

## **TÜNELLERDE PÜSKÜRTME BETONUN MEKANİK BÜYÜKLÜKLERİ VE KALİTE KONTROL İLKELERİ**

### **MECHANICAL CHARACTERISTICS AND QUALITY-CONTROL PROCEDURES OF SPRAYED CONCRETE IN TUNNELS**

**Dr.Müh. Canan GİRGİN** Yapı Merkezi, AR-GE Bölümü, Çamlıca, 81180, İstanbul  
**Y.Müh. Ali YÜKSEL** Yapı Merkezi, İzmir Metro İnşaatı, Konak  
**Prof.Dr.Müh.Ergin ARIOĞLU** İ.T.Ü Maden Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

#### **ÖZET**

Bu çalışmada, tünel mühendisliğinde püskürtme betonun tasarımına yönelik mekanik büyüklüklerden basınç ve eğilme dayanımlarının tasarım ve karışım bileşenlerine göre değişimi yapılan deneysel çalışmalardaki işlenmemiş verilerin ışığında irdelenmiştir. Bu irdeleme sırasında çelik liflerin ve hızlandırıcıların mekanik büyüklükler üzerindeki etkisi de dikkate alınmıştır. Ayrıca kuru-yaş püskürtme beton teknolojilerinin karşılaştırması, teorik ve uygulamadan gelen açılımlarla karot değerlendirmesi ve uygulamada çalışan mühendise yol göstermesi amacı ile kalite kontrol ilkeleri de belirli bir ayrıntı içinde incelenmiştir.

#### **ABSTRACT**

In this paper, mechanical properties such as compressive and bending strength dealing with the design and mixture components in tunnel shotcrete applications were focused with the aim to provide a general guidance to engineer about performance of shotcrete and quality testing techniques. For this reason, this paper describes effect of components like steel fibre, accelarator on mechanical properties by means of untreated experimental results reported in literature. Also, practical core evaluation techniques dealing with applications and theory were summarized. In addition, dry and wet mix shotcrete were compared from the point of view advantage and disadvantage properties in limited details.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda yeraltı açıklıklarının tahkimatında ana taşıyıcı veya yardımcı taşıyıcı olarak diğer tahkimat yöntemlerine göre daha fazla tercih edilen püskürtme betonun uygun nitelikleri ile özellikle büyük tünel projelerindeki kullanımını artmıştır. Bunun başlıca nedenleri şu şekilde sıralanabilir (Arioğlu ve Yüksel, 1985,1986) :

- Kazı işleminden hemen sonra uygulanabilir, çöken ve deforme olan arazi tabakasına erken bir taşıyıcılık özelliği kazandırır.
- Hızla kaya cidarına püskürtülen taze beton karışımı kırık ve çatlaklara kolayca nüfuz ederek kaya tabakasının yerinde kayma dayanımını artırır.
- Kazı cidarındaki çentik etkisi, başka bir deyişle gerilme konsantrasyonları püskürtme beton uygulamasında elde edilen düzgün yüzey vasıtası ile minimize edilir.
- Kazı cidarı ile püskürtme beton arasında sağlanan aderans, kaya yükünü civar kayaç kitlesine aktararak taşınmasına yardımcı olur.
- Karışımın taşınma ve yerleştirme işlemi bir arada ve yüksek hızla gerçekleştirilir.
- Yerleştirme işlemi püskürtme yolu ile sağlandığından kalıp malzemesine gerek duyulmaz, bu da önemli ölçüde işçilik, malzeme ve zaman tasarrufu sağlar.
- Kazı sırasında değişen şartlara uygun, örneğin arazinin ayrışma zonuna gelinmesi veya su gelirinin artması gibi durumlarda değişen şartlara uygun çözümler sağlar.
- Karışım içine koyulan cam, plastik ve çelik lifler ilave bir çekme donatısına gerek duyulmaksızın betonun çekme dayanımını artırır. Ayrıca bu lifler ile güçlendirilmiş püskürtme beton kaplama kalınlığı düz veya hasırlı beton kaplamasına kıyasla, daha ince olabildiği gibi (Arioğlu ve Girgin, 1998), kaya patlaması gibi ani ve tahripkar kırılma moduna karşı enerji yutma kapasitesi ile de daha büyük bir süneklik sağlar.
- Yukarıda bahsedilen bütün üstünlüklerine karşılık tasarım ve karışım bileşenlerine ait hesapların uygun bir şekilde gerçekleştirilmemesi, püskürtme işlemi sırasında operatörün tecrübe eksikliğinden kaynaklanacak hatalar ve kalite kontroldeki eksiklikler püskürtme betondan beklenen başarı ve ekonomiyi önemli ölçüde zayıflatabilir. Bu bakımdan püskürtme betonun proje başarısını doğrudan etkileyen mekanik büyüklükler'e (basınç, yapışma, eğilme, çekme, tokluk vb.) etki eden parametreler, projenin başlangıç aşamasında son derece iyi bir şekilde ortaya konulmalıdır. Bu çalışmada, püskürtme beton tasarımını denetleyen belli başlı büyüklüklerden 7, 28 günlük basınç ve eğilme dayanımlarındaki değişim karakteristikleri teorik ve uygulamadaki karot değerlendirmesi örnekleri ile birlikte incelenmiş, kalite kontrol ile ilgili bazı ölçütler verilmiştir. Ayrıca, püskürtme beton uygulama teknolojileri, kuru-yaş yöntem konunun bütünselliğinin sağlanması bakımından belirli bir ayrıntı içinde ele alınmıştır. Bu çalışmada yazarlar tarafından, incelenen mekanik büyüklükler için elde edilen korelasyon katsayıları proje mühendisine yol gösterici olacaktır.

