2</sup> basınçta harç enjeksiyonu yapılmıştır.

Bu enjeksiyonlar perde görevini görerek çimento şerbetlerinin uzaklara gitmesini ve maliyetin artmasını önler.

Göçük üzerindeki enjeksiyon delikleri 4 x 4 m.lik karelerin köşelerinde açılmıştır. Enjeksiyon basıncı 15 kg/cm<sup>2</sup> dir. Enjeksiyonlar aşağıdan yukarıya doğru çıkan fazlar metoduna göre yapılmıştır. Enjeksiyon kademe boyları 1 m. olmuştur.



Harçta kullanılan katı madde miktarları aşağıda verilmiştir.

Çimento	75 kg.
Kum	75 kg.
Kil	25 kg.
Su	80 litre.

Bu harç 7 gün sonra 27 kg/cm<sup>2</sup> lik basınç mukavemeti göstermiştir.

Enjeksiyon sırasında yalnız kum miktarında değişiklik yapılmıştır.

Çalışmalar 12 saatlik iki vardiya halinde yapılmıştır. Vardiyada çalışan işçi adedi ise 3 kişidir. Enjeksiyon sırasında duvarlardan 20 m. uzaklara kadar tavandan çimento şerbeti sızıntıları olmuştur.

Enjekte edilen toplam katı madde miktarı

Çimento	396 ton
Kil	128 ton
Kum	303 ton
Toplam	827 ton

Enjeksiyon çalışmaları bir ayda bitirilmiştir. Toplam delik uzunluğu 820 m.dir. Bir delikte enjeksiyon çalışması devam ederken diğer bir deliğin açılması işin hızı bakımından gereklidir. Açılmakta olan delikten çimento şerbeti sızıntıları da gelebilir.

Enjeksiyon işlemleri bitirildikten sonra tünel içindeki pası kaldırılmış. Daha sonra da kemer tekrar inşa edilmiş ve emniyet tedbiri olarak da demir tahkimatla takviye edilmiştir.

#### 4. TÜNEL GÖÇÜK ENJEKSİYONU

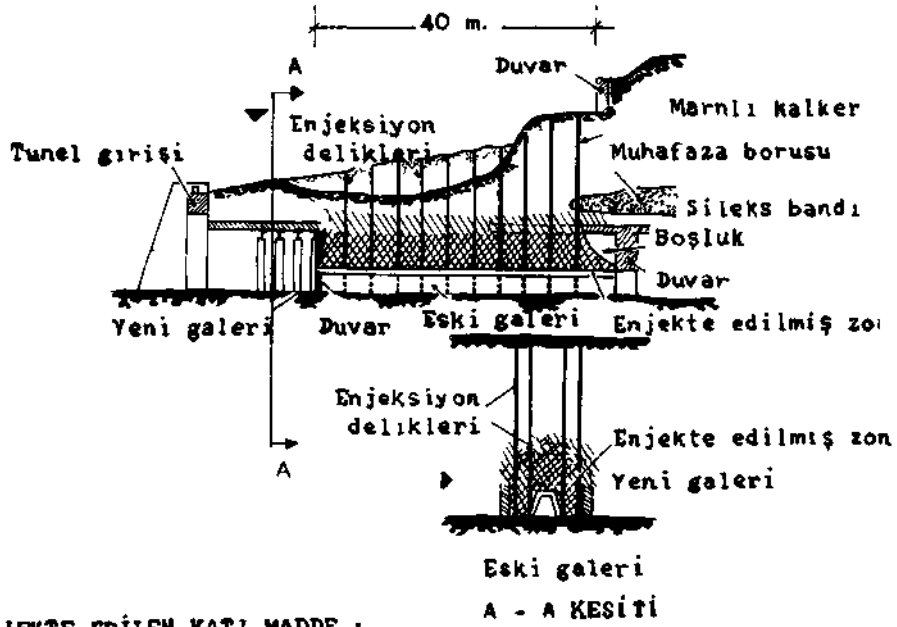
Fransa'da Sainte—Catherine demiryolu tüneli kesiti genişletilirken 40 m. uzunlukta bir göçük meydana gelmiştir. Göçük malzemesi kum ve çakıldan meydana gelmiş olup, değişik granülemetre göstermiştir.

