

Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma

Factors which affect the compressive strength of concrete and a study on the selection of pack concrete

Selami İSTANBÜLLÜOĞLÜ (*)

ÖZET

Bir tahkimat türü olarak ramblede kullanılan betonun basınç dayanımına su, çimento, agrega, granülometri, sıcaklık, nem ve katkı maddesi gibi çok sayıda faktör doğrudan etki eder. Yeraltında, artan arazi yükleri altındaki taze betonun yeterli dayanımı sağlaması ise, ancak bu çok sayıdaki faktörün hep birlikte değerlendirilmeleri ve doğru seçilmeleri ile olabilecektir.

Bu yazıda, O.A.L. Müessesesindeki ramble için düşünülen betonla ilgili yapılan çalışmalar anlatılacaktır.

ABSTRACT

Several factors such as water, cement, aggregate, sizes, temperature, humidity and adding materials directly affect the compressive strength of pack concrete which is used as a pack support. The adequate strength of fresh concrete under the increasing pressure of underground workings can be obtained by evaluating all of these factors and by selecting proper values for these factors.

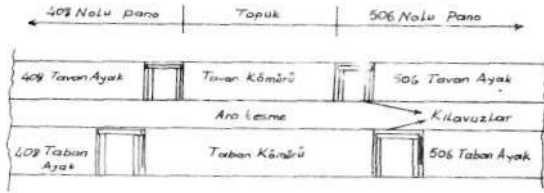
In this paper, the studies on the concrete to be used as a packing material at O.A.L. Establishment are presented.

(*) Maden Mühendisi, TKİ, OAL, işletmesi Müessesesi, Çayırhan - ANKARA

1. GİRİŞ

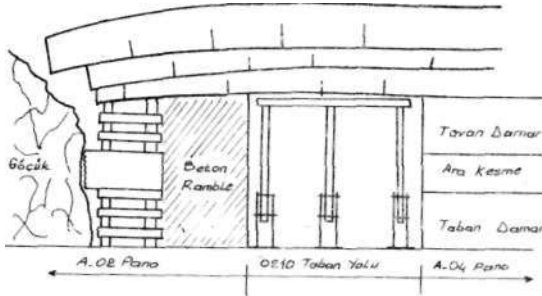
O.A.L. Müessesesi Çayırhan Bölgesinde kömür üretimi çalışmaları 2 tam mekanize pano (4 tam mekanize uzun ayak) ve 1 yarı mekanize panoda (2 uzun ayak) sürdürülmektedir. Her panodaki iki uzun ayağın biri yaklaşık 1,52 m kalınlığındaki tavan kömüründe, öteki yaklaşık 1,72 m kalınlığındaki taban kömüründe yer almaktadır. İki ayak arası uzaklık 25-30 m civarında tutulmaktadır. Tavan ve taban kömürleri arasında 0,42 m ile 1,70 m arasında değişen arakesme vardır.

1982 yılında çalışmaya başlayan Hobel Panosuna kadar tavan ve taban ayaklar için kılavuz adı verilen ve tavan ile taban damarları içinde ayrı ayrı açılan taban yolları kullanılmıştır, iki pano arasında 15 m ya da 30 m topuk bırakılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Eski sistemde iki pano arasında bırakılan topuk ve kılavuzlar (ölçeksiz)

Hobel panosundan başlayarak, mekanize çalışmaya da geçilmesiyle, bu sistem terkedilmiştir. Şu an, bir panodaki iki ayak için tavan damarı, arakesme ve taban damarını kapsayan yaklaşık 4 m yüksekliğinde tek taban yolu açılmaktadır. Bu yeni sistemde panolar arasında topuk bırakılmamakta ve bir panonun alt taban yolu ayaklar geçtikten sonra göçmeye bırakılmayıp korunmaktadır. Göçertilmeyip tutulan bu alt taban yolu daha sonra bir aşağıdaki öteki panonun tavan ve taban ayaklarında üst taban yolu olarak tekrar kullanılmaktadır (Şekil 2).



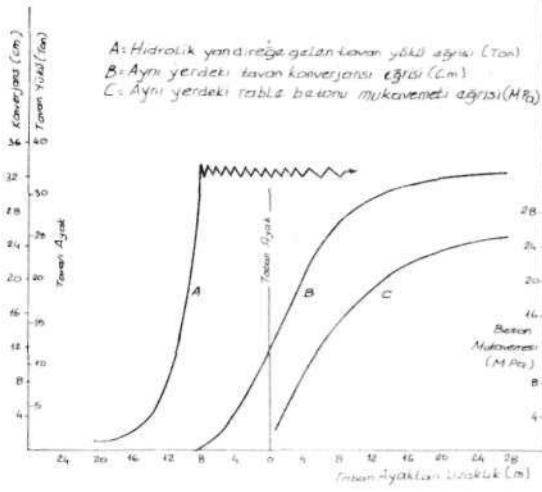
Şekil 2. Yeni sistemde iki pano arasında korunan taban yolu (ölçeksiz)