## 2. PÜSKÜRTME BETON UYGULAMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Tünel mühendisliğinde günümüzde kullanılmakta olan başlıca iki püskürtme yöntemi mevcuttur : **Kuru yöntem** (Avusturya yöntemi) ve **Yaş yöntem** (Norveç yöntemi).

- Kuru yöntemde, çimento+agrega+toz hızlandırıcı (varsa) kuru karışım makinasında karıştırıldıktan sonra iletim borusu ile püskürtme ucuna iletilir. Püskürtme ağzında kuru

karışım bu sırada diğer bir borudan gelen su+sıvı hızlandırıcı (varsa) ile birleşir ve karışım basınçla tünel yüzeyine püskürtülür.

- Islak yöntemde, çimento+agrega+su+hızlandırıcı (varsa) mikserde karıştırılarak iletim borusuna verilir ve bu ıslak karışım püskürtme ağzından tünel yüzeyine basınçla püskürtülür. Karışımın hazırlanması normal betondakine benzer olduğundan tünel yüzeyindeki püskürtme beton kaplamasının mekanik özellikleri önceden kolaylıkla tahmin edilebilir.

Her iki yöntem de bazı avantaj ve dezavantaj özellikler içermektedir. Bunlar Çizelge 1 de karşılaştırmalı olarak incelenmektedir:

**Çizelge 1 Kuru ve yaş yöntemlerin genel karşılaştırması**

Özellikler	Kuru yöntem	Yaş yöntem
<b>Ekipman</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daha düşük yatırım maliyeti-esnek donanım</li> <li>• Küçük kapasiteli çalışma genellikle üretim hızı &lt; 5m<sup>3</sup>/saat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yatırım maliyeti daha yüksek</li> <li>• Büyük kapasiteli, üretim hızı, maks. 20 m<sup>3</sup>/saat</li> </ul>
<b>Karıştırma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Şantiyede küçük karıştırma tesisi</li> <li>• Ön karışım ve kuru bileşenler kullanılabilir</li> <li>• Islak kum, dayanımı olumsuz etkiler</li> <li>• Uzak mesafeye iletim imkanı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikserde uygun karışım elde etme imkanı</li> <li>• Hazır beton kullanma imkanı</li> <li>• Islak kum kullanılabilir</li> <li>• İletim süresi ve mesafesi sınırlı</li> </ul>
<b>Su içeriği</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük su/çimento oranı mümkün</li> <li>• <b>Değişken</b>, operatör tarafından kontrol edilir</li> <li>• Su karışıma homojen dağılmayabilir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük su/çimento oranı ile çalışılmaz</li> <li>• <b>Sabit</b>, operatörden bağımsız</li> <li>• Homojen su dağılımı sağlanır</li> </ul>
<b>İlave bileşen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toz ve sıvı hızlandırıcı kullanılır</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sıvı hızlandırıcı kullanılır</li> </ul>
<b>Geri sıçrayan malzeme (%) (G)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Yüksek miktarda, G = % 20-60</b></li> <li>• Kayıp malzeme yığınları oluşur, işgücü kaybı yaratır</li> <li>• Kaba agrega kaybı fazla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Düşük miktarda, G = % 5-15</b></li> <li>• Yığın oluşmaz</li> <li>• Çok az kaba agrega kaybı oluşur</li> </ul>
<b>Kalite</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su/çimento oranı daha düşük-daha yüksek dayanım, ancak, değişken kalite söz konusu</li> <li>• Operatör tecrübesi çok önemli</li> <li>• Pompalama problemi yok</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su/çimento oranı daha yüksek-daha düşük dayanım ama daha homojen kalite elde edilebilir</li> <li>• Operatör tecrübesi önemli değil</li> <li>• Pompalanabilir karışım olmalı ve pompalama uzaklığı sınırlı</li> </ul>
<b>Uygulama Kolaylığı Bakımından</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Önemli bir toz problemi mevcut</li> <li>• % 5-15 oranında ön-nemlendirme ile toz azaltılabilir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toz problemi pek yoktur</li> <li>• Daha iyi görünüm</li> </ul>

## 2.1 Püskürtme Betonda Mekanik Büyüklükler

Islak yöntemde, karışımın hazırlanması normal betondakine benzer olduğundan ve malzeme kaybı da oldukça düşük oranlarda gerçekleştiğinden, tünel yüzeyindeki

püskürtme beton kaplamasının mekanik özellikleri önceden kolaylıkla tahmin edilebilir. Bu nedenle, bu çalışmada kuru yöntem ile yapılan deney üretimlerindeki karot verilerinin değerlendirilmesine ağırlık verilmiştir.

