

# *Yeraltı Suyunu Dondurma Yöntemi ve Bir Uygulaması*

(A Grond - Water Freezing Method and Its Application)

Ömer AYDAN (\*)  
Alpaslan ERSEN (\*)

## Ö Z E T

Bu yazıda» çok sulu formasyonları gecen maden kuyularının açımında kazının stabllitesini sağlamak üzere son yıllarda kullanımı artan yeraltı suyunu dondurma yöntemi tanıtılmaktadır. Selby kömür havzasında açılmakta olan kuyulardaki uygulanmasında örnek olarak verilmiştir.

## ABSTRACT

In this paper, ground - water freezing method which is recently used widespread in order to secure the stability of shafts during excavation is introduced. And its application to the ten shafts at the Selby coal field which are currently being sunk is given as example.

## 1. GİRİŞ

Zor koşullar altında yeraltı açıklıklarının kazımı sırasında kazılan açıklığın duraylılığını sağlamak üzere zemin sağlamlaştırma (ground treatment) yöntemlerinden biri kullanılır. Zemin sağlamlaştırma yöntemleri arasında şerbet enjeksiyonu (grouting), yeraltı suyunu dondurma (ground water freezing) ve basınçlı hava (compressed air) yöntemlerinden söz edilebilir.

Bu yazıda yukarıdaki yöntemlerden yalnız yeraltı suyunu dondurma yöntemi ve kuyular için tasarımı anlatılacak, ayrıca Avrupa'nın en büyük kömür işletmesi olacak olan Selby bölgesinde açılan 10 kuyudaki uygulaması örnek olarak verilecektir.

Yeraltı suyunu dondurma yöntemi Hk defa Fransa'da bulunmasına karşın ilk uygulaması, 1862 yılında. Güney Gollerde Swansea yakınlarında açılan bir maden kuyusunda olmuştur (11).

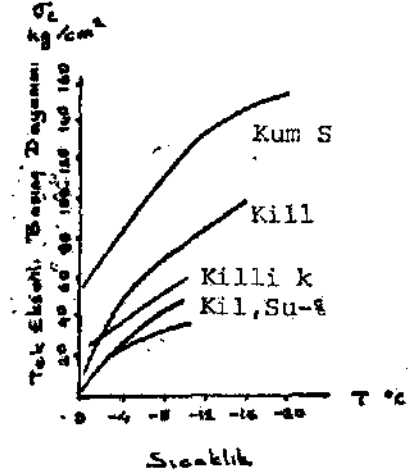
Bu yöntem madencilikte genellikle sulu formasyonları geçen kuyuların açımı sırasındaki kazının stabilitesini sağlamak için kullanılır. Son zamanlarda inşaat mühendisliği alanlarında da kullanılması yaygınlaşmaktadır.

## 2. ESASLARI

Yeraltı suyunu dondurma yöntemi, kazısı yapılacak alanın çevresine geçici bir duraylılık (stability) kazandırarak güvenli ve kuru bir ortam içinde kazının yapılmasına olanak tanır.

Yeraltı suyunu dondurma yönteminin ana ilkesi zemin ya da kayadaki suyu sıvı durumdan katı duruma getirmektir. Yer in sıcaklığı  $0^{\circ}\text{C}$ 'nin daha altındaki sıcaklıklara düşürüldükçe ortamın mukavemeti artar (Şekil 1). Ortamda var olan suyun dondurulmasında gerekli düşük sıcaklığın temini için stabilitesiz istenen zonda açılan sonda) deliklerine yerleştirilen çelik borular içinde CaCl ya da MgCl gibi soğutucu bir madde dolaştırılır. Böylece belir-

li bir süre sonunda delikler çevresindeki kaya ya da zemindeki su donarak kazı alanının duraylılığı sağlanmış olur (2).



Şekil 1. Dondurulmuş maddelerin tek eksenli basınç dayanımlarının sıcaklıkla değişimi.

Bu yöntemde, dondurma deliklerinin konumlarının tasarımında en önemli konu, delikleri kazı alanından daha çok kazıyı çevreleyen bölgeyi donduracak bir şekilde ayarlamaktır.

Bu yöntemin kullanılabilmesi için arazi aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

- Ortam suya doymuş olmalı
- Yeraltı suyunun akış hızı donma olayını etkilemeyecek derecede yavaş olmalı,
- Arazi koşulları bu yöntemin kullanılması durumunda yakındaki yapılara zarar vermeyecek durumda olmalı,

Yeraltı suyunu dondurma yönteminin diğer yöntemlere karşı yeğlenebilmesi için şu koşulların var olması gereklidir;

- Su içeren tabakaların derinliği şerbet enjeksiyon ya da basınçlı hava yöntemini pratik kılmamak,
- Yüksek yeraltı su tablalarının pompalama ile düşürülmesi halinde yakın-

daki yapılar zarar görecektir durumda olmalı,

- c) Tünel ya da kuyunun kazısı sırasında ani su patlamaları beklenmemelidir,
- d) Arazinin tabakalaşması ve geçirgenliği (permeability) şerbet enjeksiyonuna olanak tanınamalı,
- e) Bu yöntemle kaya ya da zemin olumsuz yönde etkilenmemelidir.

