

Kuyu Beton Kaplama Kalınlığının Boyutlandırılmasına İstatistiksel Yaklaşım ve Büyük Hazırlık Projelerinde Yüksek Dayanımlı Beton Kullanımının Sağlayacağı Yararlar

Statistical Approach to Determination of Concrete Lining
Thickness of Mine Shafts and Economical Benefit of Using
High Strength Concrete in Mining Engineering Projects

Ergin ARIOĞLU (*)

ÖZET

Bu tebliğde, [3] kaynağında rapor edilen veriler için beton kuyu kaplama kalınlığı "t" ile kuyu iç çapı "D" ve derinliği "H" arasında çeşitli regresyon ifadeleri çıkartılmıştır. İstatistiksel analiz sonucunda en yüksek korelasyon katsayısı

$$t = Ae^{B(D.H)}$$

türünde regresyon bağıntısında elde edilmiştir.

Ayrıca, çalışmada yüksek dayanımlı ($> 500 \text{ kg/cm}^2$) beton karışımlarının kuyu kaplama malzemesi olarak kullanımı ile temin edilebilecek "kesit ve malzeme ekonomileri" analitik şekilde gösterilmiştir.

ABSTRACT

In this study, for design purposes a statistical analysis was carried out to obtain several regression relationships correlating concrete lining thickness of mine shaft to shaft diameter and depth by making use of data from successful concrete-supported circular shafts reported in [3]. From the analysis there is a reasonable tendency towards greater concrete lining thickness for the greater diameter and the deeper shafts.

By employing "high strength concrete" the most dramatic savings in design of mine shaft come from the reduction in concrete lining thickness and excavation volume. Also, in the case of using high strength concrete a possible benefit resulting from reduced lining thickness was illustrated numerically.

1. GİRİŞ

Çağdaş yeraltı kömür madenciliğinde, giderek zorlaşan doğal şartlar (derinlik, CH4 intişan vb) altmda gerçekleştirilen üretim faaliyetlerinin çok daha ekonomik ve rasyonel şekilde yapılabilmelerini temin etmek amacına yönelik olarak, tartışmasız benimsenen üç temel hedef vardır ve bunlar birbiriyle yalandan ilintilidirler :

- "Konsantrasyon Kavramı" bazında yüksek üretim ölçeği
- Yüksek üretkenlik performansı
- Yüksek işyeri güvenliği ve işçi sağlığı

Örneğin, 1955 yılına kadar Polonya'da bir tipik yeraltı taşkömür işletmesinin üretim ölçeği 5000 t/gün düzeyinde iken bugün gazsız koşullarda % 400 artışla 25 000 t/gün düzeyine ulaşmış durumdadır. Üretim konsantrasyonu açısından bakıldığında aynı yıllar için birim km² alandan 400 ton üretim sözkonusu iken bugün 5 0001 gibi çok yüksek boyutlarda taşkömür üretimi gerçekleştirilmektedir. Kaydedilen artış oram fevkalade büyük olup, % 1150'dir.

Genel üretkenlik büyüklüğü ise 196011 yıllarda yaklaşık 2.5 [t/yev] iken 1980li yıllarda 5 [t/yev] düzeyine ulaşmıştır.

Taşkömür madenciliğinde yukarıda kısaca belirtilen gelişmelerde yoğun "mekanizasyon" uygulamalarının yam sıra büyük hazırlıkların (Kuyu-ana kat galerileri) tahkimat sistemlerine gerek tasanm yöntemlerine' gerekse malzemenin mühendislik özelliklerine getirilen "yenilikler"inde kuşkusuz bir payı vardır. Örneğin kuyu beton kaplama kalınlığının boyutlandırılmasında radyal yükleme altmda daha gerçekçi malzeme davranışını gözetten plastik teorinin kullanımı ile "kaplama kahnhğTnı azaltmak mümkündür [1]. Daha değişik anlatımla, boyutlandırmada anılan tasanm yönetiminin uygulanmasıyla aynı jeolojik ve işletme verileri için kuyu projesinde önemli boyutta "malzeme ekonomisi" gerçekleştirilebilmektedir. Aynı zamanda kaplama kalınlığının küçülmesi kazı hacminin azalması anlamındadır. Kuşkusuz iki şekilde temin edilecek "ekonomi" fle büyük hazırlık projesinin toplam yatırımlım önemli ölçüde aşağıya çekmek mümkündür. Malzemenin mühendislik özelliklerim iyileştirmek yolu ile de sözü edilen "kazançlar" rahatlıkla temin edilebilir. [2].

Bu tebliğde; ilkin [3] kaynağında "işlenmemiş data" olarak verilen derinlik, kuyu iç çapı, ve beton kaplama kalınlığı büyüklükleri istatistiksel analiz ile değerlendirilerek anılan geometrik büyüklükler arasında kaplama kalınlığı boyutlandırılmasma yönelik çeşitli regresyon bağıntılan çıkartılmıştır. Ayrıca, bu bağıntılar yazarın [1] çalışmasında plastik teoriye dayandırılarak telif ettiği "teorik kaplama kalınlığı" formülü ile ayrıntılı bir karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise ülkemiz beton

teknolojisinde 1989-1990 döneminde ilk kez B 1000 betonu "üreten [4,5] daha sonraki yıllarda bu dayanım düzeyini 1600 kg/cm^2 [6] çıkaran "Yapı Merkezi" kuruluşunda yüksek dayanım beton üretimi konusunda oluşturulan bilgi birikiminden [7,8,9] yararlanmak suretiyle "yüksek dayanım" beton kullanımının derin maden kuyu ($H > 500 \text{ m}$) projelerinde kaplama kalınlığı boyutlandırılmasına sağlayabileceği olası "ekonomik katkılar" belirli bir ayrıntı içinde tartışılmaya açılmıştır.