### 2.1.1 Karot Dayanımlarının Değerlendirilmesi

- Neville (1995) 'in amprik bağıntısına göre herhangi bir (**d x h**) boyutlu, narinlik oranı  $\lambda = \frac{h}{d}$  olan bir silindir karotun **15 cm lik küp** numune cinsinden dayanımı,

$$\frac{f_{\lambda}}{f_{15K}} = 0.56 + \frac{0.697}{\frac{V}{6hd} + \lambda} \quad \text{Neville (1995)} \quad (1)$$

yatay alınmış karotlarda,

$$\frac{f_{\lambda}}{f_{15K}} = \frac{1.5 + \frac{1}{\lambda}}{2.5} \quad \text{Bungey (1989) , BS1881} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Neville (1995) bağıntısından hareketle karot narinlik oranlarına bağlı düzeltme faktörleri Çizelge 2 de verilmiştir.

**Çizelge 2 Karot narinlik oranlarına bağlı düzeltme faktörleri**

$\lambda$	$f_{\lambda} / f_{15K}^1$		
	<b>d = 7.5 cm</b>	<b>d = 10 cm</b>	<b>d = 15 cm</b>
<b>1</b>	1.063	1.020	0.953
<b>1.25</b>	0.986	0.955	0.904
<b>1.5</b>	0.929	0.906	0.867
<b>1.75</b>	0.886	0.868	0.836
<b>2</b>	0.852	0.837	0.811

$$^1 f_{20K} = 0.959 f_{15K} , f_{10K} = 1.02 f_{15K}$$

olarak hesaplanır. Buna göre Neville,  $\lambda=1$  için **d**'e bağlı 3 adet düzeltme faktörü tanımlarken, BS1881'e göre  $\lambda=1$  için yatay alınmış karotlarda düzeltme faktörü **1**, yani  $f_{\lambda}=f_{15K}$  dir.

$f_{\lambda}$  = Çapı **d** (inç) , yüksekliği **h** (inç) olan silindir karotun basınç dayanımı

$f_{15K}$  = **15 cm** boyutlu küpün basınç dayanımı

**V** = **d x h** boyutlu karotun hacmi, (inç<sup>3</sup>)

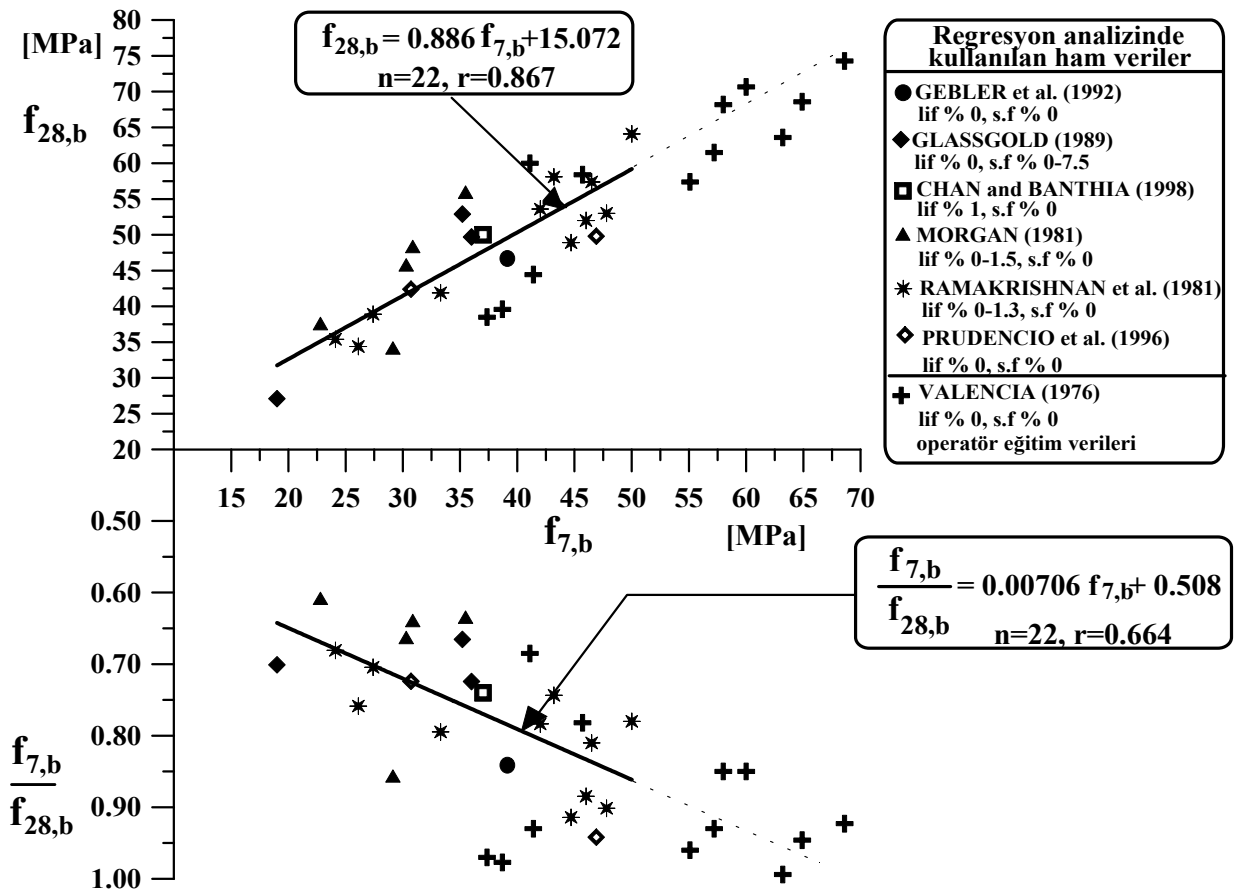
**d** = Karotun çapı, (inç)

### 2.1.2 Kuru Yöntemde Mekanik Büyüklüklerin Değerlendirilmesi

- Şantiyede veya laboratuvarında kuru yönteme göre üretilmiş test panellerinden karot almak sureti ile yapılan eğilme ve basınç deneylerine ait ham verilerden elde edilen regresyon ifadeleri aşağıda verilmiştir. Mekanik büyüklüklerin irdelenmesinde karot düzeltme faktörleri için Neville(1995) bağıntısından yararlanılmış ve bütün karot ham verileri **15 cm lik küp** ( $\lambda=1$ ) eşdeğerleri cinsinden regresyona sokulmuştur.