Panolarda, alt taban yollarının göçertilmeyerek korunması, taban yolu tahkimatının geliştirilmesi ve güçlendirilmesinin yanısıra, çalışan pano tarafına ramble duvarı yapılması ile başarılmaktadır. Beton ramble duvarı ayrıca çalışan panonun göçük tarafına hava sızdırmazlığını sağlamaktadır. Şunu belirtmek gerekir ki, yeni sistem 4 m.lik taban yollarının avantaj, dezavantaj ve eleştirisi; taban yolları konverjansları, taban kabarmaları, tavan yükleri; buna karşı geliştirilen tahkimat sistemlerinin boyutlandırılması, tasarımı ve dayanımları gibi konular önemli ve üzerinde çalışılan, çeşitli ölçümler yapılan konulardır (İstanbulluoğlu, 1987). Ancak, tüm bu konuların hepsinin tek bir yazıda toplanamayacağı açıktır. Bu yazıda, öteki konulara girmeden, yalnızca ramble duvarında kullanılacak betonla ilgili çalışmalar verilecektir.

2. TESTLERİN YAKLAŞIM VE AMACI

Yazarın saptamalarına göre, yeraltında tahkimat olarak kullanılan betonun (özellikle ramble duvarı betonunun) yerüstü beton çalışmalarından en önemli farkı, beton yapılır yapılmaz ya da çok kısa zaman sonra, zamana göre değişken (genellikle artan) ve önemsenmeyecek büyüklükteki arazi yüklerinin etkisi altında kalmasıdır. Diğer yandan, bilinmektedir ki, bu zamanla artan arazi yüklerine karşı koyan betonun dayanımı da sıfırdan başlar, zamanın bir fonksiyonu olarak artar, ve 28 gün sonra son değerine eriştiği kabul edilir. Yani, hem betonun üzerine gelen yükler ve konverjans: hem de bu yük ve konverjansa karşı koyan betonun dayanımı zamana bağlı olarak değişen değerlerdir ve belli bir zaman sonra dengeye girer ya da son durumlarına erişirler. Bu durumda, yazar yeraltında yapılacak beton tahkimatının projelendirilmesinde ve seçiminde, yerüstü beton çalışmalarında genellikle yapıldığı gibi 28 günlük dayanım değil de, harç atımından 28 gün sonrasına kaöarki beton dayanımı eğrisinin esas alınması gerektiğine inanmaktadır ve çalışmalarını bu esas üzerine kurmuştur.

Şekil 3'de, Bölgenin A-02 panosu, 0210 alt taban yolunun herhangi bir noktasında ölçülen tavan konverjansı, taban yolu tahkimatı yandireğine gelen tavan yükleri ile aynı noktadaki ramble betonunun dayanım eğrisi, taban ayak başından uzaklıklarına göre çizilmiştir. Panonun bu kısmında, ayak ilerlemeleri günde 1 m'ye eşit olup, şekildeki yatay koordinatta 1 m'lik değişim 1 güne karşı gelmektedir.



Şekil 3.0210 Alt katın yükü 33 nokta noktasında tavan yükü konverjansı ve beton basınç mukavemetinin tavan ayaktan uzaklığa göre eğrisi

Ramble betonu ile ilgili çalışmada diğer bir yaklaşım, yeterli dayanım eğrisinin yanı sıra birim hacim harç içerisindeki çimento, agrega ve su miktarlarının her test serisi için bulunup karşılaştırılarak girdilerin ekonomik değerlendirilmesinde yapılması olmuştur. Herhangi bir agrega ve su ile hazırlanan beton karışımında, çimento miktarının artırılması ile betonun dayanımını artacaktır. Ancak, bu defa 1 m³ karışım içerisinde çok fazla çimento kullanılacağı için ramble betonunun maliyeti çok artacaktır.

Büyük ölçüde Müessese Kimya Laboratuvarında yürütülen testlerde Mart 1987 - Ocak 1988 tarihleri arasında yaklaşık 350 adet beton numunesi hazırlanıp kırılarak tek eksenli basınç dayanımları bulunmuştur. Yöntem olarak, öncelikle Çayırhan yöresinde bulunabilecek farklı türden agregalarla (kum, çakıl, kırılıp elenmiş kalker, termik santral kaba elektrofilitre külü, termik santral kazan çürüğü gibi) hazırlanan beton numunelerinin dayanım eğrileri ve 1 m³ sıkıştırılmış karışım içindeki çimento miktarları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonunda, diğer agrega türleri elenerek dayanım eğrileri ve 1 m³ sıkıştırılmış karışımındaki çimento miktarları daha iyi bulunan, ayrıca kurulacak ramble tesisinde kullanılabilmesi belirlenen kırılıp elenmiş kalker (granül kalker) ve termik santral kaba elektrofilitre külü (kaba EFK) agregaları ile diğer testlere devam edilmiştir. Çimento miktarının ve su çimento oranının basınç dayanımına etkisi deneylerinden sonra da (Bölüm 5.1 ve Bölüm 5.2) kalan testlere yalnızca granül kalker ile devam edilmiştir.