2. KUYU BETON KAPLAMA KALINLIĞI BOYUTLANDIRILMASINA İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIM

2.1. Genel

İstatistiksel analizde kullanılan veriler [3, Sayfa-11] kaynağından alınmıştır. Analiz çerçevesinde beton kaplama kalınlığının boyutlandırılmasına yönelik olarak birbirinden farklı 10 adet regresyon bağıntısı denenmiştir. Çıkarılan bağıntıların geçerlilik limitleri Çizelge-1'de belirtilmiştir. Ayrıca, aynı çizelgede kullanılan regresyon modellerine ait korelasyon katsayıları toplu halde verilmek suretiyle söz konusu bağıntıların "kestirim kapasiteleri" hakkında bir fikir verilmeye çalışılmıştır.

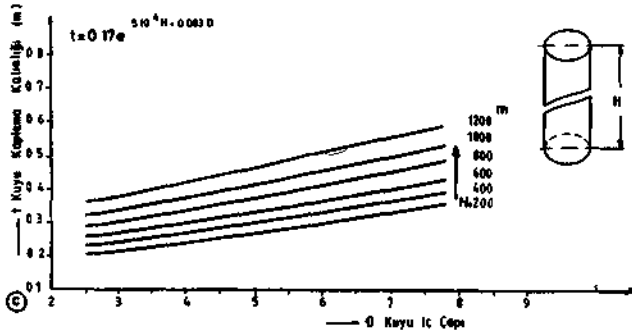
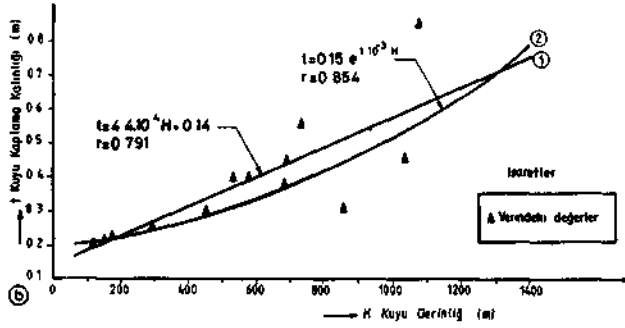
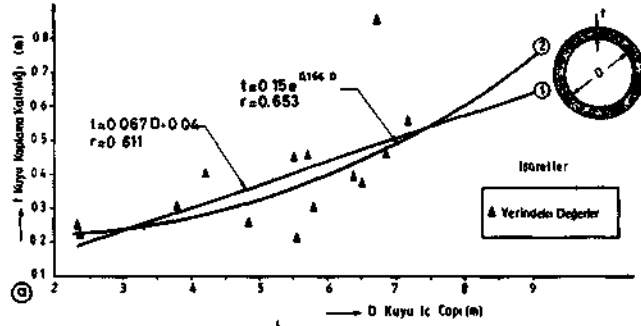
2.2. Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

İstatistiksel analiz sonuçları toplu halde Çizelge-1'de özetlenmiştir. Elde edilen regresyon bağıntılarının değişimleri ise Şekil-1-2 ve 3'de gösterilmiştir.

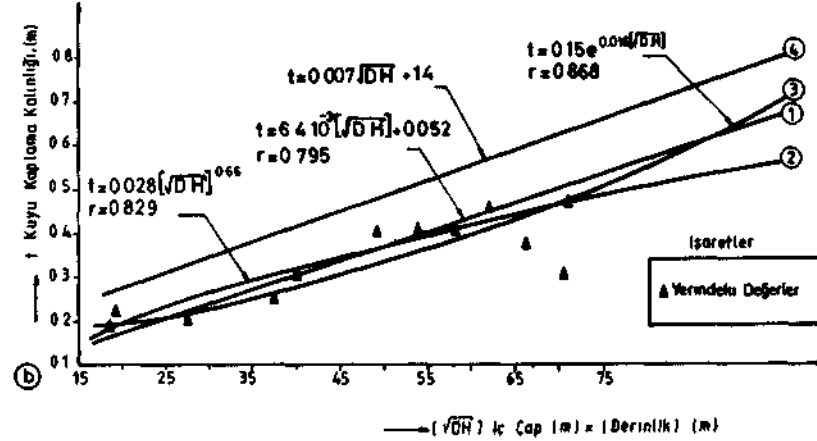
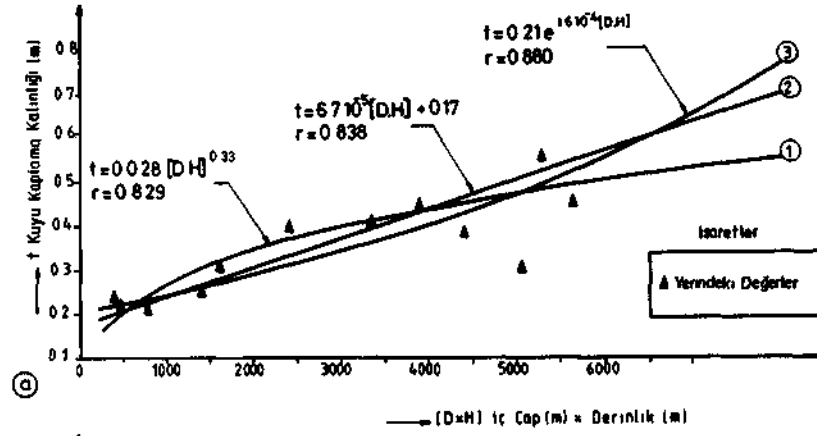
(*) Analizde kullanılan beton kaplama kalınlıklarının "Kuyu iç çapı" ve özellikle "derinlik" ile belli bir geometrik uyumu sağlamalarına özen gösterilmiştir. Örneğin, 1950-1960 kuyu teknolojisini yansıtan veriler arasında $H=450 \text{ m}$ derinlikte rapor edilen 20 cm gibi beton kaplama kalınlığı analiz dışında bırakılmıştır. Veya $H=100 \text{ m}$ gibi sığ bir derinlikte uygulanan 60 cm'lik beton kaplama kalınlığı dikkate alınmamıştır.