Pahalı ve yavaş bir yöntem oluşu belli başlı dezavantajlarından birisidir. Ayrıca donmuş zeminle temasta olan betonun bir kısmında rotre olayının gecikmesine neden olarak betonun mukavemetini düşürdüğü ileri sürülmektedir. Bu da beton kaplama kalınlığının artırılmasını gerektirmektedir.

### 3. YERALTİ SUYUNU DONDURMA YÖNTEMİNİN TASARIMI

#### 3.1. Jeoteknik Araştırma

Kaya ya da zemin mekaniğinde karşılaşılan problemlerde, yapılacak ilk iş arazinin jeoteknik açıdan araştırılmasıdır. Kuyunun açılacağı bölgenin jeoteknik yönden araştırılması aşağıdaki konuları kapsamalıdır (3).

#### 1 — Hazırlık Çalışması

- a) Bölgede daha önce yapılan sondaj raporlarının gözden geçirilmesi.
- b) Yakın civarda daha önceden açılmış kuyularla ilgili yapılan çalışmaların incelenmesi.

#### 2— Pilot Sondajı ve Testler

- a) Zemin sondajı ve loğlama
- b) Kaya karotlarının alınması ve incelenmesi
- c) Sondaj kuyusunun jeofiziksel yönden incelenmesi
- d) Hidrojeolojik testler.

#### 3 — Laboratuvar Testleri

##### a) Zemin indeks özellikleri

- 1) Tane boyutu
- 2) Nem yüzdesi
- 3) Suyu doygunluk
- 4) Atterberg limitleri
- 5) Porozite
- 6) Yoğunluk

##### b) Geçirgenlik

- c) Tek eksenli basınç deneyleri
- d) Poisson oranı
- e) Kayanın ısıl özelliklerinin deneyleri
  - 1) Isıl İletkenlik deneyleri
  - 2) Özgül ısı deneyleri
  - 3) Isıl genleşme katsayısı deneyleri

#### 4—Yeraltı Suyu

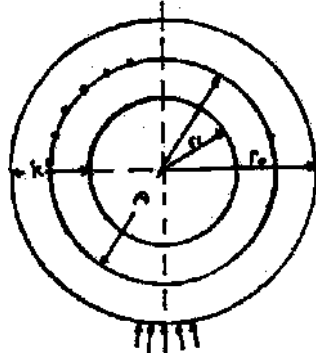
- a) Bölgesel özellikler (akış hızı vb.)
- b) Kimyasal analizler

### 3.2. Dondurulacak Duvara Etkiyecek Basıncın Saptanması

Dondurulacak duvara etki edecek basınç iki ana Ögeden oluşur. Bunlardan biri su, diğeri de arazi basıncıdır (Şekil 2). Bu basınçlar derinlikle doğru orantılı olarak artar. Dondurulacak duvarın duraylılığı bu iki basıncın büyüklüğüne, düzgün dağılıp dağılmamasına, duvarın şekline ve de dayanımına sıkı sıkıya bağlıdır. Duvardaki gerilim dağılımı klasik gerilim analiz yöntemlerinden biriyle analiz edilerek, duvara gelecek olan basınç saptanır.

### 3.3. Dondurulacak Duvar Kalınlığının Hesabı

Dondurulacak duvar genellikle içi boş bir silindir şeklindedir. Bu silindirik duvarın gelen basınç altında duvarı oluşturan



Şekil 2. Buz Duvarın kesiti ve üzerine etki eden yükler.

malzemenin elastik ya da elasto - plastik davranış göstermesine bağlı olarak değişik formüllerle hesaplanabilir.

Bu duvarın kalınlığını hesaplamak üzere zamana bağlı ve zamandan bağımsız formüller önerilmiştir. Bu yazıda yalnız zamandan bağımsız formüller verilecek ancak nasıl türetildikleri verilmeyecektir. Malzemenin yük altında elastik ya da elasto - plastik davranış göstermelerine göre formüller iki grup altında toplanabilir.

### 3.3.1. Malzeme Elastik Davranış Gösteriyorsa

Dondurulacak duvara gelen dış basınç biliniyorsa ve malzeme bu basınç altında elastik davranış gösteriyorsa Lome'nin içi boş kalın cidarlı silindrl önermesi kullanılarak duvarın kalınlığı şu formülle hesaplanır (14)".

$$\sigma_{\text{maks}} / EM$$

$$n < (W / EM) - p_0$$

Burada;

<W = Duvarın iç cidarında oluşan maksimum teğetsel gerilim.