• 7 günlük basınç dayanımının  $f_{7,b}$  deneylerle belirlenmesi durumunda 7 günlük eğilme  $f_{7,e}$ , 28 günlük basınç  $f_{28,b}$  ve eğilme  $f_{28,e}$  dayanımlarına regresyon ifadelerinde verilen korelasyon katsayılarının doğruluk düzeyinde geçmek mümkün olmaktadır.

• Şekil 1’de çok sayıda işlenmemiş datadan elde edilen 7 ve 28 günlük numunelerde basınç dayanımı ilişkisi verilmiştir-hızlandırıcı kullanılmamıştır (Şekil 1). Değişik oranlarda çelik lif ve silika fümenin da kullanıldığı toplam  $n=22$  adet datanın regresyon ilişkisinde  $r=0.867$  lik bir korelasyon ile yer alması dikkat çekicidir. Ayrıca operatör eğitimi amacı ile kaydedilen ve regresyon ilişkisi dışında bırakılan Valencia (1976) deki 12 adet datanın da bu ilişkiyi bozmadığı görülmektedir. Ayrıca, 7 günlük basınç dayanımı 20-30 MPa arasında değişen normal betonda 0.7-0.77 (Arıoğlu vd.,1994) olan  $f_{7,b} / f_{28,b}$  oranının hızlandırıcı kullanılmamış püskürtme betonda da benzer sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 1 Çeşitli yazarlara ait işlenmemiş verilerden elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değişimine ait regresyon bağıntıları (hızlandırıcı yok).

• Konuya uygulama açısından bir açılım getirmek bakımından, Yapı Merkezi M.İnönü tüneline kalite kontrol amacı ile narinlik oranı  $1 \leq \lambda = \frac{h}{d} \leq 1.58$  arasında değişen oranlarda alınan karot numunelerin 15 cm lik küp eşdeğerleri cinsinden 7 günlük  $f_{7,b}$  ve 28 günlük  $f_{28,b}$  basınç dayanımları arasındaki regresyon ilişkisi

$$f_{28,b} = 1.365 f_{7,b} + 7.35 \quad [\text{kgf/cm}^2] \quad n=82, r=0.902 \quad (3)$$

$$f_{7,b} / f_{28,b} = 0.723$$

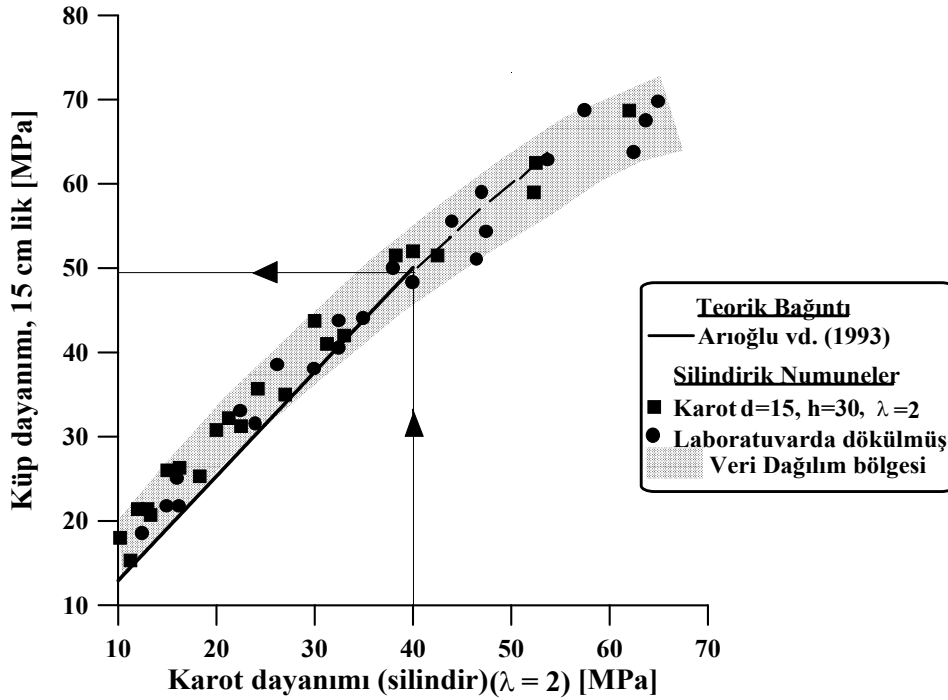
$$150 \text{ kgf/cm}^2 < f_{7,b} < 260 \text{ kgf/cm}^2$$

$$225 \text{ kgf/cm}^2 < f_{28,b} < 400 \text{ kgf/cm}^2$$

ifadesi ile tanımlanmıştır (Arioğlu vd.,1993). Bu bağıntı Şekil 1 de verilen regresyon ilişkisi ile üst üste düşmektedir.  $f_{7,b} / f_{28,b} = 0.723$  (ortalama değer) olması nedeni ile bu oran normal beton için yukarıda tanımlanmış aralığın içinde yer almaktadır. Ayrıca alınan karotların  $\lambda=2$  silindir eşdeğeri basınç dayanımları  $f_{28,\lambda=2}$  ile 15 cm lik küplerin 28 günlük dayanımları  $f_{28,b}$  arasında da bir regresyon ilişkisi elde edilmiştir.