Çizelge -1 İstatistiksel Analizde Denenen Regresyon Bağntılan-Hesaplanan Sabiteler ve Korelasyon Katsayıları

No	Regresyon Bağntısı	A	B	C	r
1	$t = AD + B$	0.067	0.04	-	0.611
2	$t = A_1 e^{B_1 D}$	0.15	0.166	-	0.653
3	$t = AH + B$	4.4×10^{-4}	0.14	-	0.791
4	$t = A_2 e^{B_2 H}$	0.19	10^{-3}	-	0.854
5	$t = A e^{BH + CD}$	$A = (A_1 \cdot A_2)^{0.5}$ $= (0.15 \times 0.19)^{0.5}$ $= 0.17$	$B = \frac{B_2}{2}$ $i\ddot{u}^{m^3}$ $\frac{2}{5 \times 10^{-4}}$	$C = \frac{B_1}{2}$ 0.166 $\frac{2}{0.083}$	-
6	$t = A_j T > H] + B$	6.7×10^{-5}	0.17	-	0.838
7	$t = A e^{B[DH]}$	0.21	1.6×10^{-4}	-	0.880
8	$t = A/DH + B$	6.4×10^{-3}	0.052	-	0.795
9	$t = A e^{B(/DH)}$	0.15	0.016	-	0.868
10	$t = A + BH + CD$	8.8×10^{-2}	3.9×10^{-4}	1.5×10^{-2}	0.746
<p>t = Beton kaplama kalınlığı, m D= Kuyu iç çapı, m H= Kuyu derinliği, m</p>		<p>r=Korelasyon katsayısı $2.5^m \ll D \ll 7.25^m$ $100^m \ll H \ll 1100^m$</p>			



Şekil 1 Beton Kuyu Kaplama Kalınlığı ile Kuyu İç Çapı-Derinliği Arasında Çıkarılan Çeşitli İstatistiksel Bağlantılar



Şekil 2 Beton Kuyu Kaplama Kalınlığı ile [Kuyu İç Çapı * Derinlik] Büyüklüğü Arasında Elde Edilen Çeşitli İstatistiksel Bağlantılar

Çizelge ve şekiller yalandan incelendiğinde şu pratik sonuçlar ön plana çıkmaktadır :

- Beton kaplama kalınlığını kontrol eden iki geometrik boyut vardır : Kuyu iç çapı ve kuyu derinliği. Her iki geometrik faktör bağımsız olarak incelendiğinde, beton kaplama kalınlığı sözü edilen geometrik büyüklüklerin artması ile artmaktadır. (Şekil 1a-b) En yüksek korelasyon katsayısıyla sonuçlanan regresyon modeli "eksponansiyel" bağıntı olmuştur. (Çizelge-1 eşitlik 2 ve 4)
- Çap ve derinlik faktörleri birlikte değerlendirildiğinde korelasyon katsayıları seçilen modelden bağımsız olmak üzere anlamlı sayılabilecek şekilde yükselmişlerdir. Dikkat çekicidir ki en yüksek hesaplanan korelasyon katsayıları "eksponansiyel bağıntı"da bulunmuştur.

(Çizelge-1, eşitlik 7) (Şekil-1 c ve Şekil-2 a)

- Maden mühendisliği literatüründe kullanılan amprik kökenli bağıntıların en tanınmış

$$t = A / DH + B$$

Protodjakonow formülüdür [10]. Bu analizde sözü edilen ifade istatistiksel olarak araştırılmıştır. (Korelasyon katsayısı $r=0.795$ 'dir). İlginçtir ki V kuyu iç çapı x derinlik şeklinde ifade edilen "Tsiirleştirilmiş değişken" ile kuyu kaplama kalınlığı arasında çıkartılan eksponansiyel bağıntının (Çizelge-1, eşitlik 9) (Şekil -2 b) korelasyon katsayısının ($r=0.868$) (7) nolu regresyon bağıntısının korelasyon katsayısı ($r=0.880$) ile çok iyi bir uyum içindedir.