P = Dış basınç

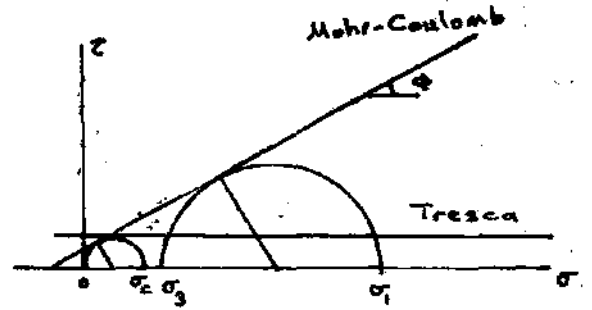
r = Kazı yarıçapı

EK = Emniyet katsayısı (2 - 4)

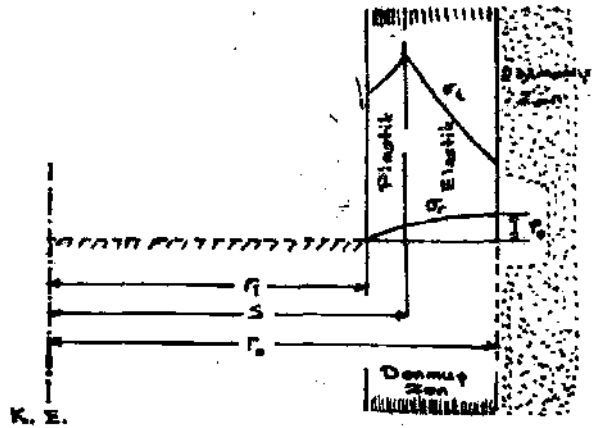
\* O değeri hesaplarda dondurulmuş malzemenin tek eksenli basınç dayanımına eşit alınır.

### 3.3.2. Malzeme Elasto - plastik Davranış Gösteriyorsa

Kuyular derinleştikçe, dondurulacak duvarın kalınlığı elastik önerme (teori) ile hesaplandığında, oldukça büyük değerler elde edilir. Bazen bu önerme ile elde edilen kalınlıktaki duvarı dondurmak ekonomik olmayabilir. Son yıllarda duvarın tasarımında, elasto - plastik Önermeden (teori) yararlanılmaya başlanmıştır. Bu önermede duvarı oluşturan malzemenin bir kısmının elastik durumdan çıkıp plastik duruma geldiği kabul edilmektedir. Burada verilen formüller türetilmelerinde kabul edilen kırılma kriterlerine (Şekil 3, 4) göre iki grup altında toplanabilir (9).



Şekil 3. Kırılma kriterleri.



Şekil 4. Elasto-plastik davranış gösteren buz duvarda gerilim dağılımı.

a) Tresca kırılma kriteri üzerine dayandırılan formüller; Bu gruba giren belli başlı iki formül vardır.

Tumer'in formülü

$$\left(\frac{P_0}{\sigma_c}\right) = m \left(\frac{s}{n} i + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{s^2}{r_0^2}\right) i\right)$$

$$r_1 < s < r_0$$

Bu formülde s değeri değiştirilerek r için Klein'in formülü

$$k = [(0.29 + 1.42 \sin \phi) \left(\frac{P_0}{J}\right) + (2.3 - 4.6 \sin \phi) \left(\frac{P_0}{r}\right)^2] \cdot u$$

$$\phi \leq 30^\circ$$

$$S = V r_1 - r_0$$

Tjutjunnik ve arkadaşlarının formülü

$$u \left[ \frac{1 - \sin \phi}{2 \sin \phi} \right] W \quad (\sin \phi > 0.1)$$

$$f_{fc} \left( \frac{1 - \sin \phi}{2 \sin \phi} \right) j. \text{ sifkp} \left( \frac{S}{r} \right) \left( \frac{2 \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) + 2 \sin \phi$$

değişik değerler bulunur.

Domke'nin formülü

$$k = [0.29 \left(\frac{P_0}{J}\right) + 2.3 \left(\frac{P_0}{r}\right)^2] \cdot h$$

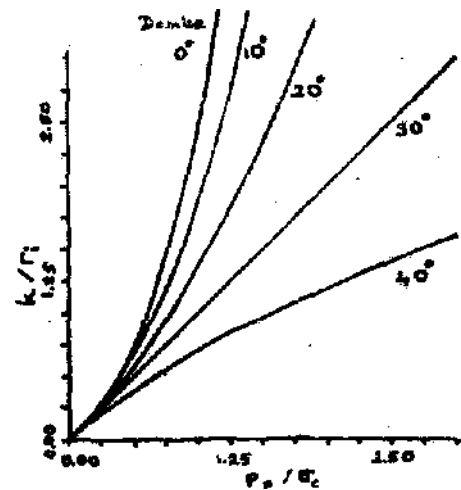
$$\phi = 0^\circ$$

$$S = V f i - r_0$$

b) Mohr - Coulomb kırılma kriteri üzerine dayandırılan formüller; Bu grupta belli başlı iki formül vardır.

Klein, 1982'de derin ortamlarda Mohr-Coulomb kırılma kriterine dayanan formüllerle elde edilen dondurulacak zon kalınlığının, Tresca'nın kriteri üzerine dayanan Domke formülü ile elde edilenden daha az, bu nedenle de daha ekonomik olacağını ileri sürmektedir (9). Buna neden de, bu kriterin malzeme içinde oluşan çatlakların yüzeyleri arasındaki sürtünmeyi göz önüne almasıdır. Klein bu çatlak yüzeyleri arasındaki sürtünme açısının bazı değerlerine göre duvar kalınlığının nasıl değişebileceğimde göstermiştir (Şekil 5).