Göçüğün normal metotlarla geçilmesine çalışılmışsa da haftada birkaç santimlik ilerlemeden fazlası yapılamamış, tahkimatın üzerine büyük basınçlar gelmiş neticede de kitlenin enjeksiyonuna karar verilmiştir.

Yeryüzünden demiryolu tüneline kadar dikey olarak enjeksiyon delikleri açılmıştır (Şekil. 7).



# GÖÇÜK ENJEKSİYONU



## ENJEKTE EDİLEN KATI MADDE :

Çimento	: 800 Ton
Kil	: 200 "
Kum	: 350 "
Toplam	: 1350 "

Toplam delik uzunluğu  
500 m

2,7 ton/m.

Enjeksiyondan önce ilerleme :  
0,1 m/8gün

Enjeksiyondan sonra ilerleme:  
1,3 m/8 gün

Eski küçük kesitli galerinin yüzeyine yerleştirilen tahta kalıplar Çimento şerbeti sızıntılarını çok azaltmıştır.

Enjeksiyonun gayesi pasa içindeki boşlukların hepsinin doldurulması değil göçük basıncını mümkün olduğu kadar azaltmaktır.

Enjeksiyon delikleri darbeli sondaj makinesi ile açılmış ve muhafaza boruları indirilmiştir. Enjeksiyonlar aşağıdan yukarıya doğru çıkan fazla yöntemine göre yapılmıştır. Enjeksiyona paralel olarak muhafaza boruları da yukarıya doğru çekilmiştir. Enjeksiyonları çoğu zaman basınçsız ve ba/en de 1 2 kg/cm lik basınçta yapılmıştır.

#### 4.1 KINIK TÜNELİNDE ENJEKSİYON

Ankara ilinin artan nüfusuna paralel olarak hızla artan su ihtiyacını karşılamak üzere Ankara Projesi fizibilite raporu ve master planı hazırlanmıştır. Uygulama ise beş kademe şeklinde projelendirilmiştir. Bunlardan birincisi Çamlıdere Bayındır Barajının yapımı, ikincisi ise Çamlıdere-Bayındır Barajı ile Ankara Tasfiye Tesisleri arası isale hattı yapımıdır. İsale hattı 19,3 km. boyunda 3,8 m. çaplı tünel ile 39,2 km. uzunlukta 2,5 m. çaplı beton borudan oluşur.

Tünel iki kısa ve birde uzun galeriden meydana gelir. Uzun tünelin (16,5 km.) açılma işlemlerini hızlandırmak için iki yaklaşım galerisi ve bir de shaft açılmasına karar verilmiştir. Shaftın açılması sırasında YAS'yu, tünel girişinde YAS'yunun sebep olduğu göçük ve yaklaşım III galerisi civarında debisi ortalama 8 lt/sn. ve sıcaklığı 27<sup>u</sup>C olan termal bir su problem yaratmıştır.