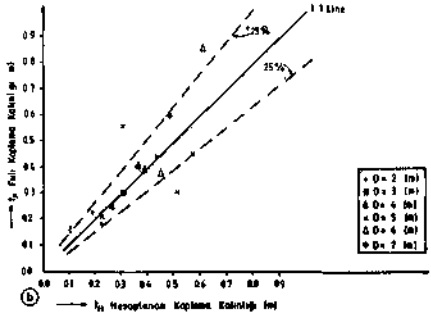
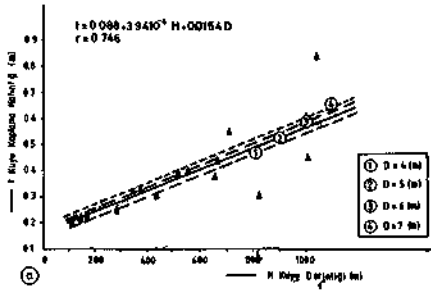
- Kaplama kalınlığı-derinlik ve kuyu iç çapı arasında çıkartılan çoklu regresyon ifadesinin (Şekil-3a) korelasyon katsayısı $r=0.746$ 'dır. Özellikle birleştirilmiş (Derinlik x kuyu iç çapı) şeklinde belirlenen bağıntıların korelasyon katsayılarından daha düşüktür. Çıkartılan çoklu lineer regresyondan (Çizelge-1 eşitlik 10) hesaplanan kuyu beton kaplama kalınlıkları uygulama değerlerinden en fazla + %25 mertebesinde farketmektedir. (Şekil-3b)

Çoklu lineer regresyon ve ProtodjakonowW bağıntılarının nümerik karşılaştırılması 1:1 doğrusu çizilmek suretiyle Şekil-4'de yapılmıştır. Açıkta ki Protodjakonow formülü aym kuyu iç çapı ve kuyu derinliği için ~ %25'den daha fazla bir "sapma" ile beton kaplama kalınlığı vermektedir.

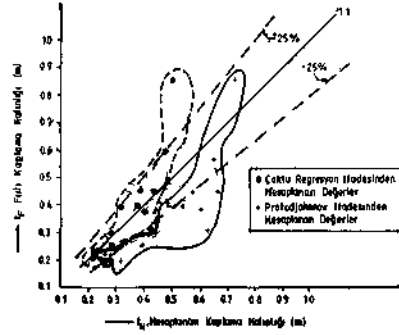
(x) Bu amprik bağıntı genellikle Protodjakonow sertlik katsayısının $f=3-8$ olduğu formasyonlarda (tek eksenli basmç dayanımları $b=300-800 \text{ kg/cm}^2$) açılan maden kuyuları için geçerlidir. Orjinal formülde :

$$t=0.007/DH + 14\text{cm}$$

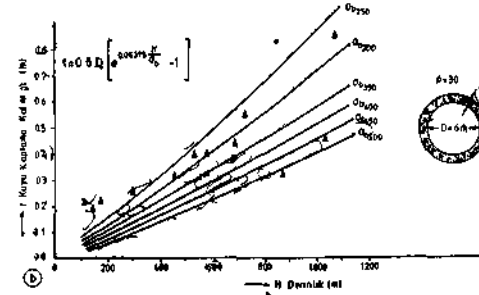
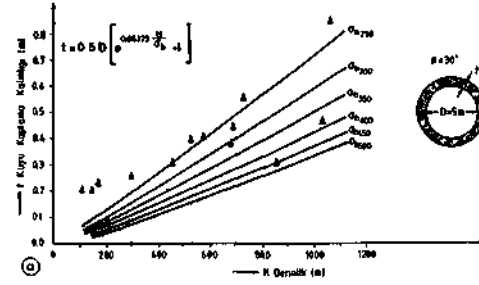
D [cm], H [cm], t [cm] birimleriyle alınacaktır.



Sekil-3 Beton Kuyu Kaplama Kalınlığı ile Kuyu İle Çapı ve Derinliği Arasında Oluşturulan Çoklu Regresyon Bağıntısı ve Filtre Kaplama Kalınlıkları İle Karşılaştırılması



Sekil-4 Çoklu Regresyon İstatistiklerinden Hesaplanan Kaplama Kalınlıklarının Protodjacobow Ampirik Bağıntısıyla Karşılaştırılması



Sekil-5 Çeşitli Zaman İçerisinde Betonun Kuruma Kalınlığı ile Uygulanmadaki Kaplama Kalınlıkları Arasındaki İlişkiyi Karşılaştırmaya İhtiyaç Duyulan Durumda (Formasyonun İstediği Sırtınma Açısı $\phi = 30^\circ$ Alınmıştır)

En yüksek korelasyon katsayısı ($r = 0.880$) elde edilen 7 nolu regresyon bağıntısının (çizelge-1) "anlamlılık testi" aşağıda hesaplanmıştır :

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = \frac{0.880\sqrt{13-2}}{\sqrt{1-(0.880)^2}} = 6.145 > t_{0.005, 13-1-1=11} = 3.11$$

Data sayısı $n = 13$

Bağımsız değişken sayısı $k = 1$

Serbestlik derecesi $sf = n-k-1 = 13-1-1 = 11$

olduğundan sözkosunu regresyon bağıntısı %1 düzeyinde "anlamlı"dır. (%1 düzeyinde bir "anlamlılık" seçilen modelin "çok anlamlı" olduğuna işaret etmektedir.)

Aynı şekilde çoklu lineer regresyon ifadesinin (10 nolu ifade)

"anlamlılık testi" burada yapılmıştır :

$$t = \frac{0.746\sqrt{13-2}}{\sqrt{1-(0.746)^2}} = 3.716 > t_{0.005, 13-2-1=10} = 3.17$$

elde edildiğinden incelenen regresyon modeli de % 1 düzeyinde "anlamlı"dır.