$$f_{28,b} = -15.57 + 1.448 f_{28,\lambda=2} - 0.00042 f_{28,\lambda=2}^2 \quad [\text{kgf/cm}^2] \quad (4)$$

Bu regresyon ilişkisi Munday ve Dhir (1984) kaynağında belirtilen laboratuvar sonuçları ile karşılaştırıldığında arada çok ufak bir fark olduğu görülmektedir (Şekil 2). Bu fark da büyük ölçüde laboratuvarında hazırlanan beton numunelerin daha iyi sıkıştırılmasından kaynaklanmaktadır.



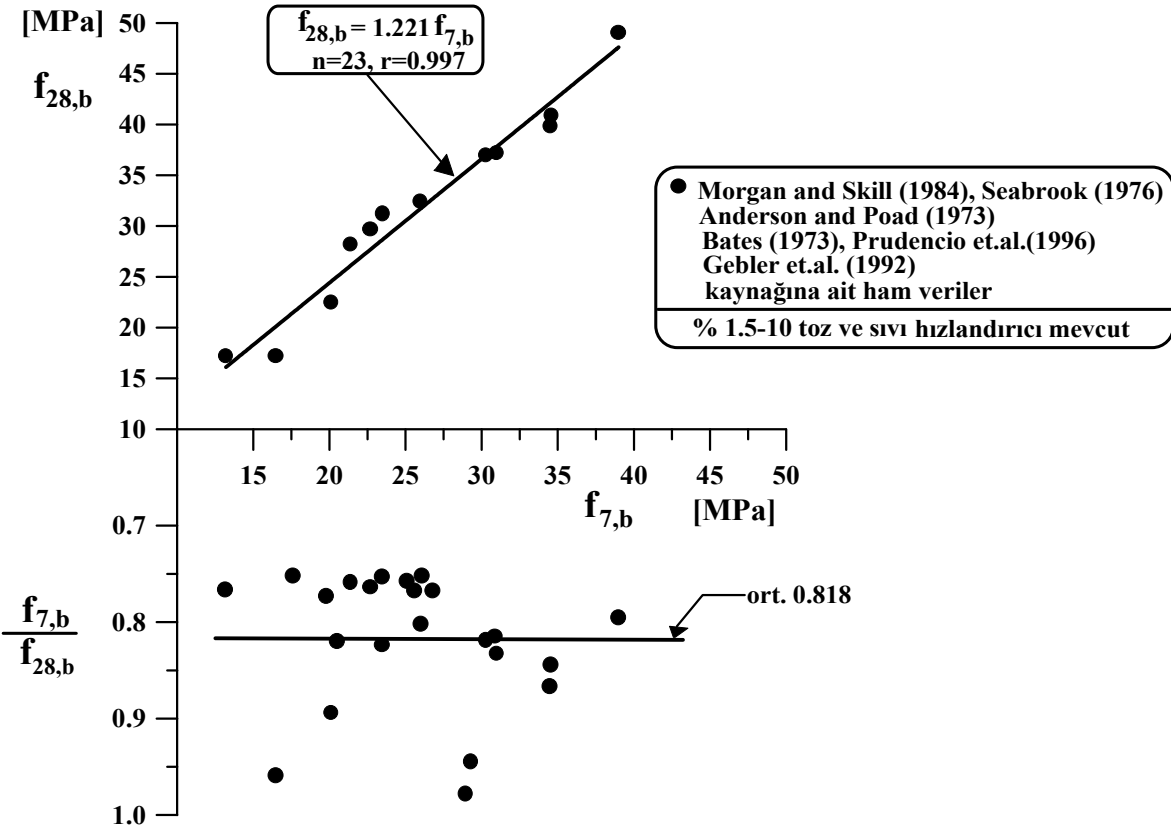
Şekil 2 Yapı Merkezi M.İnönü Tüneli karot değerlendirmeleri ile Monday ve Dhir (1984) in laboratuvar üretimi karot ve küp dayanımlarının karşılaştırması

- Hızlandırıcı kullanıldığında ise erken dayanımdaki artışın sağlanma sürecindeki kısalma karşılık 28 günlük dayanımlarda özellikle alkali tabanlı hızlandırıcılar kullanıldığında önemli düşüşler meydana gelmektedir (Şekil 3). Hızlandırıcının  $f_{7,b} / f_{28,b}$  değerlerinde önemli değişkenlikler yarattığı, ortalama olarak **0.818** değeri dikkate alındığında ise 28 günlük basınç dayanımındaki kazanımın normal betonlara göre daha düşük olduğuna dikkat edilmelidir. Bu deneylerde değişik oranlarda alkali silikat ve alüminat toz ve sıvı hızlandırıcılar kullanılmıştır. Ayrıca, bu tip hızlandırıcıların kullanılması  $ph > 11$  olması nedeni ile ciddi sağlık problemlerine de neden olmaktadır. Son senelerde geliştirilen alkali içermeyen hızlandırıcılar kullanıldığında bu azalmanın çok daha az oranda veya hiç meydana gelmediği bazı deneylerle gözlenmiş olmakla birlikte fiyatlarının çok pahalı olması en önemli dezavantaj özellikleridir (Barton vd., 1996).