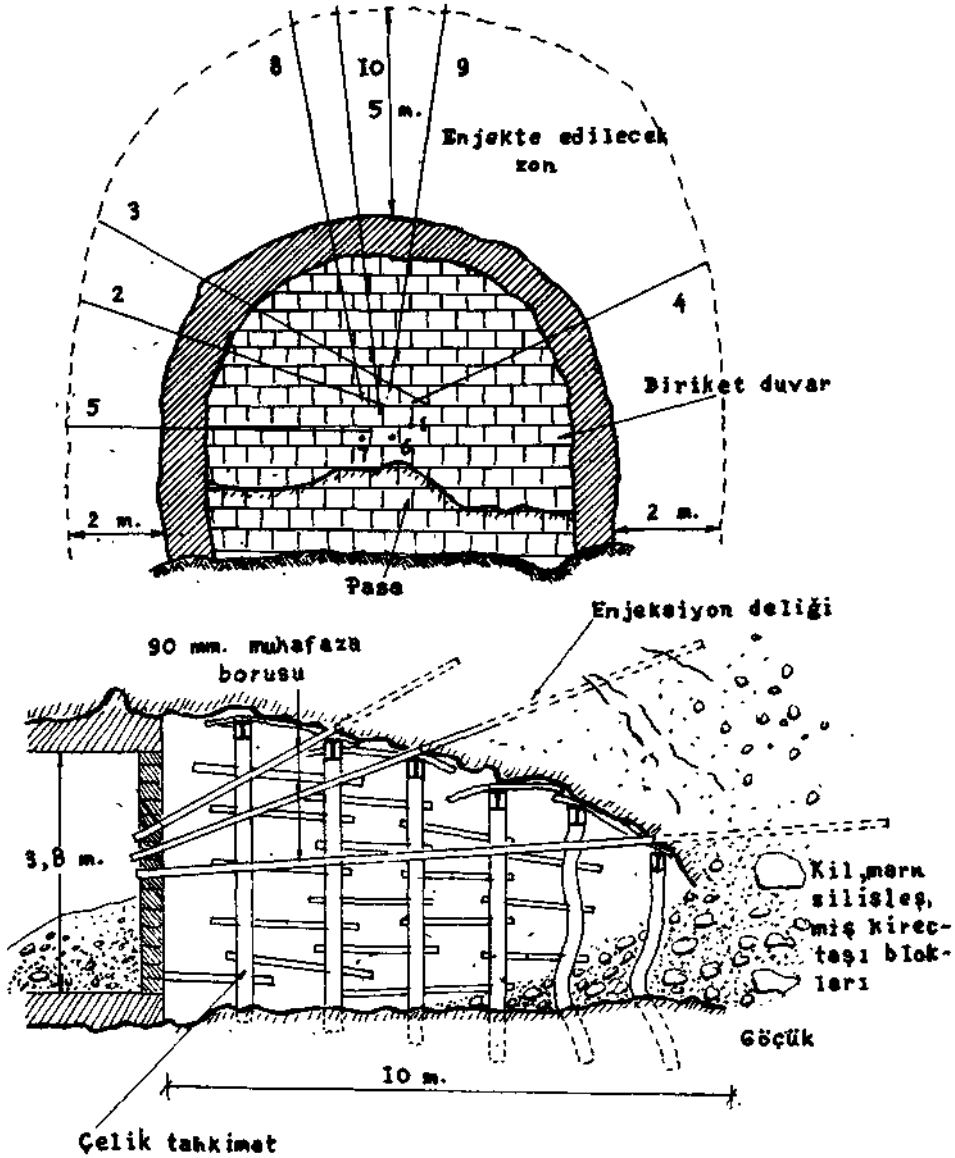
Tünelin 0 + 790 km.sinden geriye doğru güvenlik nedeni ile tünel betonu dökülmüştür. 0 + 790 ile 0 + 800 km. arası ise aralarında sık ağaç ve demir kamalar bulunan çelik tahkimatla kaplı göçük bulunmaktadır (Şekil. 8).

Göçük YAS ile oynamış tavanın baskısından meydana gelmiştir.

0 + 790 km.den 1 + 150 km.ye kadar (andezite girinceye kadar) kendini tutamayan, suyla dolgun kil - marn ve silisleşmiş kireçtaşı bloklarından oluşmuş zeminin geçilebilmesi için aynadan enjeksiyon çalışmalarının yapılması öngörülmüştür.

Şekil — 8'de görüldüğü gibi on adet delikten enjeksiyon yapılmıştır. Deliklerin ortalama derinlikleri 35 m. ve toplam derinlikleri de 352,5 m.dir.

# KINIK TÜNEL



Sekil. 8 : Göçük enjeksiyonu için duvar yapımı ve enjeksiyon deliklerinin durumu

Enjekte edilen katı madde miktarları aşağıda belirtilmiştir.

Çimento	45 ton
Kum	30 ton
Bentonit	11 ton
T. Katı Mad.	86 ton

Bir metre deliğe enjekte edilen katı madde miktarı 246,5 kg/m. dir.

Göçük üzerinde meydana gelen boşluk stabl harçlarla ve 2 kg/cm<sup>7</sup> lik basınçta enjekte edilmiştir.