3. PLASTİK TEORİYE DAYANDIRILAN TEORİK BETON KAPLAMA KALINLIĞININ UYGULAMA SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, [1] kaynağında ayrıntıları açıklanan plastik teoriye dayandırılan beton kuyu kaplamaları içsel sürtünme açısı $0 = 30^\circ$ ve kuyu iç çapı $D = 5 \text{ m} - D = 6 \text{ m}$ için hesaplanmış ve bulunan sonuçlar [3] kaynağında rapor edilen başarılı kaplama kalınlıkları ile karşılaştırılması yapılmıştır. (Şekil - 5 a ve b) söz edilen nümerik analizde beton kaplama kalınlıkları

$$t = r_1 \left[\begin{array}{c} 2.04 \frac{P}{\sigma_b} \\ e \\ -1 \end{array} \right] \quad (11)$$

formülünden hesaplanmıştır [11]. Burada kullanılan sembollerin anlamları şunlardır :

t = Beton kaplama kalınlığı, m

r_i = Kuyu iç çapı, m

P = Kuyu kaplamasına etki eden radyal iksa basıncı, kg/cm²

d_{jj} = Kaplamada kullanılacak betonun 28 günlük basınç dayanımı, kg/cm²

Kuyu kaplamasına etkiyecek olası üniform-radyal basıncın büyüklüğü ise Labasse yaklaşımından kestirilmiştir [11].

$$P = 0.1 \frac{\gamma \cdot H}{M-1} (1 - \sin \theta) \quad (12a)$$

$$P = 0.0625 H (1 - \sin \theta), \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (12b)$$

Burada; γ geçilen formasyonların "kalınlık bazında" hesaplanan ağırlıklı ortalama yoğunluğu $\gamma = 2.5 \text{ t/m}^3$, $m =$ Poisson sayısı tortul kökenli kayalar için $m = 5$, $H =$ derinlik, m ve θ ise kuyunun kestiği formasyonların "kalınlık bazında" hesaplanmış ağırlıklı ortalama içsel sürtünme açısını gösterir.

11 nolu formülün çeşitli beton dayanım düzeyleri ve $\theta = 30^\circ$ ve $D = 5 \text{ m}$ değerleri için değişimleri $t = f(H, \sigma_b)$ Şekil-5a'da çizilmiştir. Şekil-5b'de ise $\theta = 30^\circ$ ve $D = 6 \text{ m}$ büyüklükleri için anılan kaplama kalınlığı formülünün değişimleri $t = f(H, \sigma_b)$ görülmektedir. Karşılaştırma amacına yönelik olmak üzere uygulama dataları aynı şekiller üzerinde işlenmiştir. Özellikle Şekil-5a'dan izleneceği üzere $H = 250 - 700 \text{ m}$ kuyu derinliği aralığında $\sigma_b = 250 - 300 \text{ kg/cm}^2$ lik dayanım düzeyleri için teorik kaplama kalınlıkları uygulanan kaplama kalınlıkları ile iyi bir uyum sergilemektedir. Analizde kullanılan dataların 1950 -1960 yıllarının kuyu teknolojisini dolayısıyla aynı dönem beton teknolojisini (bu dönemde yaygın dayanım düzeyleri $\sigma_b = 250 - 300 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 'dir) yansıtacağı gözönünde tutulursa sözü edilen uyumun pek tesadüfi olmadığı ortadadır. $\theta = 30^\circ$ ve $D = 6 \text{ m}$ lik kuyu iç çapı için teorik kaplama kalınlıklarının uygulama sonuçları ile uyumları yaygın olarak 350 kg/cm^2 lik beton dayanım düzeyinde sağlandığı keza Şekil-5-b'den farkedilmektedir.

4. YÜKSEK DAYANIMLI BETON KULLANIMININ KUYU KAPLAMA BOYUTLANDIRILMASINA ETKİSİ

Yüksek dayanımlı betona ilişkin mühendislik özellikleri yerli teknik literatürümüzde [6,7,8,9,12] rapor edildiğinden bu bilgilere burada yer verilmeyecektir.

Bu çalışmanın çerçevesinde yüksek dayanımlı ($\sigma > 500 \text{ kg/cm}^2$) beton kullanımının kuyu kaplama kalınlığında sağlayabileceği potansiyel ekonomik kazanç belirli bir ayrıntı içinde gösterilmeye çalışılmıştır.

Yüksek dayanımlı betonun örneğin maden kuyu projelerinde kullanımı durumunda şu net yararlar sözkonusudur :

- Kaplama kalınlığı azalır.
- Kaplama boyutunun azalması sonucunda birim kuyu derinliği için kazı hacmi önemli ölçüde azalır.
- Özellikle uzun servis ömrüne (30-50 yıl) sahip kuyularda kaplama malzemenin dayanıklılığı fevkalade önemlidir. Yüksek dayanımlı betonların her türlü kimyasal etkilere karşı fevkalade dayanıklı olması nedeniyle kuyunun "tamir+bakım" masrafları da minimum düzeyde olacaktır.

Burada, sadece kaplama kalınlığının azalması sonucunda çeşitli dayanım düzeyleri için gerçekleştirilebilecek potansiyel "malzeme ekonomisi" hesaplanmıştır. Ekonomiklik analizinde konu olan yüksek dayanımlı beton karışımlarına^(*) ilişkin malzeme (çimento+silica fume+kaba ve ince agrega+süper akışkanlaştırıcı) miktarları Ek-Çizelge-1'de ve birim hacim-kuyu derinliği için hesaplanan toplam beton maliyetleri ise Çizelge-2'de belirtilmiştir.