Bütün bu çalışmalarla; ramble betonunda kullanılacak en uygun agrega türünün, çimento miktarının; su çimento oranının, agrega granülometresinin, katkı maddesinin ve kür ortamının bulunması amaçlanmıştır.

3. BETON NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI VE KIRILMASI

Her bir test serisi için belli oranlarda hazırlanan çimento, agrega ve su (bazen de katkı maddesi) laboratuvardaki karıştırıcıda karıştırılarak beton karışımları elde edilmiş ve 20x20x20 cm boyutlarındaki küp numune kaplarına doldurulmuştur. Karışımın, bir numune kabına doldurulması iki aşamada tamamlanmıştır. İlk aşamada, numune kabının yaklaşık 12 cm'si doldurularak 16 mm çapında ve ucu yuvarlatılmış demir çubukla 20-25 defa şişleme yapılmıştır. İkinci aşamada ise, kabin kalan kısmı doldurulmuş ve yine aynı sayıda şişleme yapılmıştır. Numune kabına en son lastik tokmak ile dıştan birkaç kez vurulduktan sonra üstü mala ile düzeltilip numara verilmiştir. Bu şekilde numune kabına yerleştirilmiş karışım "Sıkıştırılmış Karışım" olarak adlandırılmıştır.

Numune kabına doldurularak donmaya bırakılan sıkıştırılmış karışım ilk 24 saat kalıpta bekletilmiştir. 24 saat sonra kalıptan çıkartılan beton numuneler laboratuvardaki bekletme havuzunda su içine bırakılmıştır. 7'nci günde kırılacak numuneler 6'ncı gün sudan çıkartılarak 24 saat dışarıda bekletilmiştir. Daha uzun zaman sonra kırılacak numuneler ise kırılmadan 2 gün önce tekrar suya konulup 24 saat suda bekletilmiştir.

Deneylerde, her test serisi için, Vinci günde, 7'nci günde ve 28'inci günde genellikle üçer numune, tek eksenli basınç dayanımı testine sokulmuştur. Ancak, birçok test serisinde, yukarıdaki günlerin dışında da dayanım testleri yapılmıştır.

4. FARKLI TÜRDEN AGREGALAR İLE HAZIRLANMIŞ BETON NUMUNELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu ilk grup testlerde, agrega olarak kum (0-7 mm) tuvonan çakıl, termik santral kaba elektrofilitre külü (kaba EFK), termik santral kazan çürüğü ve laboratuvarda kırılıp elenen granül kalker kullanıla-

rak hazırlanan numunelerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yukarıdaki beş farklı agrega ile hazırlanan beton numunelerinin içerikleri şu şekildedir:

a. Kum (0-7 mm), çimento, su. Yaklaşık karışım oranları: hacimsel olarak % 80 kum, % 20 çimento ve çimento ağırlığının % 100'ü oranında su.

b. Tuvönan çakıl, çimento, su. Yaklaşık karışım oranları: hacimsel olarak % 80 çakıl, % 20 çimento ve çimento ağırlığının % 100'ü oranında su.

c. Çayırhan Termik Santrali kaba elektrofilitre külü (kaba EFK), çimento, su. Karışım oranları: ağırlık olarak % 70 kaba EFK, % 30 çimento ve EFK i^o çimentonun toplam ağırlığının % 26,6'si oranında su.

d. Çayırhan Termik Santrali kazan cürufu, çimento, su. Karışım oranları: ağırlık olarak % 70 cüruf, % 30 çimento, ve cüruf ile çimentonun toplam ağırlığının % 10'u oranında su. (Suyun az olma nedeni cürufun oldukça nemli olmasıdır.)

e. Laboratuvarında hazırlanan granül kalker, çimento, su. Karışım oranları: hacimsel olarak % 85 granül kalker, % 15 çimento ve çimento ağırlığının % 72'si oranında su.

Kum ve tuvönan çakıl agregaları ile hazırlanan numunelerde; karışım, doğrudan yeraltındaki beton püskürtme ve beton ramble çalışmalarından alınmıştır.

Agrega türlerinden kaba EFK Çayırhan Termik Santrali EFK bunkerinden, cüruf ise Termik Santralden kül barajına giden taşıma bantlarından alınmıştır. Kaba EFK ve cüruf ile yapılan testlerde farklı çimento agrega oranları kullanılmış olup, bu ilk grup testlerin değerlendirilmesinde % 30 çimento—% 70 agrega oranları esas alınmıştır. Bunun nedeni ise, yukarıdaki oranlarda hazırlanan betonların dayanımı ve 1 m³ sıkıştırılmış karışım içindeki çimento miktarları olarak öteki agregalarla hazırlanan örneklerle karşılaştırmaya en uygun bulunması olmuştur.