Tahkimatsız olarak durabilecek kuyu iç duvar yüksekliği Lieberman'ın şu formülü ile hesaplanabilir (13).



Şekil 5. Mohr-Coulomb kriterine göre  $S = V f i - r_0$  \* 5<sup>in</sup> tasarım raonogramı.

$$h = Sx \cdot \frac{O_c}{Y \cdot H}$$

Burada,

h = Düşey duvar yüksekliği (m)

S, = Donmuş duvar kalınlığı {m}

Y = Yoğunluk (t/m<sup>3</sup>)

H = Yeryüzünden olan derinlik (m)

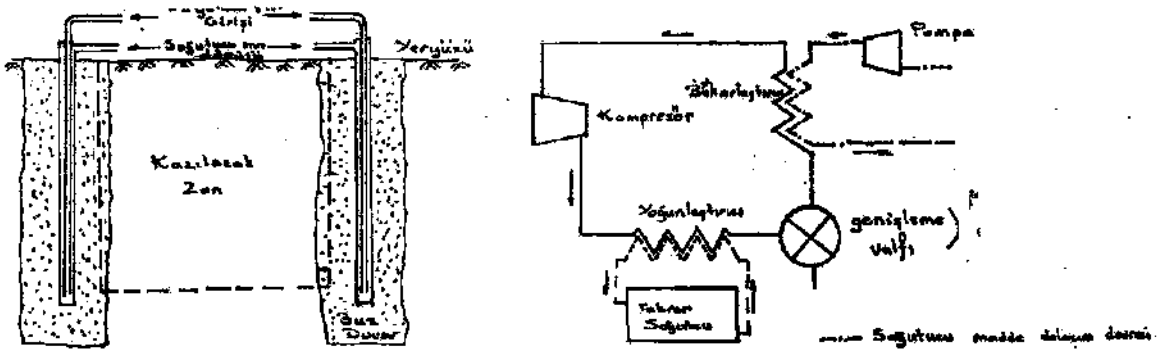
ff<sub>c</sub> = Donmuş duvarın dayanımı (t/m<sup>2</sup>)

### 3.4. Soğutma Tesis Kapasitesinin Saptanması

Kaya) ya da zemindeki suyu sıvı durumdan katı duruma geçirebilmek için dondurulacak hacmin sıcaklığının düşürülmesi gereklidir. Buda başka bir deyişle ortamdaki ısının çıkarılması demektir, Soğutma tesisinin kapasitesi dondurucağı ortamın hacim, sıcaklık ve ısıl özelliklerine sıkı

sıkıya bağlıdır. Isı çıkarma işlemi iki aşamaya ayrılabilir; birinci aşama. İstenen kalınlıktaki donmuş duvarın elde edilmesinde ortamın sıcaklığını yeteri kadar düşürmek için gerekli ısının çıkarılması, ikinci aşama ise donmuş duvarın korunması için gerekli ısının çıkarılmasıdır. En büyük ısı çıkarma işlemi ilk aşamada yapılır. Bu aşamada tesis tam kapasiteyle çalışır. İkinci aşamada ise çıkarılan ısı miktarı az olacağı için tesisin kapasitesi oldukça düşer. Dondurulacak duvarı oluşturmak için çıkarılması gereken ısının miktarı ve süresini tam olarak veren hiç bir formül yoktur. Ancak, gerçek değerlere çok yakın değerler veren çözümler vardır. Bu konuyla ilgilenenlerin Sanger (12), Kamenskli (8), Jumikis (7) ve Vyalovun (15) yazılarına bakmaları önerilir.

Soğutma tesisleri kompresör, buharlaştırıcı, pompa, yoğunlaştırıcı valf ve soğutma kulelerinden oluşur (Şekil 6).



Şekil 6. Yeraltı suyunu dondurma yönteminin şematik planı.

### 4. YERALTI SUYUNU DONDURMA YÖNTEMİNİN SELBY'DEKİ UYGULAMASI

Avrupanın yıllık 10 milyon ton kömür üretimiyle en büyük yeraltı işletmesi olacak olan Selby Kömür Havzasında derinliği 411 metreden 1030 metreye kadar değişen 10 kuyu ile 1.5 km uzunluğunda 14 eğimli 2 adet desandri açılmaktadır (10). Kuyular insan ve malzeme naklinde ve havalandırmada, desandrilerde kömür nak-

linde kullanılacaktır. S ayrı ocak yeraltında uzunluğu 14 km'yl bulan çift ana yollarla birbirlerine bağlanacaklardır.