Çizelge-2 yalından incelendiğinde şu pratik sonuçlar gözle çarpılmaktadır :

- Beton dayanım düzeyinin artması ile kuyu kaplama kalınlığı önemli ölçüde azalmaktadır. Örneğin dayanım düzeyinin $\sigma_b = 500 \text{ kg/cm}^2$ 'den 900 kg/cm^2 'ye yükseltilmesiyle kaplama kalınlığı %45 oranında azalmaktadır.

(*) 500 kg/cm^2 değerindeki 28 günlük basınç dayanma (silindir numune) "su/çimento" oram (ağırlıkça) $\alpha = 0.4$ 'te, 750 ve 900 kg/cm^2 dayanım düzeyleri ise su/çimento oram $\alpha = 0.33$ 'de ve sırasıyla $\beta = \%10$ ve 15 (ağırlıkça) silica fume ilavelerinde rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. [14] kaynağında rapor edilen [P-9, Fig-2.6] deneysel karışım dataları da bu belirlemeleri desteklemektedir.

ÇİZELGE-2 Çeşitli Yüksek Dayanım Düzeyleri İçin Kullanılacak Beton Karışım Bileşenleri ve Birim [m³] - Birim Kuyu Derinliği [m] İçin Beton Maliyetleri

σ_b (kg/cm ²)	Kaplanma Kalınlığı t(m)	Beton Hacmi Vb (m ³ /m)	Çimento	Silica Fume	İrt Agrega	İnce Agrega	Katkı Maddesi	Beton Maliyeti (TL/m ³)	Birim Kuyu Derinliği İçin Beton Maliyeti (TL/m)
500	0.55	14.765	400 kg/m ³ x 370 TL/kg = 148 000 TL/m ³		1350 kg/m ³ x 36 TL/kg = 48 600 TL/m ³	550 kg/m ³ x 29.5 TL/kg = 16 225 TL/m ³	4 kg/m ³ x 6840 TL/kg = 27 360 TL/m ³	240 185	3 546 332
750	0.35	9.176	410 kg/m ³ x 370 TL/kg = 151 700 TL/m ³	41 kg/m ³ x 850 TL/kg = 34 850 TL/m ³	1390 kg/m ³ x 36 TL/kg = 50 040 TL/m ³	485 kg/m ³ x 29.5 TL/kg = 14 308 TL/m ³	5.41 kg/m ³ x 6840 TL/kg = 37 004 TL/m ³	287 902	2 641 789
900	0.30	7.818	410 kg/m ³ x 370 TL/kg = 151 700 TL/m ³	60 kg/m ³ x 850 TL/kg = 51 000 TL/m ³	1380 kg/m ³ x 36 TL/kg = 49 680 TL/m ³	450 kg/m ³ x 29.5 TL/kg = 13 275 TL/m ³	5.64 kg/m ³ x 6840 TL/kg = 38 578 TL/m ³	304 233	2 378 494

(x) Kuyu iç çapı D=8 m, Kuyu derinliği H= 1000 m, İçsel sürtünme açısı $\phi = 30^\circ$ kabul edilmiştir.

Not = Fiyatlar sadece alım ve nakliye şartlarını içermektedir. Buradaki fiyatlar yerel piyasa koşullarıyla yakından ilintilidir.

- Yukarıdaki sonuca ilintili olarak azalan kaplama kalınlığı ile birim kuyu derinliği için toplam beton maliyeti büyük çapta azalmaktadır. Diğer kelimelerle "malzeme ekonomisi" temin edilmektedir. Örneğin; dayanım düzeyinin 500 kg/cm²'den 750 kg/cm²'ye çıkartılması sonucunda birim kuyu derinliği basma potansiyel parasal kazanç 904 000 TL mertebesinde hesaplanmaktadır. Başka bir deyişle, maliyette temin edilebilecek potansiyel tasarrufun boyutu %25 oranındadır. (Kuşkusuz azalan kazı hacminden dolayı sağlanacak tasarrufun eklenmesiyle anılan kazancın boyutu daha da büyüyecektir.)

5. SONUÇLAR

Bu çalışma çerçevesinde incelenen konulardan çıkartılan bellibaşlı sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Beton kuyu kaplama kalınlığını "t" ile kuyu iç çapı "D" ve derinliği "H" arasında %1 anlamlılık düzeyinde

$$t = Ae^{B(DH)}$$

türünde regresyon bağıntısı bulunmuştur. (Çizelge-1 ve Şekil-2a).

- Maden Mühendisliği literatüründe beton kaplama kalınlığının hesabında kullanılan amprik kökenli Protodja konow formülü aynı kuyu içi çapı ve derinlik değerleri için pratikte uygulanmış beton kaplama kalınlıklarından daha büyük değerler vermektedir (Şekil -2b).
- Plastik teoriye dayandırılan teorik beton kaplama kalınlığı formülünün sonuçları içsel sürtünme açısı $\theta = 30^\circ$ ve kuyu içi çapı 5 ve 6 m değerleri için - özellikle 250-300 kg/cm²'lik 28 günlük beton dayanım düzeylerinde pratikte kullanılan kaplama kalınlıklarıyla oldukça iyi bir uyum içindedirler. (Şekil - 5 a ve b).
- Yüksek dayanımlı ($f_c > 500 \text{ kg/cm}^2$) betonun maden kuyu ve galeri projelerinde kullanımı ile önemli boyutta "kesit ve malzeme ekonomisi gerçekleştirilebilir. Kuyu iç çapı D=8 m, derinlik H= 1000 m ve içsel sürtünme açısı $\theta = 30^\circ$ büyüklükleri için beton dayanım düzeyinin $f_c = 500 \text{ kg/cm}^2$ 'den $f_c = 900 \text{ kg/cm}^2$ 'e yükseltilemem durumunda birim kuyu derinliği basma sadece malzeme ekonomisinden kaynaklanan potansiyel parasal kazanç yaklaşık 904000 TL'dir. (Çizelge-3) Azalan kesit boyutu ile temin edilen kazı hacmindeki "ekonomi", proje süresinin kısılması

sonucunda gözlenecek "genel ekonomide bu kazanca dahil edildiğinde proje bazında fevkalade anlamlı bir "kazanç" sözkonusudur.