Daha sonrada stabl şerbetlerle, basınç 5 kg/cm<sup>2</sup> ye ulaşıncaya kadar enjeksiyona devam edilmiştir. Manometrenin kısa zamanda 5 kg/cm<sup>2</sup> ye ulaşması halinde de yalnız bentonit şerbeti enjeksiyonu yapılmıştır. Göçük üzerindeki boşluk doldurulup sızıntı sular kesilmeden enjeksiyon başarılı olamaz. Başlangıçta enjeksiyon deliklerinin boşluğa rastlayacak şekilde ayarlanması gerekir. Aynı kesitte göçüğün tekrar olması halinde ise son kademedede bentonit + kimyasal katkı maddeli şerbetler kullanılmalıdır. Kimyasal katkı maddeleri sodyum silikat sodyum pirofosfat, asit borikdir.

Alüvyon veya fay hattındaki dolgu malzemesinin enjeksiyonu, kendi kendini tutabilen formasyondaki göçüklerin enjeksiyonundan çok daha zordur.

Galeriden gelen suların kesilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda enjeksiyon basıncı 10 kg/cm<sup>2</sup> veya daha fazla olmalıdır.

Şafttaki çalışmaların normal yapılabilmesi içinde YAS'yu sızıntılarına mani olmak için shaft duvarları arkasından enjeksiyona lüzum görülmüştür (Şekil 9).

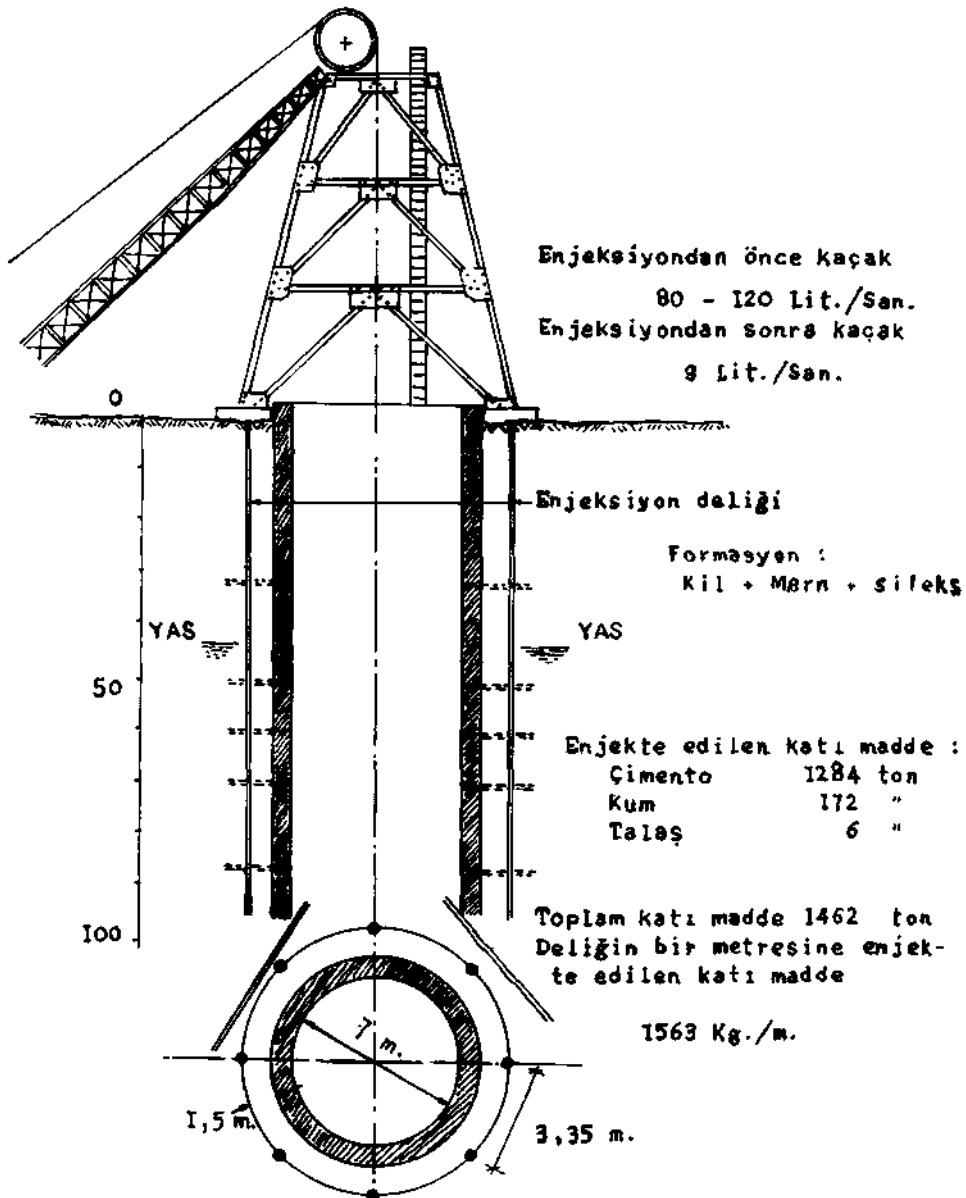
Şaft derinleştirme çalışmaları ile enjeksiyon çalışmalarının ahenkli bir şekilde yürütülmesi gerekir. Aksi halde enjeksiyonlardan istenen neticeler alınamayabilir. Şaft açılmadan önce temel sondajları ile çok iyi etüd yapılması gerekir. Hatta enjeksiyonun shaft açımından önce yapılması çok daha uygun olur.