Arazinin jeolojisi oldukça düzenlidir. En üstte 20 m. kalınlığında kil ve kum karışımı bir tabaka, onun altında da kalınlığı yer yer değişen şu tabakalar alt alta sıralanmaktadır;

Bunter Kumtaşı	80-330 m
Üst Permlen Marn	32-46 m
Üst Magnezyumlu Kireçtaşı	20-30 m

Orta Permien Marn	33-52 m	Tabakalar kuzey - doğuya doğru 4° eğimle dalarlar. Yapılan hidrojeolojik testlerden Bunter Kumtaşı ile Alt Magnezyumlu Kireçtaşı'nda yüksek miktarda suya tesadüf olunacağı anlaşılmıştır (Çizelge 1).
Alt Magnezyumlu Kireçtaşı	60 -120 m	
Alt Permien Mam	1 - 2 m	
Bazal Kum	0-8.5 m	
Karbonifer Tabakası	120-620 m	

Çizelge 1, Bazı Tabakaların Geçirimsizliği ve Su Geliri

Tabakalar	Geçirgenlik m/dak.	85 m çaplı kuyunun her 10 m derinliği için gelecek su miktarı lt/dak.
Bunter Kumtaşı	6x10-6x10	9000
Üst Mg'lu Kireçtaşı	2x10	9-18
Kireçtaşı		
Yukarı alt Mg'lu Kireçtaşı	1x10	0-4.5
Aşağı Alt Mg'lu Kireçtaşı	2x10	36^315

Bu iki tabaka, bölgede 2 büyük su taşıyıcı (akifer) olarak daha önceden de bilinmektedir. Bunlardan Bunter Kumtaşı Selby

havzasının su gereksinimini karşılamaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Bunter Kumtaşının Fiziksel özellikleri

	Kuru	Yaş	Donmuş
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	33.3	9.8	34.3
Poisson oranı	0.25	0.28	0.29
Elastik Modulusu (GPa)	30.0	7.75	7.01
Kohezyon (MPa)		2.8	
Porozite (%)	34.3	—	—
Yoğunluk (kN/m)	23.5	24.5	24.2
Isıtal İletkenlik (J/m s CJ)	2.0	1.5	2.42
Özgül ısı (J/kg CJ)	1.08	1.08	1.08

Yapılan hesaplamalara göre şerbet enjeksiyon yönteminin bu İki sulu formasyonu geçerken ekonomik olacağı saptanmasına karşın Bunter Kumtaşı akifer (su to sir) suyunun kimyasal olarak kirlenebileceği kuşkusuyla yeraltı suyunu dondurma yönteminin kullanılmasına karar verildi. Alt magnezyumlu kireçtaşında işe kazı duvarlılığı şerbet enjeksiyon yöntemi ile sağlanacaktı (13). Ayrıca desandriter bazal permien kum tabakasını geçerken yeraltı suyu dondurma yönteminin kullanılmasına karar verildi (6).

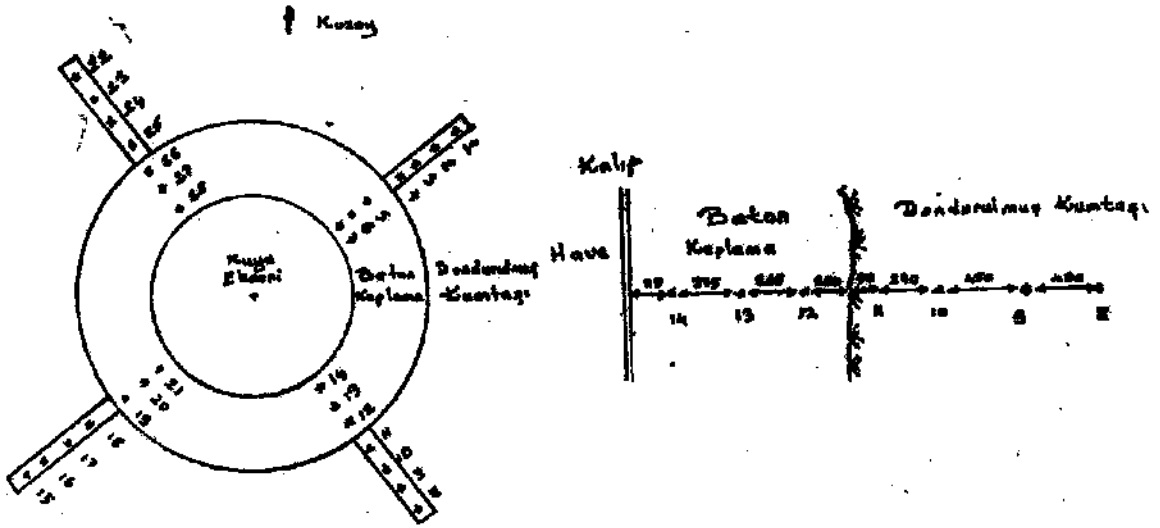
#### 4.1. Dondurulacak Duvarın Kalınlığının Hesabı ve Deliklerin Açımı