TEŞEKKÜR

Tebliğin yazar, çalışmanın regresyon analizlerinde yoğun emekleri geçen tez öğrencisi N. TOKGÖZ'e beton maliyet hesaplarındaki ilgi ve katkılarından ötürü Y.Müh. CMANZAK'a burada teşekkür eder.

Yazar, Türk Beton Teknolojisine ilk kez (1989) B1000 ($c_{r,c} = 1000 \text{ kg/cm}^2$) kavramını getiren ve üretimini gerçekleştiren, daha sonra ülke genelinde yaygınlaştırılmasında öncü olan Yapı Merkezi Yönetim Kurulu Başkanı Dr.Müh.Ersün ARIOĞULLU'ya konuya yaptıkları akademik katkıları nedeniyle ayrıca teşekkür etmek ister.

KAYNAKLAR:

1. ARIOĞLU, Ergin, Maden Kuyusu kaplama kalınlığının Boyutlandırılmasına Rasyonel Bir Yaklaşım, 7. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 1982, s 365-383.
2. ARIOĞLU, Ergin, Yüksek Mukavemetli Çelik Kullanımının Rijit Tahkimat Sistemlerinin Boyutlandırılmasına Etkisi, 2.Türkiye Kömür Kongresi, Zonguldak, 1980 s 231-250.
3. CORNISH, E., Vertical Shafts, Mineral Industries Bulletin Research Foundation, Inc., Colorado School of Mines, Vol. 10, No.5, September, 1967, pp. 1-23.
4. _____, Yapı Merkezi "Beton 1000"i üretti, Barometre, İstanbul, 4.12.1989.
5. _____, Yapı Merkezi "Beton 1200"ü de üretti, İnşaat Dergisi, Şubat 1990, Sayfa 9.
6. ARIOĞLU, Erdem, Yüksek Mukavemetli Betonlar, Yapı Merkezi, Bilgi-Belge Arşivi, Çamlıca, Temmuz, 1991.
7. YAPI MERKEZİ, B 1000 Araştırma Proje Deneylerinin Değerlendirme Raporu, Yapı Merkezi, Bilgi-Belge Arşivi, No:YMR-547, Çamlıca, 1991.

8. **ARIOĞLU, Ergin, MANZAK, O.**, Türk Beton Teknolojisinde Yeni Madde : Silis Dumani, Dünya Ekonomi, 26.3.1991, İstanbul.
9. **ARIOĞLU, Erdem, ARIOĞLU Ergin**, Yüksek Dayanımlı Betonların Bünyesel Davranış Parametreleri Üzerine Bir Araştırma, Türkiye İnşaat Mühendisliği XI. Teknik Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, İMO İstanbul Şubesi, 8-11 Ekim 1991, İstanbul.
10. **ARIOĞLU, Ergin**, Maden Kuyularının Kaplamalarına Gelen Radyal Basıncın Hesabı ve Kaplama Kalınlığının Tesbiti, İ.T.Ü Dergisi, Cilt 28, Sayı 3, 1970, s 36-41
11. **LABASSE, H.**, Rock Pressures Around Shafts Lecture Notes, 1963.
12. _____, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 2. Ulusal Beton Kongresi, "Yüksek Dayanımlı Beton", Bildiriler Kitabı, 27-30 Mayıs 1991, İstanbul.
13. **FIB-CEB**, High Strength Concrete, State of the Art Report, Bulletin d'Information, No= 197, Comité Euro-International du Beton, London, August-1990.
14. **DODSON, V.**, Concrete Admixtures, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
15. **JERATSH, S., RABBANI, LS.**, Computer- Aided Concrete Mix Propoortmg, ACI Journal, Proceeding V.80, No.4, July-August, 1983, pp 312-317.
16. **GJORV, O.E.**, High Strength Concrete, Report, BLM 91.601 Division of Building Materials, The University of Trondheim, Norway, 1991.
17. **ARIOĞLU, Ergin**, Yeraltında Pompalanabilir Beton Karışımının Tasarım Esasları, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik S Kongresi, Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 1977.
18. **AULD, FA.**, Concrete In Shafts and Tunnels: Part.2, Concrete, July 1983, pp 35-36.
19. _____, Melment, Teknik Bülten, Yapkim Yapı Kimya Sanayi A.Ş, İstanbul.
20. **ARIOĞLU, Ergin**, Analysis of The Concrete Strength Versus Water-Cement Ratio Relationship, Paper By Sandor Popovics, Discussion, ACI Materials Journal, September-October 1991, pp 583-584.

EK: YÜKSEK DAYANIMU BETON KARIŞIM BİLEŞENLERİ HAKKINDA KISA AÇIKLAMALAR

Çimento: "PÇ400" porüand çimentosu olup minimum kullanım dozajı 400 kg/m³dür.

