

**YAPI MERKEZİ PREFABRİKASYON A.Ş.'DE  
BETON AGREGA KALİTE DENETİMİ VE  
DEĞERLENDİRMESİ**

**QUALITY ASSURANCE AND EVALUATION  
OF CONCRETE AGGREGATE IN YAPI  
MERKEZİ PREFABRICATION INC.**

**MANZAK, O.<sup>1</sup>, DONDURMACI, A.<sup>2</sup>, KÖYLÜOĞLU, Ö.S.<sup>3</sup>, ARIOĞLU, E.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Yük. Müh., Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş., Kalite Güvence Müd., Paşaköy

<sup>2</sup> Jeofizik Müh., Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş., Paşaköy, İstanbul

<sup>3</sup> Dr.- Müh., Yapı Merkezi Araştırma Geliştirme, Araştırma Müh., Çamlıca, İst.

<sup>4</sup> Prof.Dr.- Müh., İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Böl., Ayazağa, İstanbul

Türkiye'de ilk defa prefabrikasyon sektöründe ISO9001 belgesi alan Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'nin Kalite Güvence Sistemi çerçevesinde yürüttüğü beton agregalarının kalite denetimi bu çalışmada tanıtılmıştır. Agregaya kaynağının seçiminden başlayarak, üretim aşamasında yapılan periyodik kontroller dahil olmak üzere agregalar üzerinde yapılan deneyler sunularak, kalite denetimi açısından bu deneylerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Gerek aynı kaynaktan sağlanan agregalar, gerekse farklı kaynaklardan gelen agregaların aynı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip oldukları, dolayısıyla ile fabrikada üretilen elemanlarda malzeme üniformluğunun ve hedeflenen kalitenin daima sağlandığı gösterilmiştir. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri tartışılmış, karışım tasarımı ve gereken düzeltmelerin nasıl yapılacağına dair prosedür verilmiştir.

Within the context of its ISO 9001 certified Quality Assurance System, which is the first ISO certification in the prefabrication industry in Turkey, the Yapı Merkezi Prefabrication Inc.'s quality control programme for the concrete aggregates is introduced in this study. From the very first stage of selection of the aggregate source, to the periodical controls, various experiments are carried out in the factory. Results of these experiments are presented and evaluated. It is shown that the uniformity of the aggregate's physical and mechanical properties is always achieved, thus the anticipated quality is assured. In the study, properties of the aggregates are discussed in detail and the procedure for the mix design and corrections is also presented.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde en yaygın kullanımlı taşıyıcı yapı malzemesi olan betonun taşıyıcı iskeletini oluşturan agrega, 1 m<sup>3</sup> beton karışımında çeşitli faktörlere bağlı olarak 1600-1900 kg civarında kullanılmaktadır. Beton toplam hacmi içinde ortalama olarak %75'lik yer tutan agreganın fiziksel (petrografik yapısı, granülometrik bileşimi, yoğunluk ve su emme yüzdesi, birim ağırlığı, organik ve yıkanabilir malzeme miktarı, alkali agrega reaktivitesi, aşınma dayanımı vb) ve mekanik (basınç dayanımı, elastik modülü, poisson oranı) özellikleri betonun dayanımını, dayanıklılığını, zaman içinde stabilitesini, görünüşünü, ağırlığını ve işlenebilirlik özelliğini etkilerken, diğer taraftan betonun birim malzeme maliyetinde de önemli ölçüde bir pay oluşturmaktadır. Örneğin, betonun elastisite modülü harcın ve agreganın elastisite modülü ile kontrol edilmekte, bu nedenle sehim hesaplarının, narinliğin önem kazandığı yerlerde agrega seçimi ön plana gelmektedir. Ayrıca beton karışım tasarımında yöntem seçiminde de agreganın fiziksel özellikleri önem kazanmaktadır (Arıoğlu, 1996): Agreganın sağlam, kaliteli olması, su emme yüzdesinin değişmemesi durumunda, tasarım su/çimento oranının sabit olması kriterine dayandırılır. Bu halde, basınç dayanımının standart sapması küçülür. Agreganın su emme yüzdesi yüksekse, agrega farklı kanaklardan geliyorsa, granülometrik bileşiminde dalgalanmalar varsa, çökmenin sabit olması kriterinden hareket edilerek karışım tasarımı yapılır. Görüldüğü gibi kalite kontrolü açısından da agrega seçimi ve denetimi büyük önem taşımaktadır.

Beton agregasında aranan başlıca özellikler şunlardır:

- Uygun granülometri
- Yeterli dayanım
- Dona dayanıklılık
- Zararlı madde içermemesi
- Uygun tane şekli

Üretilen betonun kullanılacağı yere, kullanma ve çevre koşullarına bağlı olarak, bahsedilen özelliklerin bazıları daha çok, bazıları daha az önem taşıyabilir. Agreganın kaynağı seçilirken bu özelliklerin belirlenmesi laboratuvar analizleri yaptırılarak, önceden yaptırılmış olan analiz raporları incelenerek ve aynı kaynaktan agrega sağlayan diğer kullanıcılardan bilgi toplayarak yapılmaktadır. Bunların yanı sıra, ocağın kapasitesi, malzemenin üniformluğu, organizasyon ve çalışma düzeni de dikkate alınmaktadır. Muhtemel kaynaklar belirlendikten sonra bunlarla deneme betonları üretilerek teknik ve ekonomik açılarından değerlendirilmektedir. Kalite, üretim sırasında da daima izlenmektedir. Bu çalışmada söz konusu olan parametreler, agregaların mekanik özellikleri ile ilgili olanlarla sınırlandırılmıştır.