- 28 günlük basınç dayanımından yararlanarak 28 günlük eğilme dayanımına geçmek mümkündür.  $n=22$  adet deneyin ham verilerinden yararlanarak elde edilen regresyon ifadesine dayanarak korelasyon katsayısı  $r=0.746$  olan  $f_{28,b} - \frac{f_{28,e}}{f_{28,b}}$  eğrisi Şekil 4' de

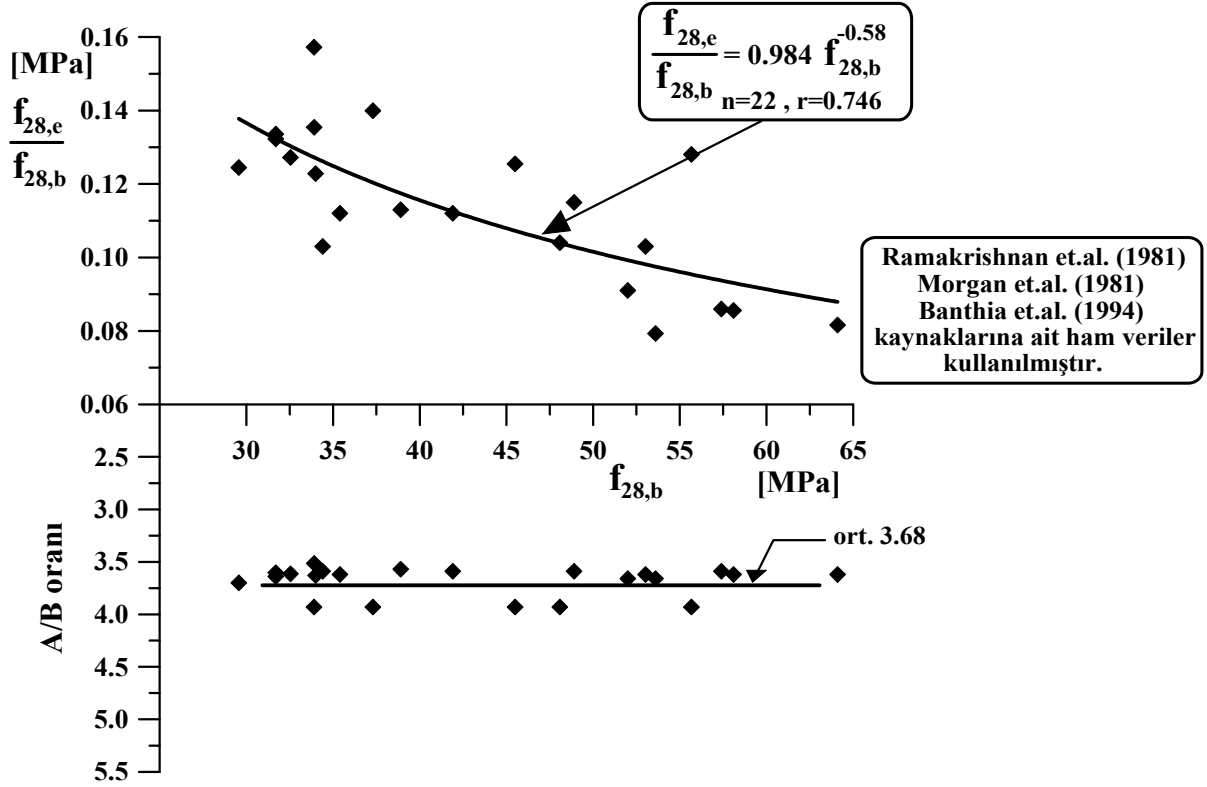
verilmiştir. Dikkat edilecek önemli bir nokta basınç ve eğilme dayanımının, uygulamada 3.5-4 aralığına seçilen (ort. 3.68)  $A/B^*$  oranından bağımsız olduğudur. Bu durum 28 günlük numunelerde de görülmektedir. Bu veriler de değişik oranlarda çelik lif ve silika füme içermektedir.

- Çelik liflerin tipi ve ekonomik kullanım dozajlarının basınç dayanımı üzerinde belirgin bir etkisinin bulunmadığı son literatür çalışmalarından da bilinmektedir (Banthia vd., 1994 ). Ancak lif dozajlarının değişik oranlardaki kullanımı sırasında (örneğin, Ramakrishnan vd., 1981) kaynağında belirtildiği üzere, püskürtme işlemi çok tecrübeli bir operatör tarafından uygulansa bile, operatörün artan lif ihtiyacına karşılık işlenebilirlik kaygısı ile su miktarını artırma ihtiyacı duymasının basınç ve eğilme dayanımlarında azalmaya neden olacağına dikkat edilmelidir. Bunun dışında, liflerin en önemli katkısı tokluk üzerinde olmaktadır. Artan lif dozajları statik ve özellikle dinamik etkiler altındaki enerji yutma kapasitesini artırarak yapıya sünek davranış kazandırırken, bu artışın mertebesi üzerinde lif tipinin püskürtme beton ile arasındaki yapışma dayanımının etkin olduğu unutulmamalıdır (Banthia vd., 1994).