Karışım suyu : Maksimum agrega çapı $D_{\text{mak}}=20$ mm ve çökme $\Delta=150$ mm(x) değerleri için

$$M_{\text{su}} = \frac{2.18.8 \cdot \Delta^{0.1}}{D_{\text{mak}}^{0.18}} = \frac{218.8(150)^{0.1}}{(20)^{0.18}} = 210 \text{ kg/m}^3$$

mertebesindedir [15]. Bu büyüklük "katkısız" beton karışımlarına karşı gelmektedir.

Silica fume : Basınç dayanımını yükseltmek [7,8,14,16] amacıyla yönelik olarak $f_c=750$ ve 900 kg/cm^2 dayanım düzeyinde karışımlarda silica fume (mineral katkı maddesi) kullanım oranları sırasıyla çimento ağırlığına %10 ve 20 alınmıştır. (Bakınız Ek-Çizelge-1)

Superakışkandırıcı katkı maddesi : Yukarıda hesaplanan karışım su miktarı dikkate alındığında $a = \text{su/çimento oranı}$

$$\alpha = \frac{210 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{400 \text{ (kg/m}^3\text{)}} = 0.525$$

olmaktadır.

(x) Kuyu projelerinde beton kıvamının ölçüsü olarak çökme değeri $H = 1000$ m derinlik için

$$\Delta = (7.5 \sqrt[3]{2.5}) \text{ cm} + \frac{H}{300} \times 2.5 \text{ (cm)} = (7.5 \sqrt[3]{2.5}) \text{ cm} + \frac{1000}{300} \times 2.5 = 13 \text{ cm ila}$$

18cm aralığında olmalıdır. [17,18]. Bu analizde $A = 15$ cm kabul edilmiştir.

EK ÇİZELGE 1: ÇEŞİTLİ BASINÇ DAYANIM DÜZEYLERİ İÇİN TEORİK KARIŞIM BİLEŞENLERİ MİKTARLARI

Bileşenler [kg/m ³]	$\sigma_b^{(x)}$ b = 500 [kg/cm ²]	750 [kg/cm ²]	900 [kg/cm ²]
M _ç	400	410	410
M _{sf}	-	41	60
M _{su}	160	150	155
M _{ak}	1350	1390	1380
M _i	550	485	450
$\alpha = \frac{M_{su}}{M_{ç}}$	0.4	0.365	0.375
$\beta = \frac{M_{sf}}{M_{ç}} \times 100$	-	10	14.6
M _a	4(x)	5.41(xx)	5.64(xxx)

M_ç = Çimento dozajı, M_{sf}=Silica fume miktarı, M_{su}= Karışım suyu miktarı
M_{a,k} = Kaba agrega miktarı, M_i= İnce agrega miktarı, M_a=Superakışkanlaştırıcı miktarı, α =su/çimento oranı, β = silica fume kullanım oranı (ağırlıkça)
(x) ϕ 15/30 silindir nümünelere ait 28 günlük dayanımlar 10x10x10cm numuneler için dayanımlar "1,2" ile çarpılmadır.
(xx) Çimento ağırlığının % 1'i
(xxx) (Çimento+Silica fume) ağırlığının % 1.2'si silica fume nedeniyle süper akışkanlaştırıcı kullanım dozajı arttırılmıştır. [13]

Hesaplanan " a " oranını iki açıdan küçültmek gerekmektedir.

- Maden kuyu projelerinde kullanılacak beton karışımlarının a = (su/çimento) oram " sülfat etkisine dayanıklılık" bakımından en fazla 0.5 olmalıdır. (Özellikle uzun ömürlü kuyularda "sülfat dayanıklılığı" fevkelade önem kazanır.) [17].
- İstenen basmç dayanım düzeylerim sağlamak bakımından da "su/çimento" oram elverdiği ölçüde 0.5'den küçük olması gerekmektedir.

Gerek A = 150 mm'hk gibi bir "akıcı kıvamı" sağlamak gerekse 500-900 kg/cm², gibi yüksek basmç dayanım düzeylerini beton karışımlarında gerçekleştirmek için, karışımlara "süperakışkanlaştırıcı" katkı maddesi ilave edilmelidir. Betonun dayanım ve diğer özelliklerini (çökme) etkilemeksizin süperakışkanlaştırıcı ilavesi ile beton karışım suyu % 25-30 arasında azaltılabilir [14. 19]. Bir ön yaklaşım değeri olarak %30 oram kabul edildiğinde katkılı betonlar için karışım suyu miktarı

$$M_{su} = 0.70 \times 210 = 147 \text{ kg/cm}^3$$

olmaktadır. Uygulamada süperakışkanlaştırıcının kullanım oram (çimento+silica fume) ağırlığının % 1-4.5 kadar alınmaktadır. Hatırlatılmalıdır ki silica fume ilavesiyle karışımın inceliği önemli ölçüde artmaktadır ve bu nedenle de aynı çökme değeri için karışım su ihtiyası artmaktadır. Süperakışkanlaştırıcının "dağıtıcı" özelliği ile bu su ihtiyacı dengelemeye çalışılır. Deneme karışımlarında istenen çökme ve basmç dayanım büyüklüklerine göre süperakışkanlaştırıcının kullanım dozajı gerçekçi şekilde belirlenmelidir. Ayrıca, karışım ekonomisi bakımından da kullanım dozajının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Tasarımda karışım ekonomisini temin etmek bakımından "dayanım/çimento+silica fume" ölçütünün maksimum olmasına [20] özen gösterilmelidir. Bu amaca yönelik olarak ta dayanım = j (çimento - silica fume miktar, su/çimento oram vb) fonksiyonu verilen agreganın granülometrisi ve istenen kıvam (çökme) için belirlenmesi gerekmektedir.