## **2. YAPI MERKEZİ PREFABRİKASYON A.Ş.'DE UYGULANAN BETON AGREGA KALİTE GÜVENCE SİSTEMİ**

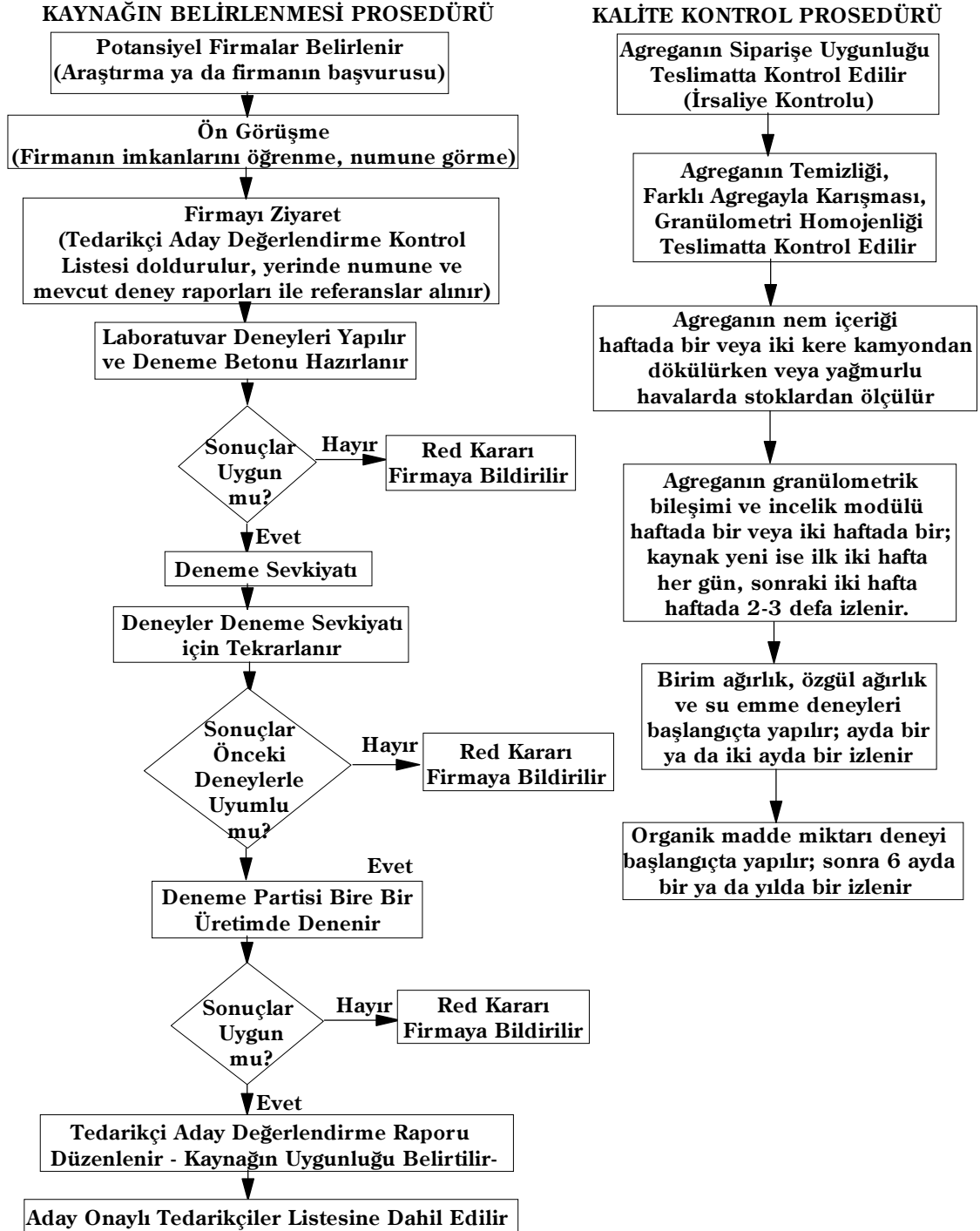
Kalite güvence sistemi bahsinden evvel, kuruluşun kısa bir tanıtımı yapılacaktır: Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş., 1978 yılında Yapı Merkezi Şirketler Grubu'nun ikinci şirketi olarak kurulmuştur. Temel amacı, projesini de kendi geliştirdiği inşaat uygulamalarını gerçekleştirmek, uygulama öncesi ve uygulama sırasında araştırma çalışmaları yürütmektir. 1980 yılında fabrika ünitesini kurarak, kısmi prefabrikasyon uygulamalarından gerçek anlamda prefabrike üretime geçmiştir. 1982 yılında fabrikada tam teşekküllü bir beton laboratuvarı kurularak prefabrikasyon sektörüne de öncülük eden kalite güvenliği, kalite kontrol konularında çeşitli araştırmalar yapılmış ve birçok yönetmelik hazırlanmıştır.

Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'nin üretim tesisleri, İstanbul Paşaköy'de, toplam 108.000 m<sup>2</sup> arazi üzerinde kuruludur. Tesis 7000 m<sup>2</sup> kapalı üretim alanı ile 72.000 m<sup>2</sup> açık üretim ve stok sahasına sahiptir. Sürdürülen yatırım çalışmaları sonunda kapalı üretim alanı 9000 m<sup>2</sup>'ye, halen 140 m<sup>3</sup>/saat olan beton üretim kapasitesi de 175 m<sup>3</sup>/saat'e çıkarılacaktır. Bugüne kadar (17 yılda) üretilen beton 450.000 m<sup>3</sup> ve yapılan inşaat 1.800.000 m<sup>2</sup>'dir. Üretimin büyük bölümünde uygulanan beton sınıfı BS30 ve yukarısidir. Bu da, beton üretiminde diğer bileşenlerin yanı sıra önemli bir yeri olan agreganın oldukça titiz seçilmesini ve sıkı kontrol edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Fabrikada üretilmekte olan ürün grupları şunlardır:

- Öngermeli, boşluklu döşeme ve duvar panelleri (PANELTON)
- Prefabrike taşıyıcı sistemler
- Ağır beton denge ağırlıkları
- Öngermeli köprü kirişi
- Yapıblok ve bordür
- Kilitli beton parke taşı
- Kent mobilyaları ve çevre elem.

Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'nin kullandığı agrega kaynaklarının seçimi ve bu kaynakların periyodik kontrolü, ISO 9001 belgeli Kalite Güvence Sistemi çerçevesinde yapılmaktadır. Sistemin akış şeması Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'de Agrega için Kalite Güvence Sistemi

### 3. AGREGA KALİTESİNİ BELİRLEYEN FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'nin üretimde kullandığı agregaların yukarıda belirtilen kalite kontrol programı kapsamında yapılan deney sonuçlarının istatistik değerlendirmesi Çizelge 1.'de verilmiştir. Yapılan toplam 48 iri agrega deneyinin sadece 2'si farklı bir kaynaktan alınmış, diğerleri tek bir kaynaktan (Yapı Maden A.Ş.'den) alınmıştır. Bulunan sonuçlar, Yapı Maden A.Ş. agregalarının kalitesi hakkında da bilgi vermektedir. Deney sonuçları Ek-A'da detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 1. Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş. Agregalarının Fiziksel Büyüklükleri