Duvarı etkin olacak gerilimler arazi ve su basıncının ortaklaşa etkisinden kaynaklanır. Bu iki basınç altında dondurulacak duvarın kalınlığı duvarı oluşturan malzemenin elastik ya da elasto - plastik oluşuna göre daha önceki bölümde verilen formüller yardımıyla kolaylıkla hesaplanabilir. Selby'de buz duvar kalınlığı dondurma İşlemini yapan firmanın kendi formülü ile hesaplandı. Daha sonra bu sonuçlar Domke'nin formülü ile elde edilenlerle karşılaştırıldı (13). Duvarın kalınlığı 4 m idi. Bu kalınlıkta duvarı oluşturmak için her kuyu çevresine 1.33-1.46 m aralıklarla 30 - 33 adet delik delindi. Bu delikler 250 metreye kadar Kör Delme (blind

drilling) denen yöntemle delindi. Delik boyu 250 metreyi aştığı takdirde deliklerde oluşan sapmayı gidermek için düzeltici delik açma yöntemi uygulandı (corrective drilling). Bu yöntemde boru takımının ucuna takılı ve sondaj çamuru ile çalışan bir motor sayesinde delme işlemi yapıldı. Delikler açıldıktan sonra delik dibi dondurulacak tabakanın alt seviyesine kadar çimentoyle enjekte edilir. Boru takımı iki gruptur; dış borular, İç borular. Bunlardan dış borular her zaman çeliktendir, iç borular ise önceleri çelikten olmalarına karşın son zamanlarda plastikendir. Yalnız plastik boruların özgül ağırlığı yüksek olan sıvılar içinde yüzmesini önlemek üzere boru takımının ucuna bir ya da birkaç tane birbirine geçmeli çelik borular takılır. Selby'deki uygulamada bu tür iç borular kullanıldı.

#### 4\*2, ölçmeler

Oluşturulan buz duvarın kalınlığını ve sıcaklığını gözlemek üzere dondurma borularının dışında 1 ve 2 metre aralıkla 2 adet sondaj deliği açıldı. Her iki deliğe 10 aradetten olmak üzere stratejik noktalarda sıcaklık ölçerler yerleştirildi. Bu gözlem amacıyla açılan delikler dondurma işleminin kontrolü açısından oldukça önemlidir.

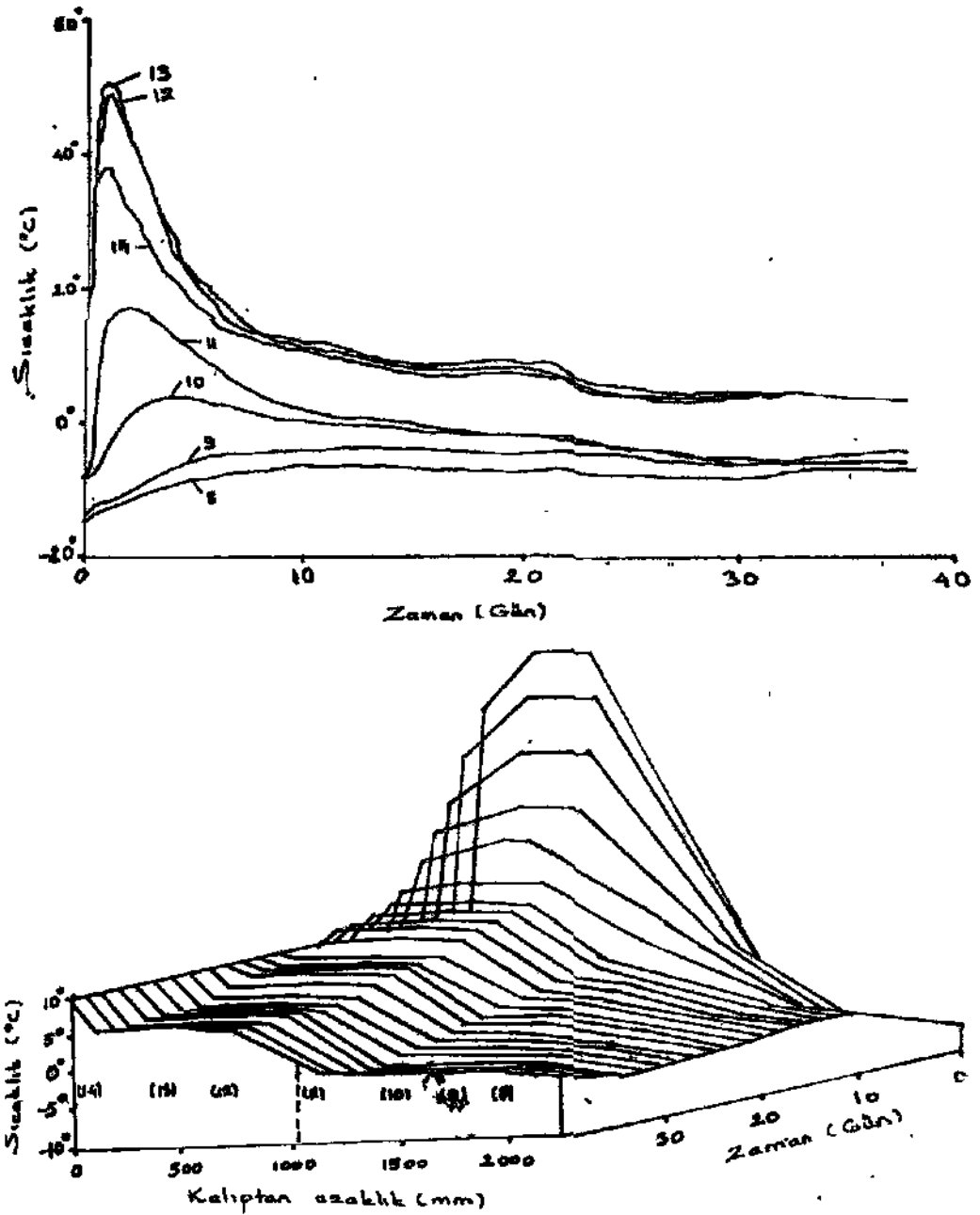


Şekil 7. Sıcaklık Ölçerlerin yerleştirilme planı (Whitemoor 2 Nolo Kuyu, 254. metre)