Laboratuvarında hazırlanan granül kalker için gerekli hammadde ise, Çayırhan civarındaki kalker tabakalarının altere olmamış ya da çok az altere olmuş derinliklerinden alınmıştır. Laboratuvarında kırılan ve elenen kalker, pnömatik ramble sisteminde de kullanılabilir aşıdaki tane büyüklükleri ve hacimsel oranlarda (granülometride) karşıtılı-

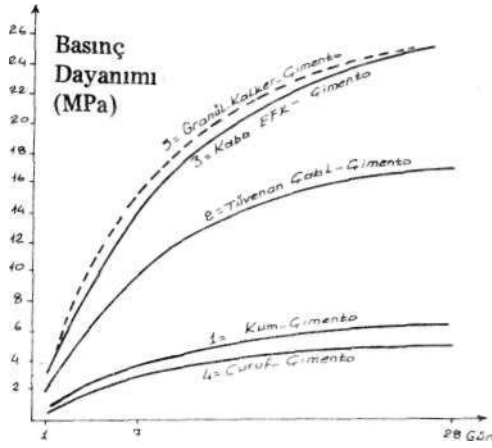
rak agrega haline getirilmiştir.

Tane Büyüklüğü (mm)	Hacimsel Oranı (%)
0,00-1,19	25
1,19-4,76	30
4,76-9,52	40
9,52-12,70	5

Tüm ilk grup testlerdeki su oranları, deneyler sonucu bulunan "Uygun Su Oranları"dır. Uygun su oranlarının nasıl bulunduğu Bölüm 5.1'de açıklanmaktadır.

Çakıl, kum ve granül kalker agregaları ile yapılan testlerde, karışım içindeki girdilerin karışım oranları hacimsel olarak, kaba EFK ve cüruf agregaları ile yapılan testlerde ise bu karışım oranları ağırlık bazında alınmıştır. Bunun nedeni, yurt içi ve yurt dışındaki başka kuruluşlarda, aynı ya da benzer agregalarla yapılmış olan testlerin sonuçları ile karşılaştırma yapabilme olanağını sağlamaktır(10). Ancak, yukardaki farklı agregalarla yapılan numunelerin karışım oranlarının aynı bazda karşılaştırılabilmesi için her test serisinde 1 m³ sıkıştırılmış karışım içindeki çimento, agrega ve su miktarları kilogram olarak hesaplanmış ve Çizelge 1 'de ayrıca verilmiştir.

Farklı türden agregalarla yapılan testlerin dayanım eğrileri sonuçları Şekil 4'de, 1 m³ beton karışımı için girdiler ise Çizelge 1 'de verilmektedir. Şekil ve çizelgenin birlikte değerlendirilmesiyle, kum ve cüruf agregaları ile hazırlanan beton numunelerinin hem dayanımlarının çok düşük, hem de 1 m³ sıkıştırılmış karışım içindeki çimento miktarlarının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Tuvönan çakılın agrega olarak kullanıldığı beton numunelerin basınç dayanımları ve çimento miktarları ise ortalama değerler vermektedir. Kaba EFK ve granül kalker agregaları ile yapılan beton numunelerinin basınç dayanımları en yüksek çıkmakta ve 1 m³ sıkıştırılmış karışım içindeki çimento miktarları göreceli olarak düşük olmaktadır. Bu durumda, kum, cüruf ve tuvönan çakıl ile bu noktadan sonra test yapılmamış, deneylere granül kalker ve kaba EFK agregaları ile devam edilmiştir. Tuvönan çakılın elimine edilmesinin diğer bir nedeni de pnömatik ramble sistemi için kullanışsız olmasıdır.



Şekil 4 Farklı agregalarla hazırlanmış beton numunelerinin dayanım eğrileri

Çizelge 1. Farklı Agregalarda Hazırlanmış Numunelerinde Dayanımlar ve Karışım Girdileri

T. No	Mukavemet (MPa):			1 m ³ Ka. İm İçin Girdiler (kg)		
	1 G ün	7. Gün	28 Gün	Çimento	Agrega	Su
1. Kum, Çimento, Su	0h	3,8	6,5	320	142d	(20
2. Tuvönan Çakıl, Çimento, Su	2,0	10,0	17,0	100	1660	300
3. Kaba EFK, Çimento, Su	3,2	14,0	15,0	JSU	1050	400
4. Çürük, Çimento, Su	0,6	3,3	5,2	490	1150	160
5. Granül Kalker, Çimento, Su	3,3	15,3	25,0	270	1570	195

Çalışmaların bu noktasında, granül kalker ya da kaba EFK agregaları ile hazırlanacak betonun yeraltındaki ramble duvarında da yeterli dayanım sağlayıp sağlamayacağı belirlenmesi gerekmektedir. Taban yolundaki tahkimatlara gelen yüklerin ve tahkimat dayanımlarının analizleri sonucu bu agregaların deneyler sonucu bulunan dayanımlarının yeterli olacağı hesaplanmıştır. Ayrıca, 1986 yılından başlayarak 1988 yılı başlarına kadar yeraltındaki ramble duvarı, Şekil 4'de dayanım eğrisi verilen tuvönan çakıl agregası kullanılarak yapılmıştır. Tuvönan çakılla yapılan bu ramble duvarlarının, beton faktörü dışındaki taban yolu tahkimatlarının çok zayıf olması gibi bazı özel durumlar dışında yeterli olduğu gözlenmiştir. Dayanım eğrilerin tuvönan çakıldan çok daha iyi olan granül kalker ve kaba EFK ile hazırlanan betonların da yeraltındaki ramble duvarında yeterli olacağı yazar tarafından kabul edilmiştir. Nitekim 1988 yılı başından bu yana yeraltında ramble agregası olarak granül kalker kullanılmaktadır ve normal şartlar altında, bu duvar istenilen dayanıklılığı vermektedir.

5. BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİ EDEN ÖNEMLİ FAKTÖRLER

Betonun basınç dayanımına etki eden önemli faktörler: çimento miktarı, su çimento oranı, agrega özellikleri (agreganın cinsi, granülo-metrik bileşimi, maksimum tane büyüklüğü, petrografik ve geometrik özelliği), çimentonun kalitesi, taze betonun kompasitesi, katkı maddesi türü ve miktarı, kür şekli (ortamı) ve sertleşme yaşı olarak sıralanabilir. Ayrıca, bu çalışmanın kapsamına alınmayan, karışımın hazırlanıp kalıba yerleştirme biçimi ve laboratuvar çalışmalarında test yöntemleri ile ilgili faktörlerde basınç dayanımına etken unsurlardır.

5.1. Çimento Miktarının Basınç Dayanımına Etkisi

En genel şekliyle tanımlandığında; çimento, karışımında su ile bağlayıcı hamur oluşturarak agrega taneciklerini birbirine bağlayan malzemedir. Bir beton kütle, çimento, su ve havadan oluşan bağlayıcı hamur ile agreganın iç içe girmesinden oluşmaktadır. Beton kütledeki agrega taneciklerinin yeterli sağlamlıkta (dayanımda) oldukları varsayılırsa, bağlayıcı hamurun agrega tanecikleri arasındaki boşlukları doldurucu yeterlilikte ve sağlamlılıkta olmasının betonun dayanımı üzerindeki etkisi ortaya çıkar. Nitekim, basınç altındaki beton kütle en zayıf yeri olan bağlayıcı hamurundan kırılmaktadır ki, bağlayıcı hamurun güçlendirilmesi doğrudan betonun güçlendirilmesidir. Bağlayıcı hamurun yeterliliğinin ve sağlamlılığının diğer faktörlerin yanı sıra önemli ölçüde içindeki çimento miktarına bağlı olduğu bilindiğine göre, belli bir kritik değere kadar betonun içerisinde çimento miktarı arttıkça betonun dayanımı da artacaktır.

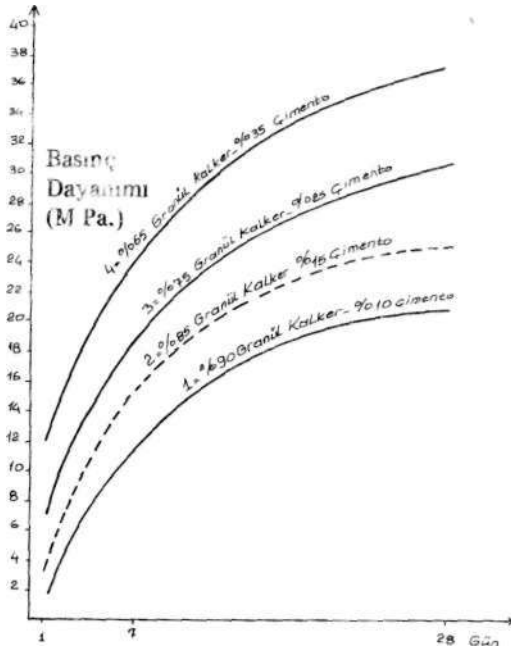
1 m³ sıkıştırılmış karışım içerisinde bulunması gereken en az çimento miktarı, yapılacak betonun türü ve kullanım amacı, agregası, su çimento oranı, kıvamı gibi bir çok faktöre bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Ancak, literatürde (Arioğlu ve Nasuf, 1986) ortalama bir değer olarak aşağıda görgül eşitlik verilmektedir.

$$M_{\text{ç}} = \frac{550}{5\sqrt{D}} \quad [1]$$

$M_{\text{ç}}$ = 1 m³ sıkıştırılmış karışım için en az çimento miktarı, kg

D - En büyük agrega çapı, mm.