Fiziksel Büyüklükler	Malzeme	$\bar{X}$	$X_{\min}$	$X_{\max}$	S	V (%)	$X_{\%90}^-$	$X_{\%90}^+$
Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	No 1 Mıcır	2.70	2.62	2.74	0.03	1	2.69	2.71
	No 2 Mıcır	2.74	2.68	2.77	0.02	1	2.73	2.74
	Taştozu	2.67	2.62	2.71	0.02	1	2.66	2.68
Su Emme (%)	No 1 Mıcır	0.85	0.42	1.96	0.46	55	0.68	1.01
	No 2 Mıcır	0.54	0.33	0.99	0.16	30	0.48	0.60
	Taştozu	1.58	0.93	4.88	0.80	50	1.30	1.87
Gevşek Birim Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	No 1 Mıcır	1.44	1.34	1.51	0.05	3	1.43	1.46
	No 2 Mıcır	1.41	1.28	1.53	0.05	4	1.39	1.43
	Taştozu	1.48	1.40	1.56	0.05	4	1.46	1.50
Sıkı Birim Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	No 1 Mıcır	1.69	1.56	1.82	0.08	5	1.66	1.71
	No 2 Mıcır	1.60	1.48	1.70	0.04	3	1.58	1.61
	Taştozu	1.74	1.65	1.81	0.04	3	1.72	1.75
İncelik Modülü	No 1 Mıcır	5.55	4.70	6.06	0.38	7	5.41	5.68
	No 2 Mıcır	6.82	6.23	7.15	0.20	3	6.75	6.89
	Taştozu	3.65	3.36	4.00	0.17	5	3.59	3.71
<b>Notasyon:</b>								
N = Deney Sayısı = 24								
S = Standart Sapma								
V = Değişkenlik Katsayısı								
$\bar{X}$ = Ortalama Değer								
$X_{\min}$ = Minimum Değer								
$X_{\max}$ = Maksimum Değer								
$X_{\%90}^-$ = %90 Güvenirlik için Alt Değer								
$X_{\%90}^+$ = %90 Güvenirlik için Üst Değer								
$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{(N - 1)}}$ $V = (S / \bar{X}) \times 100 \text{ (%)}$ $\bar{X} = (\sum X) / N$ $X_{\%90}^{\pm} = \bar{X} \pm tS / \sqrt{N - 1}$ t = %90 güvenirlilik için "student's t" dağılımı yüzdesi								

**Yoğunluk** Agreganın seçiminde, standartlarda agreganın yoğunluğu ile ilgili bir kısıtlama olmamasına rağmen, bu özelliğin betonun mekanik büyüklükleri ile yakından alakalı olduğu yakın beton literatüründen bilinmektedir (Arıoğlu, 1995). Betonun başlangıç elastik modülü, agreganın elastik modülü ve Poisson oranı ile ilintili:  $E_c = f[E_m, E_a, \nu_a]$  (Tighiouart, Benmokrane, Baalbaki, 1994); bu büyüklükler ise agreganın yoğunluğu ve dayanımı ile ilintilidir:  $E_a = f[f_a, \gamma_a]$  ve  $\nu_a = f[f_a, \gamma_a]$  (Arıoğlu, 1993a). Betonun düktilite oranı ( $\beta$ ) ve sekant modülü ( $E_s$ ) de böylece agreganın bahsedilen özelliklerinden etkilenmektedir:  $\beta, E_s = f[\epsilon_0]$  ve  $\epsilon_0 = f[E_c]$  (Arıoğlu, 1992; Arıoğlu, 1995; Arıoğlu, Köylüoğlu, 1996; Collins, Mitchell, MacGregor, 1993).

Betonun dayanımı da, agreganın dayanımı,  $f_a$  ile kontrol edilir. Betonun göçme anında çatlaklar iki şekilde oluşabilir. Bunu kontrol eden parametreler agreganın dayanımı ile harç dayanımıdır. Harç dayanımı agreganın dayanımından büyük olduğu takdirde harçta oluşan çatlaklar agregaların içinden geçerek büyüyecek ve gelişecek, numunede boyuna çatlaklar görülecektir. Bu kırılma modu çekme dayanımının aşılması ile ilintili olduğundan, betonun gerçek basınç dayanımına ulaşmadan numune kırılacaktır. Agreganın dayanımı harçtan (ince agreganın çimento hamuru) büyük ise, çatlak hamur ile agreganın arakesit yüzeyinde ilerleyecek ve kırılma harçtan kaynaklanacaktır. Betonun gerçek basınç dayanımı altında kırılabilmesi ve çatlak gelişiminin beton harcı içinde oluşması bakımından agreganın dayanımı harçtan dayanımından büyük olmalıdır. Agreganın dayanımı bu açıdan da büyük önem kazanmaktadır.

Agreganın dayanımı da agreganın yoğunluğundan Popovics'e göre Bağ.(1)'de verilen şekilde etkilenmektedir (Popovics, 1979). Bu bağıntı yoğunluğu 1.6 ila 3.0 gr/cm<sup>3</sup> arasında olan agregalar için çıkarılmıştır. Bu bağıntıya göre, agreganın dayanımı yoğunluk artarken üstel olarak artmakta, bu artış özellikle yoğunluğun 2.5'tan büyük değerleri için oldukça büyük olmaktadır.

$$f_a \text{ kg/cm}^2 = 4.5 \times 8^{\gamma \text{ gr/cm}^3} \quad (1)$$

Agreganın yoğunluğu fazla ise, doku daha kompakt olacağı için kayacın kimyasal ve mekanik etkilere dayanıklılığı da fazla olacak, durabil bir beton elde edilecektir.

Çizelge 2. Çeşitli Standartlara Göre Beton Agregalarının Sağlaması Gereken Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Özellik	Agrega	TS 706	ASTM C33	BS882:1983
Tane Şekli, Uygunsuz Max (%)	İri Agrega	50	—	C20-35 için 50 <sup>†</sup> , 35 <sup>‡</sup> > C35 için 35 <sup>†</sup> , 35 <sup>‡</sup>
Yıkanabilir Maddeler, Max (%)	İri Agrega	0.5	1.0	Çakıl:1 Kırmataş: 3
	İnce Agrega	4.0	Aşınan beton: 3.0 Diğer: 5.0	Kum: 3 Taş: 15
Su Emme, Max (%)	İri ve İnce	—	—	BS5337:1976'e göre 3.0
Taş Basınç Dayanımı	İri ve İnce	1000 kg/cm <sup>2</sup>	—	%10 incelik değeri: 50 kN
Aşınma Dayanımı, Max (%)	İri Agrega	Los Angeles: 100 devir 10 500 devir 50 Darbeli Aşınma: 45	Los Angeles: 500 devir 50	Darbeli Aşınma: 45
Dona Dayanıklılık, Max (%) Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 'e Dayanıklılık	İri Agrega	18	12	—
	İnceAgreg.	15	10	—
Mg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 'e Dayanıklılık	İri Agrega	27	18	—
	İnceAgreg.	22	15	—
Organik Maddeler, Max (%)	İri ve İnce	0.5	0.5	—
Sülfat Miktarı, Max (%)	İri ve İnce	SO <sub>3</sub> olarak: 1.0	—	BS5328:1981: 4/çimento
Suda Çözünen Klorürler, Max (%) (Agrega yüzdesi olan Cl iyonları)	İri ve İnce	0.2	—	§ Öngermeli: 2 B/A: 4
Alkali-agrega reaktifliği, Uzama, Max (%)	İri ve İnce	6 ayda: 0.5 1 yılda: 1.0	3 ayda: 0.05 6 ayda: 0.10	—