YAS'yu bir hareket kazandırdıktan sonra yapılan enjeksiyonlar daha pahalı olur.

Şaft enjeksiyonları, kuyu etrafına dikey deliklerden yapılan enjeksiyonlar, shaft için yüzeyinden yapılmış ışnsal enjeksiyonlar, shaft tabanından yapılan ışnsal enjeksiyonlardan meydana gelir.

Kuyu etrafında yapılan enjeksiyonlar kayaçların sağlamlaştırılması ve YAS'yun kesilmesi amacıyla yapılır. Şaft yüzeyinde yapılan ışnsal enjeksiyonlar ise kuyu be-

## KINIK SAFTI



Şekil. 9 : Kınık shaftında enjeksiyon çalışmaları

tonu ile formasyon arasında kalan boşlukların enjeksiyonu için yapılır. Böylece YAS'yunun kuyu boyunca tabana inmeleri önlenmiş olur.

Tabandaki ışınsal enjeksiyonlar ise taband.ue gelebilecek YAS'yunun azaltılması ve ani su patlamaları önlemek için yapılır. Bu enjeksiyonlar şaft son kota kadar inşa edildiğinde de mutlaka yapılmalıdır.

Şaft etrafında yapılan enjeksiyonda sarf edilen katı madde miktarları: (Tablo 1-2 3-4)

Çimento	617 ton
Kum	86 ton
Toplam katı madde	710 ton
Toplam delik	8 adet
Toplam delik uzunluğu	515 m.

Bir metre deliğe enjekte edilen katı madde ise 1,37 ton/m. olmuştur. Kaçakların fazla olduğu yerlerde 5250 kg. hızar talaşı ile 2600 kg. Trikosal S—III maddesi kullanılmıştır.

Şaftın iç yüzeyinde yapılan ışınsal enjeksiyonlarda da aşağıdaki katı maddeler kullanılmıştır

Çimento	506 ton.
Kum	82 ton
Toplam katı madde	590 ton
Talaş	1350 kg.
Tirikosal S—III	3300 kg.
Bentonit	100 kg.

Toplam delik adedi 141 ve toplam derinlikleri de 211,5 m.dir. Bir metre deliğe enjekte edilen katı madde 2,8 ton/m. olmuştur.

Şaft enjeksiyonları yukardan aşağıya doğru inen fazlar metoduna göre yapılmıştır. Ç/S karışım oranları 1 /3, 2/3, 1 / 1 , 7/5'dir.

Çimento prizini hızlandırmak için çimentonun % 2,5 - 3 ü kadar Tirikosal—111 kullanılmıştır. Ayrıca çimentonun % 20-40'ı kadar da kum çimento şerbetlerine karıştırılmıştır.

## KAYNAKLAR

Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division

Injection des Sols

Am—9 Chemical Grout

Grouts and Drilling Muds in Engineering Practice