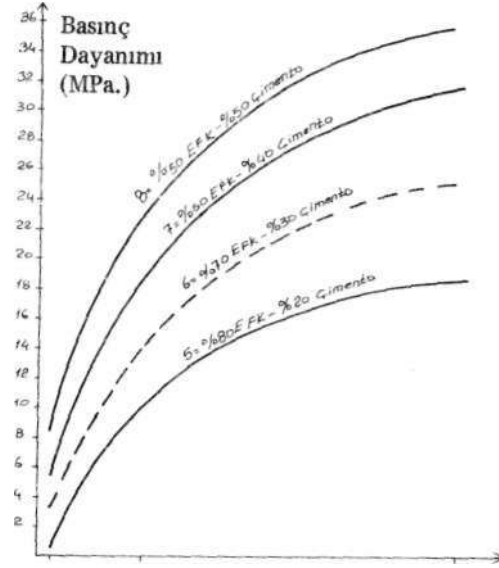
Granül kalker ve kaba EFK agregaları kullanılarak yapılan deneylerde, beklenildiği gibi, karışım içerisindeki çimento miktarı artırıldıkça basınç dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 5 ve Şekil 6). Her iki test serisinde de, 1 m³ sıkıştırılmış karışım içerisindeki çimento ve diğer girdiler Çizelge 2'de yer almaktadır. Şekil 5, Şekil 6 ve Çizelge 2 birlikte incelendiğinde görülmektedir ki, çimento miktarı arttıkça, dayanımlardaki artışın yanı sıra 1 m³ sıkıştırılmış karışım içerisindeki çimento miktarları da önemli ölçüde artmaktadır. Sonuç olarak, yeterli dayanımları sağlayan en düşük çimento oranlı karışımlar: hacimsel % 15 çimento - % 85 granül kalker karışımı ve ağırlık olarak % 30 çimento - % 70 kaba EFK karışımları olup, sonraki deneyler bu karışım oranları esas alınarak sürdürülmüştür.



Şekil 5. Farklı çimento miktarlarında dayanım eğrileri (G.Kalker ile)

Çizelge 2. Farklı Çimento Miktarlarında Dayanımlar, Karışım Girdileri ve Su Çimento Oranları

Test Serisi	Dayanım (Mpa)			1 m ³ Karışımındaki Girdiler (kg)	Su	S/Ç	
	1. Gün	7. Gün	28. Gün				
1. %10 Çimento - %90 G.Kalker	1,8	11,5	21,8	150	1670	120	0,80
2. %15 Çimento - %85 G.Kalker	3,3	15,3	25,0	270	1570	195	0,72
3. %25 Çimento - %75 G.Kalker	7,2	19,0	30,5	500	1520	240	0,48
4. %35 Çimento - %65 G.Kalker	12,0	24,4	37,0	750	1420	300	0,40
5. %20 Çimento - %80 Kaba EFK	0,6	10,0	18,8	1111	220	420	1,35
6. %30 Çimento - %70 Kaba EFK	3,2	14,0	25,0	450	1010	400	0,89
7. %40 Çimento - %60 Kaba EFK	6,0	18,7	31,5	580	880	390	0,67
8. %50 Çimento - %50 Kaba EFK	8,6	23,0	35,7	745	745	410	0,55



Şekil 6 Farklı çimento miktarlarında dayanım eğrileri (Kaba EFK ile)

Bu bölümdeki tüm testlerde ve kıvam deneylerinin yer aldığı Bölüm 5.2 dışındaki bütün bölümlerde, çimento miktarı, agrega cinsi, granülometri, kür ortamı gibi faktörler değiştirilerek denetlenirken taze betonun kıvamı her zaman sabit alınmıştır. Sabit alınan bu kıvam, beton dayanımının yüksek ve taze beton akıcılığının az olduğu nemli toprak kıvamı ile plastik kıvam arasında olup, her test serisi için bu kıvamı sağlayan su oranına "Uygun Su Oranı" adı verilmiştir.

5.2. Su Çimento Oranının (Kıvamın) Basınç Dayanımına Etkisi

Madencilikteki beton çalışmalarında az bilinen, ancak beton dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri de yoğurma suyunun karışım içindeki çimentoya oranıdır (su çimento oranı).

Karışım içerisine konulan beton yoğurma suyunun iki temel görevi vardır:

a. Betonun mukavemetinde etken olan görevi; yoğurma suyu çimento ile reaksiyona girer, bağlayıcı hamuru oluşturur. Çimentonun prizini (hidrasyonunu) ve sertleşmesini sağlar. Bu iş için gerekli yoğurma suyu miktarı literatürde çimento ağırlığının 0,08 ile 0,22'si arasında verilmektedir (Akbulak ve arkadaşları, 1967).

b. Betonun akıcılığı ve işlenebilirliği üzerinde etken olan görevi, yoğurma suyu agrega ve çimen-

to taneciklerini ıslatarak taze betona belirli bir akıcılık (kıvam) verir. Bu görev için gerekli yoğurma suyu ise, çimento ağırlığının 0,30 ile 1,50 si kadardır.

Görüldüğü gibi, bağlayıcı hamur oluşturmak için gereken suyun miktarı, tanecikleri ıslatmak için gerekenden çok azdır. Beton yoğurma suyunun belirlenmesinde taze betonun akıcılığının (kıvamının) esas alındığı buradan da anlaşılmaktadır.