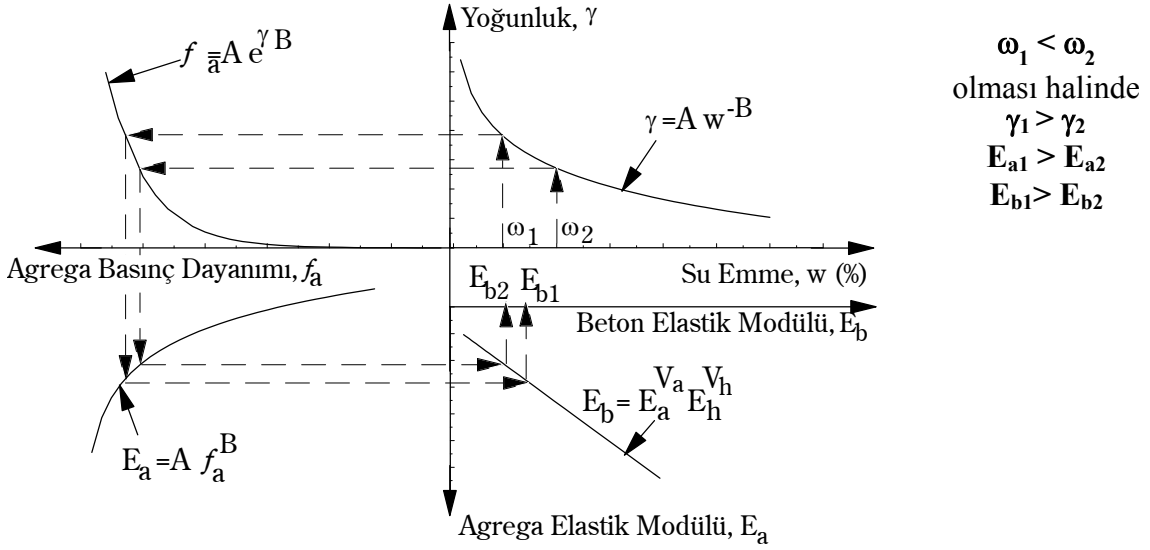
† Doğal çakıl

‡ Kırmataş veya kırma çakıl

§ Bu değerler, BS882:1983'ün ekinde tavsiye edilen değerlerdir.

**Su Emme** Agreganın su emme yüzdesinin düşük olması halinde sağlanan avantajlar, yüksek yoğunluk değeri için söylenenlerle aynı olacaktır. Su emmenin değişken olmaması da büyük mukavemet değişimlerini önlemek açısından karışım tasarımı ekonomisi için istenen bir özelliktir. Su emme, kolaylıkla ölçülebilen bir özelliktir; Ölçümlerin tekrarlanabilirliği, yorumlama kolaylığı nedeniyle pratik olarak kullanılmaktadır. Agreganın su emme yüzdesi standartlarda sınırlandırılmamıştır. Ancak, BS5337'ye göre %3 alınması tavsiye edilmektedir (Çizelge 2). Yapı Maden agregalarının su emme yüzdeleri, Ek-A'da verilmiştir. Agreganın çıkarılırken, yoğunluğun düşük olduğu yerlerde, örneğin az ayrılmış aynalarda su emme miktarları biraz yükselmektedir. Ancak geniş bir zaman aralığında bakıldığında, tüm su emme değerlerinin ortalaması No 1 agreganın için %0.85 ve No 2 agreganın için %0.54 olup BS5337'de vazedilen üst sınır değerinin (%3'ün) çok altında kalmaktadır.

Agreganın su emme yüzdesi ile buraya kadar bahsedilen tüm büyüklüklerin etkileşimi, kavramsal olarak Şekil 2.'de verilmiştir ( $V_a$ , iri agreganın hacimsel konsantrasyonu;  $V_h$ , harcın hacimsel konsantrasyonudur).  $E_a$ - $E_b$  ilintisi, değişmeyen  $E_h$ ,  $V_h$  değerleri için gösterilmiştir.



Şekil 2. Agreganın Fiziksel ve Mekanik Büyüklüklerinin Etkileşimi ve Bunların Betonun Mekanik Büyüklüklerine Etkisi (Ölçeksizdir)

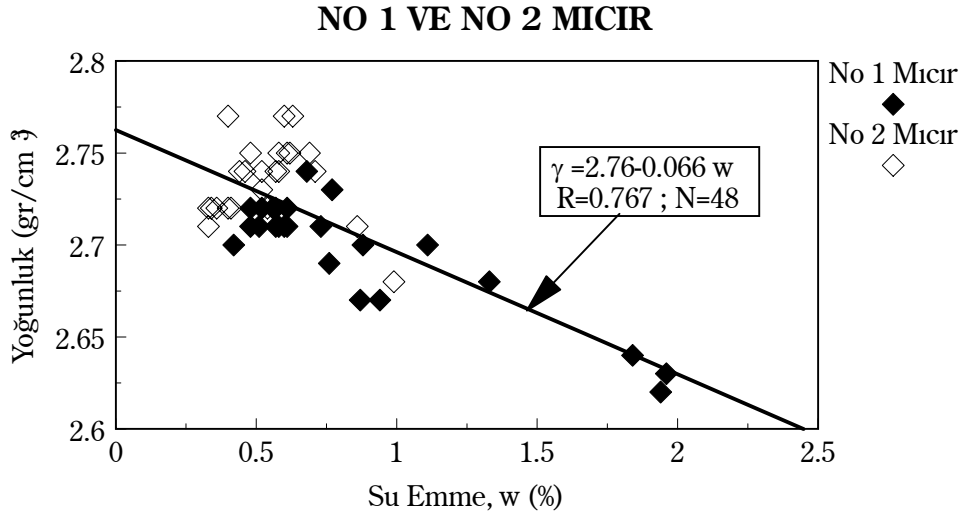
Agreganın su emme oranı ile yoğunluk arasında, İstanbul dolayındaki agregalar için (agrega çapı 9.50-25.0 mm) önceden yapılan çalışmalarda (Arioğlu, Manzak, 1991) oldukça yüksek korelasyon katsayısı veren ilintiler bulunmuştur. Şekil 3'te de, Yapı Maden A.Ş. beton agregaları için bu çalışmada çıkarılan yoğunluk-su emme ilintileri verilmektedir. BS5337'de verilen %3'lük su emme üst sınırına karşılık gelen agreganın



yoğunluğu Arıoğlu, Manzak (1991) bağıntısına göre 2.55 gr/cm<sup>3</sup>; Şekil 3'te verilen regresyon ifadesine göre de 2.56 gr/cm<sup>3</sup> bulunmaktadır. Buradan, agrega yoğunluğunun minimum büyüklüğü 2.55 gr/cm<sup>3</sup> alınır, (1) bağıntısından agrega dayanımı  $f_a = 903.84 \text{ kg/cm}^2$  bulunur. Narinliği (yükseklik/çap oranı)  $\lambda=2$  olan agregalar için çıkarılan Bağ(1)'den bulunan değer  $\lambda=1$  için Kaya Mekanik prensibinden hareketle düzeltilirse;

$$f_{a,\lambda=1} = f_a (7 + 2/\lambda)/8 = 1016.82 \text{ kg/cm}^2 \quad (2)$$

bulunur. Bu da, TS706'da verilen agreganın basınç dayanımının alt değeri ile uyum göstermektedir (Çizelge 2).