Şekil 3 Çeşitli yazarlara ait işlenmemiş verilerden elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değişimine ait regresyon bağıntıları (Hızlandırıcı var).

\*  $A/B$  = Agrega / Bağlayıcı madde miktarı (çimento+silika füme)



Şekil 4 28 Günlük basınç ve eğilme dayanımları arasındaki ilişki ve A / B oranının basınç dayanımına etkisi.

### 3. KALİTE KONTROL YÖNTEMLERİ

Norwegian Concrete Association (1993) ve Austrian Concrete Society (1990) ve AFTES Working Group (1994) tarafından önerilen kalite kontrol yöntemlerinde bazı ortak noktalar aşağıda belirtilmiştir. Norveç ıslak, Avusturya ise kuru yöntemi baz alarak yönetmelik esaslarını verdiğinden değerlendirme kriterlerinde bazı farklılıklar olması doğaldır. Bu bakımdan yazarlar tarafından, mühendise kalite kontrolün nasıl yapılması gerektiği hakkında daha genel bilgiler vermek yönünde bir açılım yapılacaktır.

- Püskürtme betonun kalitesi test panellerinden karot almak sureti ile belirlenir. Basınç testi için min  $0.25 \text{ m}^2$  alana sahip panel kullanılır. Duvara  $0^\circ$ - $45^\circ$  eğimle yerleştirilen panele uygulanan püskürtme beton tabakasının kalınlığı min. 12 cm olmalıdır. Üretilen test panelleri 18 saat boyunca yerinden oynatılmamalı, etrafı plastik bir örtü ile kapatılarak kuruması önlenmelidir. Erken dayanım istendiği durumlar hariç, dökümden sonraki 48 saat sonra laboratuvara gönderilebilir. Test sonuçlarında elde edilen dayanımların %10' dan fazlası öngörülen dayanım değerlerinin altına düşmemelidir. Üretim ve saklama koşullarında sıcaklık  $5^\circ\text{C} < t < 25^\circ\text{C}$  arasında tutulmalıdır. İlk doğrudan çekme ve yapışma deneyleri 7 günden önce yapılmalıdır. Püskürtme betonda kalite kontrol için AFTES (1994) e göre uygulanan testler Çizelge 3 de, Norwegian Concrete Association (1993) 'in öngördüğü genel kontrol çizelgesi EK-1 de verilmiştir.



**Çizelge 3 Püskürtme betonda kalite kontrol için uygulanan testler (AFTES,1994).**

Uygulanan Testler	Uygulama süresi	Test sıklığı	
	Ve sayısı		
Beton bileşimi	1	$Q^* < 100 \text{ m}^3/\text{hafta}$ ise her $100 \text{ m}^3$ de bir	$Q > 100 \text{ m}^3/\text{hafta}$ ise haftada bir kez
Lif miktarı	1	$Q < 20 \text{ m}^3/\text{gün}$ ise Her $20 \text{ m}^3$ de bir	$Q > 20 \text{ m}^3/\text{gün}$ ise her gün
Basınç	3-7 gün 3-28 gün	Her $50 \text{ m}^3$ de bir	
Direkt çekme	3-28 gün	Her $1000 \text{ m}^3$ de bir	
Yoğunluk	Bütün karotlarda		
Zımbalama- Eğilme	1-28 gün	$Q < 100 \text{ m}^3/\text{hafta}$ ise Her $100 \text{ m}^3$ de bir	$Q > 100 \text{ m}^3/\text{hafta}$ ise haftada bir kez
Aderans	3-28 gün	Her $1000 \text{ m}^2$ de bir + her çatlaklı bölge-noktada+ min.her $5 \text{ m}^2$ de bir çubukla vurularak kontrol edilir	
Homojenlik ve süreklilik • Gözle inceleme • Sertlik ölçer • Ses dalgaları ile inceleme	Bütün karotlarda Bu iki test, yukarıdaki testlerin sonuçları bir sorun olduğunu gösterdiğinde uygulanır		

\*Q – Üretilen püskürtme beton miktarı

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada incelenen konulardan çıkarılan başlıca sonuçlar aşağıda belirtilmiştir :

- Kuru yöntem ile üretilen püskürtme betonda hızlandırıcı kullanılmamış 7 ve 28 günlük basınç dayanımları arasında anlamlı bir korelasyon elde edilmiştir. Bu ilişki değişik oranlarda silika füme, çelik lif kullanımı için de sağlanmaktadır, bağıntı operatör eğitim verileri için de aynen geçerlidir. 7-7/28 oran basınç dayanımları arasında doğrusal bir regresyon ilişkisi mevcuttur (Şekil 1). Yapı Merkezi M.İnönü tünelineki 7-28 günlük basınç dayanımı ilişkisi de bu bağıntıyı desteklemektedir. Hızlandırıcı kullanılmış püskürtme betonun 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı arasında da anlamlı bir korelasyon sağlanmıştır (Şekil 3). Alkali içeren hızlandırıcılar kullanıldığında 28 günlük kazanımlarda genel olarak bir azalma mevcuttur.
- Liflerle güçlendirilmiş kaplama boyutlandırmasında önemli bir büyüklük olan 28 günlük eğilme / basınç dayanımı oranının 28 günlük basınç dayanımı cinsinden değişimi çıkartılmıştır. Buna göre artan 28 günlük basınç dayanımı ile söz konusu oran düşmektedir. Bu bağıntı değişen oranlarda çelik lif ve silika fümenin kullanıldığı verileri de içermesi bakımında anlamlıdır, 28 günlük basınç dayanımının bilinmesi durumunda eğilme büyüklüğünün mertebesi kestirilebilir (Şekil 4). Ayrıca karışım tasarımında dikkate alınan diğer bir büyüklük olan (Agrega / Bağlayıcı madde) oranının 28 günlük basınç dayanımından bağımsız olduğu gözlenmektedir.

#### TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmanın yapılması ve yayınlanmasını teşvik eden Yapı Merkezi A.Ş Yönetim Kurulu Başkanı Sn.Dr.Müh.Ersin ARIOĞLU'na teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- AFTES-Working Group No6-Sprayed Concrete (1994)** *Recommendations on Fibre-Reinforced Sprayed Concrete Technology and Practice*, No126,pp.318-325.
- Anderson, G.L., Poad M.E. (1973)** Early age strength properties of shotcrete, *ACI Publications SP-45*, pp.277-296.
- Arioğlu, E. ve Yüksel, A. (1985)** Püskürtme beton karışım tasarımı. *Kaya Mekaniđi Bülteni*, Sayı.1, Türkiye Ulusal Kaya Mekaniđi Derneđi, s.29-38.
- Arioğlu, E. ve Yüksel, A. (1986)** Mix design of shotcrete for underground structural support. *Journal of Mines, Metals & Fuels*, January-February 1986, pp. 84-87.
- Arioğlu, E., Odbay, O., Alper, H., (1993)** M.İnönü Tünel Şantiyesinde Püskürtme Beton Dayanımlarının Değerlendirilmesi, *Yapı Merkezi AR-GE Arşivi*.
- Arioğlu, E., Alper, H., Odbay, O. (1994)** Beton dayanımının erken kestirimi. *Beton Prefabrikasyon*, Sayı 30, s. 15-18.
- Arioğlu, E. ve Girgin C. (1998)** Çelik lifli püskürtme beton kaplama tasarımı-kaya patlama olayına maruz tünellerde kullanım. *4.Ulusal Kaya Mekaniđi Sempozyumu*, Zonguldak.
- Austrian Concrete Society (1990)** Guide on Shotcrete, Part 1-Application, Wien.
- Barton N., Kompen, R., Berg, K.R. (1996)** Modern Use of Wet-Mix Sprayed Concrete For Underground Support, *2<sup>nd</sup> Int. Symp. on Sprayed Concrete*, Norway.
- Bates, R. (1973)** Shotcrete safety and environmental control, *ACI Publications SP-45*, pp.130-142.
- Banthia, N., Trottier, J.F., Beaupre, D., Wood, D. (1994)** Properties of steel fiber reinforced shotcrete. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 21, No 4, pp.564-575
- BS1881: Part 124 Methods of Testing Concrete:Analysis of Hardened Concrete.** British Standards Institution, London.
- Bungey, J.H. (1989)** *Testing of Concrete Structures*. Surrey University Press.
- Chan, Banthia (1998)** Recycled aggregate utilization in shotcrete, *Canadian Journal of Civil Engineering*, No.1, pp.25-32
- Gebler, S., Litvin, A., McLean, W., Schultz,R. (1992)** Durability of dry-mix shotcrete containing rapid-set accelerators, *ACI Materials Journal*,Vol.89, No. 3, pp.259-262
- Glassgold, L.(1989)** Shotcrete durability:An evaluation,*Concrete International*,August, pp. 78-85.
- Neville A.M. (1995)** *Properties of Concrete*. Longman Gr.Ltd., Essex.
- Monday, J.G.L and Dhir, R.K. (1984)** Assessment of in-situ concrete quality by core testing. *Spec. Publ. SP 82-20. American Concrete Institute*, Detroit, pp.393-410.
- Morgan D.R., (1981)** Steel fibre shotcrete. A laboratory study, Application and Use of Shotcrete, *ACI Compilation No.6*, pp. 50-54.
- Morgan D.R, and Skill N. (1984)** Rocky mountain tunnels lined with steel fiber reinforced shotcrete, *Concrete International*, December, pp.33-38.
- Norwegian Concrete Association-Committee Sprayed Concrete (1993)** *Sprayed Concrete for Rock Support- Technical Spesification and Guidelines*,No.7,Oslo, Norway.
- Prudencio, Jr., Armelin, H., Helene,P. (1996)** Interaction between accelerating admixtures and portland cement for shotcrete. *Journal of American Concrete Institute*, Vol 93, No.6, pp.619-629.
- Ramakrishnan,V., Coyle, V., Dahl, L., Schrader E.(1981)** A Comperative Evaluation of Fiber Shotcretes. A Laboratory Study, Application and Use of Shotcrete, *ACI Compilation No.6*, pp.39-49.
- Seabrook, P.T. (1976)** Properties of shotcrete on construction projects, *ACI Publications SP-54*, pp.29-45.
- Valencia F.E (1976)** Evaluation of shotcrete application under field conditions, *ACI Publications SP-54*, pp.115-149.