Çimentonun prizinden (hidratasyonundan) sonra taze beton akıcılık sağlaması için konulan su zamanla buharlaşarak ayrılır ve betonda boşluklar oluşur. Bu durumda ise, betonun dayanımının düşmesine neden olur. Diğer bir deyişle, beton içinde (hidratasyon için gereken suyun dışında) taze betonun akıcılığı için katılan su miktarı arttıkça, yani su çimento oranı yükseldikçe, taze betonun akıcılığı (kıvamı) artar ancak betonun dayanımı hızla düşer. Çeşitli kaynaklarda, su çimento oranının dayanıma olan etkisi aşağıdaki bağlantı şeklinde verilmektedir (Postacıoğlu, 1969).

$$\text{Beton } DL, \text{ neti} = -\frac{1}{K^w} \quad [2]$$

K= Farklı betonlar için farklı deneysel katsayı,
w = Su çimento oranı (Ağırlık olarak).

Yukarıdaki eşitliğe dikkat edilirse, su çimento oranının artması ile dayanım hızla düşmektedir. Öte yandan, taze beton içerisindeki çimentonun bütün olarak hidratasyonunu sağlamayacak kadar (bağlayıcı hamur oluşturamayacak kadar) az su koymak da doğal olarak basınç dayanımını hızla düşürecek tir.

Yukarıda, beton yoğurma suyunun belirlenmesinde taze betonun akıcılığının (kıvamının) esas alındığı belirtilmişti. Taze beton kıvamı üç sınıfa ayrılır (Türk Standartlar Enstitüsü):

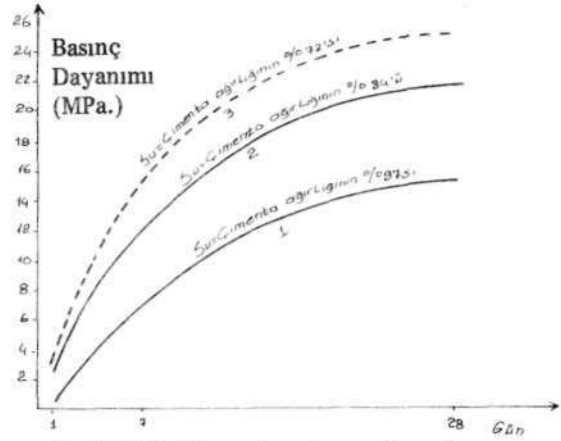
- Nemli Toprak Kıvamında Beton: betonun içinde, eile yoğrulduğu zaman avuca bağlayıcı hamur (çimento hamuru) yapışacak kadar ve ancak iyice sıkıştırıldıktan sonra üst yüzeyi plastik ve düzgün görünüş olacak kadar su bulunmalıdır.

— Plastik Beton: kıvamında, kütle hamur haline gelecek kadar su bulunmalıdır. Abrams çökme deneyinde ölçülen miktar 5-10 cm'yi geçmemelidir.

— Akıcı Beton: sulu hamur görünüşünde olacak kadar su ile karıştırılmalıdır. Abrams çökme değeri 10-15 cm olmalıdır.

Nemli toprak kıvamında, akıcılık en az, dayanım en yüksektir. Akıcı beton kıvamında ise, akıcılık en yüksek dayanım en düşüktür, öte yandan, bilindiği gibi ramble betonu kütle beton yapılar sınıfına girer ve fazla bir akıcılık (işlenebilirlik) istenilmez. Bu nedenle ramble betonu ile ilgili ve bu yazının kapsamındaki tüm deneylerde (su çimento oranları deneyleri dışında) nemli toprak kıvamı ile plastik kıvam arasında ve nemli toprak kıvamına yakın sabit bir kıvam alınmıştır.

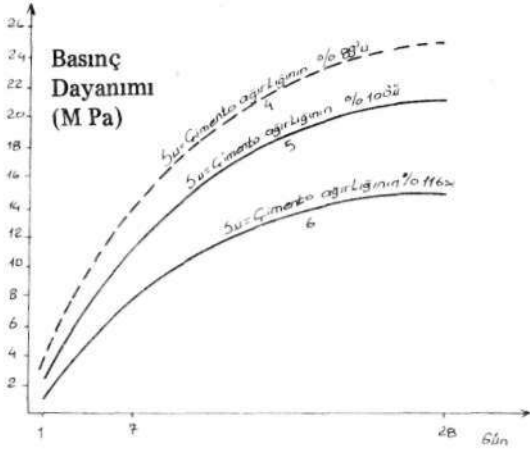
Bu bölümün testleri hacimsel % 15 çimento - % 85 granül kalker karışımı ve ağırlık olarak % 30 çimento - % 70 kaba EFK karışımı kullanılarak yapılmıştır. Çimento ve agrega oranlarını sabit tutup, su çimento oranlarını artırarak, (kıvamı değiştirerek) yapılan deneylerin dayanım eğrileri sonuçları Şekil 7 ve Şekil 8'de 1 m³ sıkıştırılmış karışım içerisindeki girdi miktarları da Çizelge 3'de verilmektedir. Açıkça görülmektedir ki, su çimento oranı artırıldıkça (kıvamı daha akıcı hale getirdikçe) basınç dayanımları hızla düşmektedir.