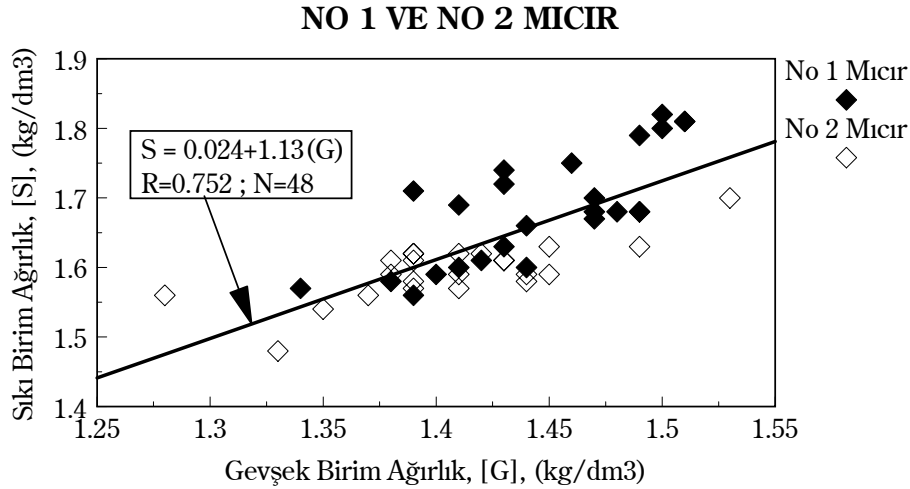


Şekil 3. Yapı Maden Agregaları için Yoğunluk-Su Emme İlişkileri

Agreganın su emme oranı ile mevcut nem yüzdesi arasındaki fark, karışımda yapılacak su düzeltme miktarını gösterir. Bu fark az ise su düzeltmesi önemsiz olacak ve kalite kontrolü açısından önemli bir avantaj sağlanacaktır. Farkın fazla olması halinde, hassas bir su düzeltme hesabı yapılmalıdır. (Ayrıntılı su düzeltme hesabı, diğer karışım tasarımı ile birlikte Ek-B'de verilmiştir.) Prefabrikasyon A.Ş.'nin kullandığı agregalar için, No.1 agregaların ortalama mevcut nem içeriği ve bunların standart sapması yağışsız havalarda  $\bar{X}=1.37$  ( $S=1.08$ ), yağmurlu havalarda  $\bar{X}=2.67$  ( $S=1.29$ ) bulunmuştur. No.2 agregalar için de, yağışsız havalarda  $\bar{X}=0.71$  ( $S=0.47$ ), yağmurlu havalarda  $\bar{X}=1.43$  ( $S=0.66$ ) bulunmuştur. Üretimde kullanılan dağ kumunun su emme yüzdeleri de, yağışsız havalarda  $\bar{X}=9.54$  ( $S=1.73$ ), yağmurlu havalarda ise  $\bar{X}=10.84$  ( $S=2.94$ ) ölçülmüştür. Buna göre, kimi dönemlerde karışım hesabında su düzeltme yapılması gerekmektedir.

**Gevşek ve Sıkı Birim Ağırlık** Agreganın gevşek ve sıkı birim ağırlıkları arasında büyük fark olması, agregaların aralarında kalan boşlukların fazla olduğuna, dane yapısının uygun olmadığına işaret eder. Bu, özellikle betonun pompalanabilirlik özelliği açısından sakıncalıdır. Diğer taraftan, boşlukların fazla olması, ince malzeme ihtiyacının artmasına sebep olmakta, bu boşlukların çimento ile doldurulması gerekmektedir. Burada, belirli oranda taşunu, uçucu kül gibi ince malzemeler kullanılarak çimentoda ekonomi sağlanabilmekte, karışımın boşlukları bu maddelerle dolduğu için genel işlenebilirlik özelliğini kontrol eden kohezif yapısı iyileştirilmektedir. Kalite denetimi açısından da sıkı birim ağırlığın zaman içindeki değişimi izlenmektedir. Böylece, agrega gradasyonunda değişim olup olmadığı hakkında ipucu edinilmektedir. Çizelge 1'e göre, bahsedilen özelliğin değişkenliği oldukça azdır. Bu da gradasyonun zaman içinde aynı kaldığını gösterir.

Beton karışım hesabında sıkı agrega yoğunluğu dikkate alınmaktadır (Ek-B). Şekil 4'te, tasarım kolaylığı açısından, Yapı Maden agregaları için agreganın gevşek ve sıkı birim ağırlığı arasında çıkarılan ilinti verilmiştir.



Şekil 4. Yapı Maden Agregaları için Gevşek-Sıkı Birim Ağırlık İlintileri

**İncelik Modülü** İncelik modülü, agreganın gradasyonunun üniformluğunu gösteren bir büyüklüktür (Erdoğan, 1995). Bu da, kalite denetimi açısından, dayanım değişkenliklerinin azaltılması için önemlidir. Çizelge 1'de görüldüğü gibi, incelik modülünün değişkenlik katsayısı Yapı Maden A.Ş. agregaları için %10'un altında kalmakta, gradasyon üniform bulunmaktadır.

**Diğer Özellikler** Burada detaylı olarak incelenmeyen diğer özelliklerden agrega biçim ve yüzey özellikleri ile agrega mineralojisi, çimento hamuru ile agreganın bağ yapma

kabiliyetini belirler. Kil ve zararlı maddeler (organik maddeler, kömür, mika, pirit artıkları, deniz kabuğu) çimento-agrega aderans köprüsünü zayıflattığı, hidrasyonu yavaşlattığı ve su ihtiyacını istenmeyen ölçüde artırdığı için istenmemektedir (Postacıoğlu, 1987; Akman, 1984). Silt ve taşunu sınırlı miktarda kullanıldığında ince agreganın nisbeten kaba olduğu durumlarda ya da kohesif bir beton istendiğinde faydalı olabilir. Alkali agregası reaktifliği, çimento alkalileri ile agregası arasında reaksiyon sonucu beton iç yapısı içinde oluşabilecek parçalanma, şişme, çatlama gibi hasarları önlemek için kontrol edilmelidir. Bazı tuzlar da benzer şekilde betona ve donatıya verebileceği hasar nedeniyle sınırlandırılmalıdır. Seçilen agregası yangına dayanıklı ve rötreye yapmayan türde olmalıdır. Aksi halde yapısal hasarlar beklenebilir (Barksdale, 1991; Collis, Fox, 1985).