Soğutma maddesinin birine giriş ve dönüş sıcaklıklarını ölçmek üzere her deliğe iki tane sıcaklık ölçer yerleştirildi. Diğer bir hususta soğutma maddesinin delik içindeki akış hızının ölçümüdür. Bunu ölçmek içinde değişik noktalara yerleştirilmiş akış hızı ölçerler kullanıldı. Buna ek olarak aynı şeyi ölçmek üzere ultrasonik akış hızı ölçerler kullanıldı. Yeraltı suyunu dondurma yönteminin be-

tonun rotre olayını engellediği ya da en azından geciktirdiği hususunda birtakım önermeler Heri sürülmüştür. Setoydekl kuyularda bu hususu araştırmak üzere dondurulan duvar ve bitişik dökülen beton kaplama içinde sıcaklık ölçümleri yapılmasına karar verildi. Bunun İçinde Kuzey Seiby ve Whitemoor kuyularında sıcaklık ölçümleri yapıldı (1, 4, 5), (Şekil 7, 8). Elde edilen sonuçlara göre betonun sıcaklığı



Şekil 8. Whitemoor 2 nola kuyunun 254. metresinde betonun rotresi sırasında betonda ve dondurulmuş kumUşında oluşan sıcaklık değişimleri.

betonun dökümünü izleyen ilk kO gün içerisinde rotre olayım durduracak sıcaklığın üzerinde kaldığı saptandı. BU nedenle yeraltı suyunu dondurma yönteminin rotre olayını engellemediği dolayısıyla dayanımını düşürmediği sonucuna varabiliriz. Yalnız yazarlar burada kullanılan çimento tipinin ve kaplama kalınlığının önemli olduğunu vurgulamak isterler. Yukarıda belirtilen ölçmelerin yapıldığı yerlerde kaplama kalınlığı ortalama 80 cm ve kullanılan çimentoda çabuk sertleşen çimento çeşitliydi.

#### 4.3. Soğutma Tesisleri

Soğutma tesisleri bir kuyuyu sahasından diğerine rahatlıkla taşınabilmek üzere paket ünitelerden oluşturulmuş ve her ünite aşağıdaki numara ve harflerle sembolize edilmiştir (13).

6VQC : 8VQC : H : HX ve GRC

Ünitelerdeki numaralar silindir sayısını, V harfi silindir konum şeklini, Q imalatçı tip numarasını ve C de birleşik makineler olduğunu gösterir, H ve HX lerde H harfi, kontraktör Holima'yı ve Kompresör İmalatçısı Howden'i gösterir GRC ise Grasso firmasını temsil eder. H ve HX kompresörleri vida tipi kompresörlerdir. X fazlaştınlmış motor gücünü göstermektedir, H ve HX tipleri dışındaki bütün paket üniteler elektrik motoru, startör, kompresör, buharlaştırıcı, yağ pompaları, yüksek basınç vaifleri, ölçerler ve superfeed kazanlarından oluşur. Soğutma maddesi olarak Anhydrous Ammonia kullanıldı. Bunun seçilmesine neden sızıntı halinde koku verdiği için farkedilir olmasıydı.. Soğutucu maddenin sıcaklığı  $-20^{\circ}\text{C}$  civarındaydı.

Dondurulma işleminin ilk evresi yeraltından büyük miktarda ısı çıkarılmasını gerektirir. Bu evrede tesis tam kapasite çalışır. Selby'de kullanılan her bir tesisin kapasitesi yaklaşık 2 872 800 kcal/gün idi. Dondurulacak tabakanın derinliği arttıkça dondurma için gerekli sürede artmaktadır (Kuyularda yapılan dondurma işlemi ile il-

gili detaylı bilgiler için Çizelge 3'e bakınız).

Dondurma işlemi tamamlandıktan sonra kullanılan boruları tekrar kullanmak için çıkarma işlemi başlar. Bunun için, genellikle, ya boru takımı içinde sıcak bir sıvı dolaştırılarak borular çevresindeki donmuş kısım eritilir ya da yeraltının doğal olarak ısınması ve buz duvarın kendiliğinden çözülmesi beklenebilir. Daha sonra borular normal yöntemle çıkarılır. Bazı durumlarda boru takımı çevreden zarar görmüşse boruların çıkarılmasından vazgeçilir. Bu taktirde borular patlayıcı madde kullanılarak değişik noktalardan delinerek deliğe çimento enjekte edilir Selby'de her iki tür yöntemde kullanılmıştır

#### 5. SONUÇLAR

Yeraltı suyu dondurma yöntemi, sulu zeminler ve su taşırılar (akiferler) içinde açılacak olan kuyularda kazının hızla ve emniyetli bir şekilde yapılabilmesi için kazı duraylılığını sağlamada kullanılan en iyi yöntemlerden biridir.