#### 4. SONUÇLAR

- Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'nin üretimde kullandığı agregaların fiziksel özellikleri, Türkiye'de sektörde ilk defa uygulanan kapsamlı bir kalite güvence sistemi ile izlenmektedir. Agregası kaynakları seçilirken, agregası üzerinde yapılan deneylerin yanısıra ocağın kapasite ve üretim şartları izlenmekte, numune üretimleri yapılarak agreganın istenen kalitede olup olmadığı defalarca kontrol edilmekte, kontroller üretim süresince de sürekli yapılmaktadır (Şekil 1).
- Yukarıda bahsedilen şekilde, periyodik olarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, kullanılan agregaların yoğunluk, gevşek ve sıkı birim ağırlık ve incelik modülü özelliklerinin değişkenliğinin son 1.5 yıllık bir süre için izlendiğinde %10'un altında kaldığı bulunmaktadır (Çizelge 1). Bu da, agreganın mekanik özellikleri ve gradasyonunun zaman içinde üniform olduğunu göstermektedir.
- Agregası yoğunluğu, betonun mekanik özelliklerini etkileyen bir büyüklüktür. Literatürde verilen ve bu çalışmada da doğrulanan uygun beton agregası yoğunluğu  $2.6 \text{ gr/cm}^3$  olmaktadır. Yapı Maden A.Ş. agregalarının yoğunlukları 2.62 ila 2.74  $\text{gr/cm}^3$  arasında değişmektedir (Çizelge 1). Ortalama agregası yoğunluğunun 2.70-2.74  $\text{gr/cm}^3$  olması, betonun mekanik özelliklerinin, özellikle çökme ve stabilite problemlerinde önem kazanan elastik modülün sağlanması açısından önemli bir özellik taşımaktadır (Şekil 2).

- Agreganın su emme kapasitesi standartlarda sınırlandırılmamakla birlikte İngiliz standartları %3 değerini önermektedir. Prefabrikasyon A.Ş.'nin kullandığı Yapı Maden agregalarının su emme kapasiteleri tüm değerler bakımından %2'nin altında kalmaktadır (Çizelge 1). Bu özellik su tashihi açısından da kolaylık sağlamaktadır.
- Agregaların yoğunluk-su emme özellikleri arasında önceki çalışmalardan da bilinen ilinti Yapı Maden agregaları için çıkarılmıştır (Şekil 3). Buna göre, su emme değeri düşük olan agregaların mekanik büyüklükleri artmaktadır.
- Agreganın gevşek ve sıkı birim ağırlığı, tanelerin yüzey yapısı ve aralarında kalan boşluk miktarı açısından fikir vermektedir. Ayrıca, gradasyon da bu büyüklük yardımı ile izlenerek kalite denetimi çok yönlü kontrollerle sağlanmış olmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmanın yapılması ve yayımlanmasını teşvik eden Yapı Merkezi A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Dr. Yük. Müh. Sn. Ersin ARIOĞLU'na teşekkür ederler. Çalışmada ileri sürülen sonuçlar sadece yazarlara aittir.

## KAYNAKLAR

- Akman, M.S. (1984)**, "Beton ve Mühendis", *Beton Semineri*, D.S.İ., Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 6-10 Şubat 1994, Ankara.
- Arioğlu, Ergin (1991)**, "Analysis of the Concrete Strength", A. Baalbaki, B. Benmokrane, O. Chaallal, P.C. Aitcin (*Tartışma Y.*), *ACI Materials J.*, Jul-Aug, 425-428.
- Arioğlu, Ergin (1992)**, "Influence of Coarse Aggregate on Elastic Properties of High Performance Concrete", A. Baalbaki, B. Benmokrane, O. Chaallal, and P.C. Aitcin (*Tartışma Yazısı*), *ACI Materials Journal*, July-August, s.425-428.
- Arioğlu, Ergin, Manzak, O. (1991)**, "İstanbul ve Çevresindeki Bazı Taş Ocaklarında Üretilen "Beton İri Agregalar"ın Mühendislik Özelliklerinin İrdelenmesi", *Prefabrik Birliği*, Sayı:20, Ekim.
- Arioğlu, Ergin (1993a)**, "Kayaçların Mekanik Büyüklüklerinin Beton Elastik Parametrelerine Etkisi", Devam etmekte olan çalışma.
- Arioğlu, Ergin (1993b)**, "Reproportioning Concrete Mixes", T.S.Nagaraj, S.G. Shashiprakash, B.K.R. Prasad (*Tartışma Y.*), *ACI Materials J.*, Nov-Dec, s.631-632.
- Arioğlu, Ergin, Odbay, O. (1994)**, "Designing Concrete Mixtures for Strength, Elastic Modulus and Fracture Energy", P.J.M. Monteiro, P.R.L. Helene, S.H. Kang, (*Tartışma Yazısı*), *Materials and Structures, RILEM*, No.27, s.494-497.

**Arioğlu, Ergin, Köylüoğlu, Ö.S (1996)**, "Yüksek ve Çok Yüksek Dayanımlı Betonlarda Sünelik Özelliğinin İncelenmesi ve Çeşitli Şartnamelerle Karşılaştırılması", *Beton Prefabrikasyon*, Sayı:37, Ocak.

**Arioğlu, Ergin (1996)**, "Statistical Properties of Plant-Produced High Strength Concrete in Compression", Reader Comments, *PCI Journal*, Vol.41, No1, Jan.-Feb.

**ASTM (1986)**, *Concrete and Mineral Aggregates*, Annual Book of ASTM Standards, Section 4:Construction, Vol.04.02.

**Barksdale, Richard D. (1991) (editör)**, *The Aggregate Handbook*, National Stone Association, Washington D.C.

**Collis, L., Fox, R.A. (1985) (editörler)**, *Aggregates: Sand, Gravel & Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes*, The Geological Society, London.

**Collins, M.P., Mitchell, D., MacGregor, J.G. (1993)**, "Structural Design Considerations for High-Strength Concrete", *Concrete International*, May, s.27-34.

**Erdoğan, T.Y. (1995)**, *Betonu Oluşturan Malzemeler - Agregalar*, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını.

**Hover, K. (1995)**, "Graphical Approach to Mixture Proportioning bu ACI 211.1-91", *Concrete International*, Sept., s.49-53.

**Jerath, S., Kabbani, I.A. (1983)**, "Computer-Aided Concrete Mix Proportioning", *ACI Journal*, No.4, Proceedings, V.80, July-August.

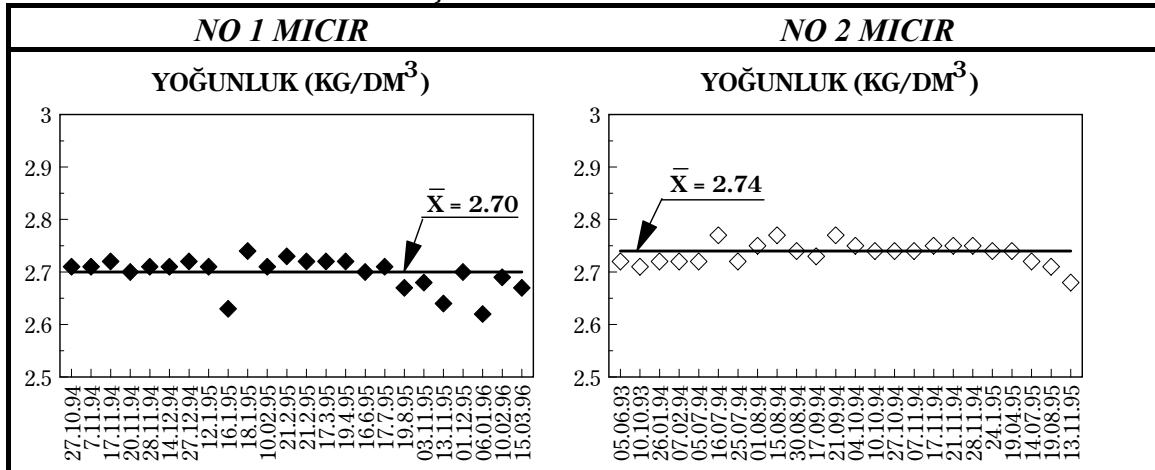
**Popovics, Sandor (1979)**, *Concrete Making Materials*, MacGraw Hill.

**Postacıoğlu, B. (1987)**, *Beton, Cilt 2: Agregalar*, Matbaa Teknisyenleri, İst.

**Tighiouart, Benmokrane, Baalbaki (1994)**, "Caracteristiques Mecaniques et Elastiques de Bétons à Haute Performance Confectionnés Aves Differents Types de Gros Granulats", *Materials and Structures*, Vol.27, No.168, 211-221.

**Yapı Merkezi (1994)**, Ajanda Bilgi Föyü.

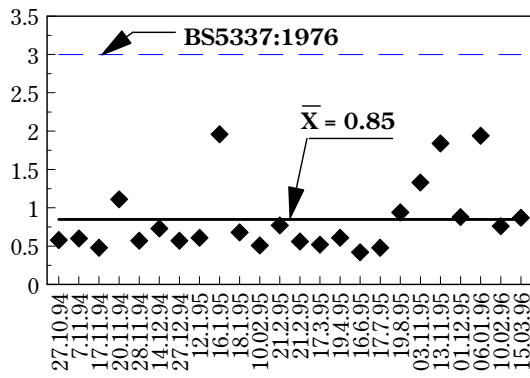
## EK-A: DENEYLERDE ÖLÇÜLEN AGREGA FİZİKSEL BÜYÜKLÜKLERİ



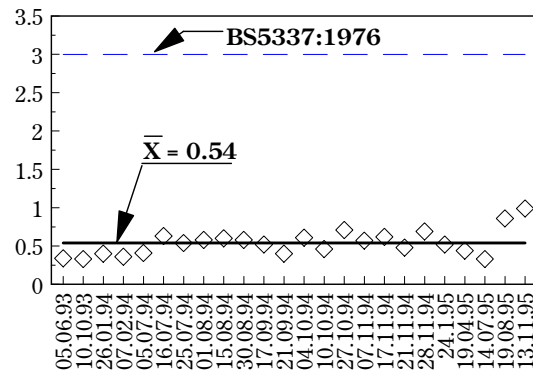
**NO 1 MICIR**

**NO 2 MICIR**

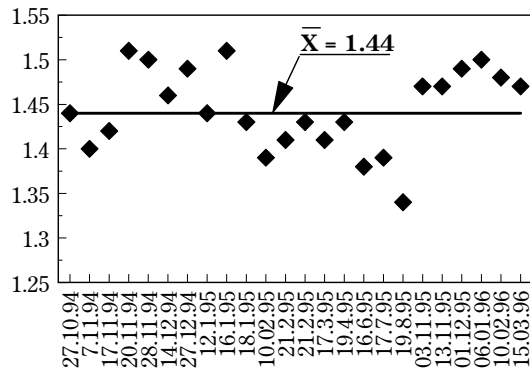
**SU EMME (%)**



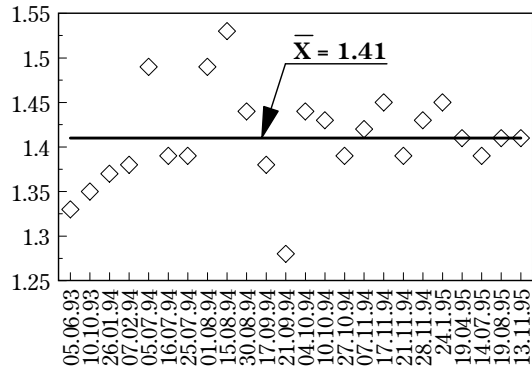
**SU EMME (%)**

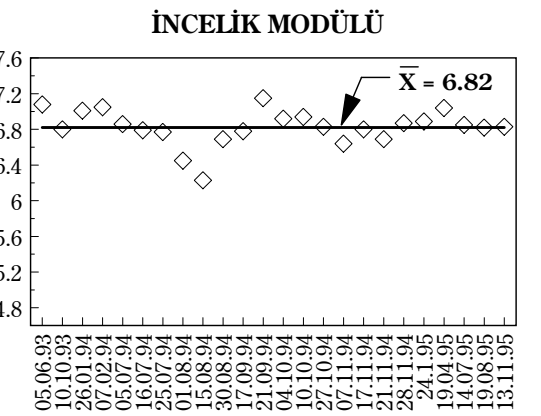
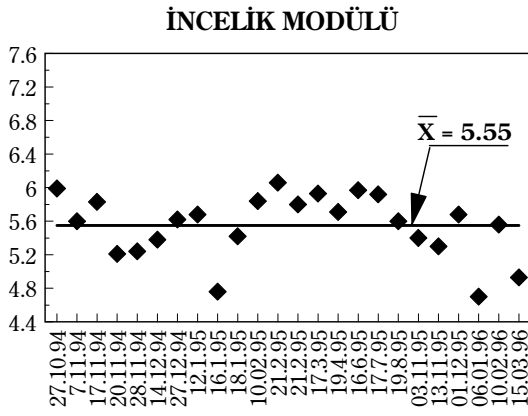
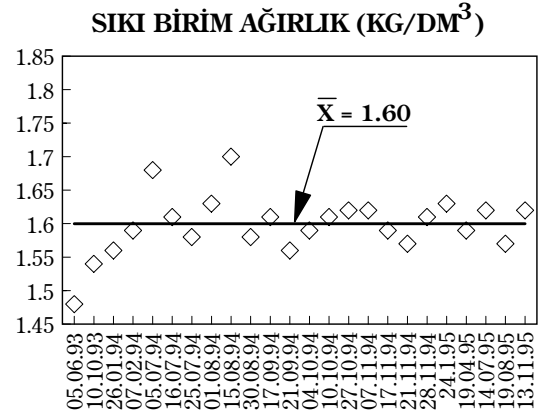
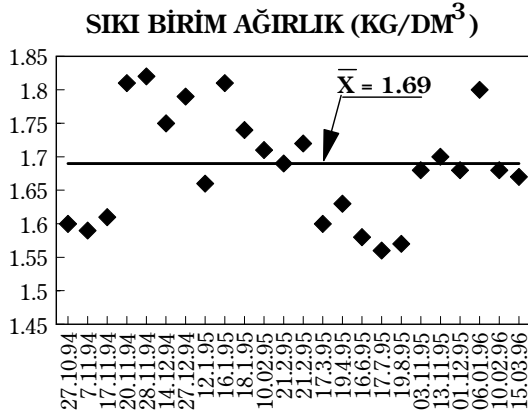


**GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK (KG/DM<sup>3</sup>)**



**GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK (KG/DM<sup>3</sup>)**





## EK-B: BETON KARIŞIM BİLEŞİMİ HESABI VE SU DÜZELTME

- Karışım hesabının dayandırıldığı 28 gün'lük beton dayanımı

$$f_k = f_p + tS$$

$f_p$  = Proje Dayanımı (Karakteristik Dayanım)

$f_k$  = Karışım tasarımının dayandırılacağı dayanım düzeyi

$t$  = İstatistiksel büyüklük,  $f_p$ 'den düşük değerlerin bulunma olasılığı %10 için

$t=1.28$ ,  $f_p$ 'den düşük değerlerin bulunma olasılığı %5 için  $t=1.64$  alınır.

$S$  = Standart sapma; Üretimin aritmetik ortalama etrafındaki dağılımı.

- Su çimento oranı,  $\alpha$ :

$$f_k = Ae^{-B\sqrt[5]{\log \alpha}} \quad (\text{Arioğlu, Odbay, 1994})$$

Bu matematik formun, bilinen diğer matematik modlara (Yapı Merkezi, 1994; Arioğlu, 1993b) göre daha yüksek kestirim kapasitesi olduğu, yazarlar tarafından gösterilmiştir (Arioğlu, Odbay, 1994).

$A$  ve  $B$ ; regresyon katsayıları olup, kullanılan malzemeye ve şantiye şartlarına göre değişik değerler alır.

- Karışımın yaklaşık su ihtiyacı (hava sürüklenmemiş normal beton karışımı):

$$M_{su} = \frac{218.80}{d_{mak,mm}^{0.18}} \Delta_{,mm}^{0.1} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (\text{Jerath, Kabbani, 1983; Arioğlu, 1991})$$

$d_{mak}$  = Maksimum iri agrega çapı, mm

$\Delta$  = Çökme, mm.

- Karışıma girecek çimento miktarı,  $M_\zeta$ :

$$\alpha = \frac{M_{su}}{M_\zeta} \quad \rightarrow \quad M_\zeta = \frac{M_{su}}{\alpha} \quad (\text{kg/m}^3)$$

- İri agreganın hacim ve ağırlık hesabı:

İri agreganın hacmi (fırınlanmış: kuru ve sıkıştırılmış):

$$V_i = \frac{0.506}{(FM)^{0.41}} d_{mak,mm}^{0.2} \quad (\text{m}^3/\text{m}^3) \quad (\text{Jerath, Kabbani, 1983})$$

İri agreganın ağırlığı (yüzey kuru, doyun):

$$M_{i,ykd} = (1 + \omega_i) V_i \gamma_{i,\zeta} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$\gamma_{i,\zeta}$  = İri agreganın fırınlanmış, sıkı kuru yoğunluğu,  $\text{kg/m}^3$

$\omega_i$  = İri agreganın su emme kapasitesi, %

$FM$  = Kumun incelik modülü



- İnce agreganın hacim ve ağırlık hesabı:

$$\text{Suyun hacmi: } V_{su} = \frac{M_{su}^{(kg)}}{1000^{(kg/m^3)}}, m^3$$

$$\text{Çimentonun hacmi: } V_{\zeta} = \frac{M_{\zeta}^{(kg)}}{\gamma_{\zeta}^{(kg/m^3)}}, m^3$$

$$\text{İri agreganın hacmi (yüzey kuru, doymun rejim): } V_{i,ykd} = \frac{M_{i,ykd}^{(kg)}}{\gamma_i^{(kg/m^3)}}, m^3$$

Hava boşluğu için:  $V_{hava} = \% 1.5 \sim 2.0$  ( $d_{mak} = 10-20$  mm ve hava katılmamış normal beton için bu değerler karışım tasarımı ve düzeltme hesapları için yeterlidir, Hover, 1995)

$$\text{İnce agreganın hacmi: } V_k = 1 - [V_{su} + V_{\zeta} + V_i + V_{hava}] \quad (m^3/m^3)$$

$$\text{İnce agreganın ağırlığı: } M_k = V_k^{(m^3/m^3)} \gamma_k^{(kg/m^3)} \quad (kg/m^3)$$

$\gamma_{\zeta}, \gamma_i, \gamma_k$  = Sırası ile çimentonun, iri agreganın, kumun yoğunluğu,  $kg/m^3$

- Agregaların yığındaki şartlar altındaki su ayarı:

$$\text{Yığın içindeki iri agrega: } M_{i,y} = M_{i,ykd} \left( 1 + \frac{\omega_i' - \omega_i}{100} \right)$$

$$\text{Yığın içindeki ince agrega: } M_{k,y} = M_k \left( 1 + \frac{\omega_k' - \omega_k}{100} \right)$$

$\omega_i', \omega_i$  = İri agregaların mevcut nem içeriği, su emme kapasitesi, sırası ile, %

$\omega_k', \omega_k$  = İnce agregaların mevcut nem içeriği, su emme kapasitesi, sırası ile, %

- Gerçek karışımında kullanılması gereken su miktarı:

$$M'_{su} = \underbrace{M_{su} + M_{i,ykd} \left( \frac{\omega_i - \omega_i^{\odot}}{100} \right)}_{\text{İri agrega tarafından emilen su miktarı}} + \underbrace{M_k \left( \frac{\omega_k - \omega_k^{\odot}}{100} \right)}_{\text{İnce agrega tarafından emilen su miktarı}}$$

- Karışım hesabında kullanılacak karışım bileşenleri:

$$M_{\zeta} + M_{i,y} + M_{k,y} + M'_{su}$$

- Taze beton karışımının yoğunluğu:

$$\gamma_b = M_{\zeta} + M_{i,y} + M_{k,y} + M'_{su} \quad (kg/m^3)$$

$\gamma_b$ , normal ağırlıklı agrega (kireçtaşı, granit) ve  $d_{mak}=10$  mm'lik agrega çapı için  $2285 kg/m^3$ ; 20 mm'lik agrega için  $2360 kg/m^3$  (Hover,1995) olmaktadır.