Diğer yöntemlere kıyasla yüzeydeki yapılarla ve kuyuyu çevreleyen kaya ya da zeminde en az zarar veren bir yöntem olarak kabul edilir. Bu yöntem dünya çapında özellikle İngiltere, Polonya, Almanya, SSCB ve Amerika Birleşik Devletlerinde sulu formasyonları geçen maden kuyularının açımında en çok kullanılan bir yöntemdir.

Yazarlar bu yöntemin ileride yeraltı kaynaklarımızın çıkarımında açılması olası kuyuların çok sulu formasyonları geçerken kullanılma olasılığım göz önünde bulundurarak, bu yazıda kısaca bu yöntemi tanıtmayı, ana esaslarını ve kuyulara uygulamasını vermeyi amaç edinmişlerdir. Dolayısıyla bu çalışma bu yöntemin ayrıntılı bir tasarımını vermektan çok konuya bir giriş olarak düşünülmelidir.

**ÇİZELGE 3**

Kuyu yeri	Dondurma derinliği (m)	Dondurma delik sayısı	Delikler arası mesafe (m)	Dondurma deliğinin çapı (m)	Delme başlangıç tarihi	Delme bitiş tarihi	Dondurma başlangıç tarihi	Kazıya başlamak için gerekli gün sayısı	Dondurma bitiş tarihi
Wistow No 2	148	33	1.33	14	17/3/77	25/4/77	17/6/77	44	20/7/78
Wistow No 1	273	33	1.33	14	23/4/77	8/7/77	12/9/77	93	1/2/79
Riccall No 1	253	30	1.33	14	12/12/77	13/3/78	26/4/78	78	23/9/79
Riccall No 2	253	30	1.33	14	4/3/78	23/4/78	19/6/78	110	21/11/79
Stillingfleet No 1	165	32	1.375	14	10/4/78	10/5/78	7/7/78	67	29/11/79
Stillingfleet No 2	165	30	1.46	14	9/5/78	30/5/78	16/8/78	102	14/12/79
N. Selby No 1	280	32	1.375	14	4/12/78	10/3/79	8/5/79	98	12/11/80
N. Selby No 2	280	32	1.375	14	1/3/79	17/5/79	13/7/79	139	12/1/81
Whitemoor No 1	307	32	1.375	14	23/7/79	31/10/79	21/11/79	59	12/1/81
Whitemoor No 2	307	32	1.375	14	4/11/79	21/2/80	27/3/80	89	13/4/81

## KAYNAKLAR

1. Aydan, O Shaft Lining Design and Performance at N. Selby Mine. M. Sc. Thesis, University of Newcastle upon Tyne, December, 1982.
2. Braun, B. Ground Freezing for Tunnelling in Water Bearing Soil at Dortraound, Germany. Tunnel and Tunneling, January, 1979.
3. Braun, B. Ground Freezing Application in Underground Mining Construction. 3rd Int. Syinp. Ground Freezing, Hanover, New Hampshire June, 1982.
4. Ersen, A. Design of Concrete Shaft Lining in Frozen Strata at Whitemoor mine. M. Sc. Thesis, University of Newcastle upon tyne, Jan., 1983.
5. Farmer, I.W. Altounyan, p. Temperature, Stress and Strain Measurements During and After Construction of Concrete Shaft linings in Frozen Sandstone. 3rd Int. Symp. Ground Freezing, Hanover, New hampsbire June, 1982.
8. Farmer, I.W. Tunnel lining Pressure During Ground Freezing and Thawing, Proc., 5th R.E.T.C., San Fransisco, June, 1981.
7. Jumikis, AJt. Thermal Soil Mechanics Rutgers University Press, State University, New Jersey.
8. Kamensky, R. Thermal Engineering Calculation of the Frozen Soil Watertight Cutoff of Dams, Talcing into Account the Mutual Influence of the Columns, {Russian). Gidrotefchnicheskoi Stroitel stuo; No. 4, April, 1971.
9. Klein, J. Present State of Freeze Shaft Design in Mining Symp. Strata Mechanics, Newcastle University, April, 1982.
10. Robertson, T. Some, Practical Aspects in the Development of the Selby Project. Mining Engineer, June, 1980.
- 11- Sanger, FJ. Sayles, F.H. Thermal and Rheological Computations for Artificially Frozen Ground Construction. Proe. 1 st. Int. Symp. Ground Freezing, Bochum, March, 1978.
12. Sanger, F.J. Ground Freezing in Construction. Journal of the A.S.CJE., Vol, 94, 1968.
13. Wild, W.M. Forrest, W. The Application of the Freezing Process to Ten Shafts and Two Drifts at the Selby Project. Mining Engineer, June, 1981.
14. Wilson, AJO. Stability of a Thick Ring of Grouted or Frozen Ground. Symp. Strata Mechanics, Newcastle University, April, 1982.
15. Vyalov, S.S. The Strength and Creep of Frozen Soils and Calculations for Ice - Soil Retaining Structures. (Russian) Translation 76, CRRE, 1962.