Şekil 7. Farklı su çimento oranlarında dayanım eğrileri (G.Kalker ile)

Çizelge 3. Farklı Su Çimento (S/C) Oranlarında Dayanımlar, Karışım Girdileri ve Yoğunluklar

Test Serisi	Dayanım (MPa)		1 n' Karışımındaki Girdiler (kg)		Karışım Yoğunluğu (ks/dm ³)		
	1.	7. Çün	28. Çün	A+rejij Su			
1. Çime to-G.Kalker, s/ç = 0,72	M	15,3	25,0	270	1570	195	2,11
2. Çime to-G.Kalker, s/ç = 0,84	2 I	12,0	21,7	310	1811	260	2,37
3. Çime to - G.Kalker, s/ç = 0,97	0,4	7	15,2	330	1883	120	2,54
4. Çime to-Kaba EFK, s/ç = 0,89	3,2	14 u	25,0	450	1050	111	1,90
5. Çime to-Kaba EFK, s/ç = 1,00	2,3	11,4	21,4	511	1170	500	2,17
b Çime to-KabaEFK>/ç = 1,16	1,0	8,0	14,7	524	1221	610	2,36



Şekil 8. Farklı su/çimento oranlarında dayanım eğrileri (Kaba EFK ile)

Şekil 8. Farklı su/çimento oranlarında dayanım eğrileri (Kaba EFK ile)

Bu deneylerde saptanan ilginç bir sonuç da; su çimento oranını artırdıkça karışımın yoğunluğunun da artmasıdır. Karışım yoğunluğunun artması ise, Çizelge 3'de görüldüğü gibi, 1 m³ sıkıştırılmış karışım için daha fazla girdi malzemesinin kullanılmasını, dolayısıyla 1 m³ karışımdaki çimento miktarının artmasını getirmiştir. Bu durumda su çimento oranının artırılması yalnızca betonun basınç dayanımının hızla düşmesini getirmemiş, aynı zamanda 1 m³ sıkıştırılmış karışımdaki girdi miktarının da artmasına neden olarak maliyeti yükseltmiştir.

Beton karışım suyunun miktarı, başka bir deyişle betonun kıvamı, istenilen dayanım ve akıcılık, çimento türü ve miktarı, agrega türü ve granülometresi gibi birçok faktöre bağlı olarak geniş sınırlar içinde değişir. Kıvamın sabit tutulması istenildiği durumlarda, kıvamı etkileyen faktörler birbirlerine göre ayarlanmalıdır, örnek olarak; çimento oranları testleri sonuçlarını gösteren Çizelge 2'ye bakılırsa, granül kalker testlerinde çimento miktarı artırıldıkça, su çimento oranları düşmüş, ancak 1 m³ karışım içerisindeki su miktarları artmıştır. Çimento miktarı artırıldıkça karışımın incelik oranı (agrega ve çimento karışımı içindeki küçük çaplı parçacıkların büyük çaplı parçacıklara oranı) yükselmiş, dolayısıyla toplam tanecik yüzeyi artarak bunları ıslatmak için daha fazla su gerekmiştir. Böylece Çizelge 2'deki granül kalker testlerinde kıvamı sabit tutabilmek için çimento miktarı artırıldıkça 1 m³ sıkıştırılmış karışım içerisindeki su miktarları da artırılmıştır.

Öte yandan, aynı çizelgedeki kaba EFK ile ya-

pılan deneylere de bakılırsa; çimento miktarı artırıldıkça yine su çimento oranları düşmüş, ancak, bu defa, 1 m³ karışım içerisindeki su miktarı pek değişmemiştir. Bunun nedeni ise, kaba EFK agregası içindeki taneciklerin çapları ile çimento taneciklerinin çaplarının birbirine yakın olması, dolayısıyla incelik oranının çimentonun artırımı ile pek değişmemesidir. Bu durumda, Çizelge 2'deki kaba EFK testlerinde, kıvamı sabit tutmak için 1 m³ sıkıştırılmış karışım içerisindeki su miktarlarının artırılması gerekmemiştir.

Çizelge 2'deki sonuçlarla verilen yukarıdaki örneklerle, bu bölümün başlarında söylenen "Beton yoğurma suyunun belirlenmesinde taze betonun kıvamı esas alınır" tezi somut olarak kanıtlanmış olmaktadır.

Beton yoğurma suyunun istenilmeyen özellikleri literatürde (Akbulak ve arkadaşları, 1967) şöyle tanımlanmaktadır: öncelikle yoğurma suyunun fazla kirli olmaması gerekmektedir. Fazla miktarda organik madde, yağ, şeker ve alkol içeren sular, yoğurma suyu olarak kullanılamaz. Bataklık sularının yoğurma suyu olarak kullanıldığı betonlarda dayanımın % 10 civarında düştüğü belirlenmiştir. Zorunlu kalınılırsa bataklık suları kullanılabilir. Portland çimentosunun bileşiminde zaten önemli oranda kireç olduğu için yoğurma suyunun sertliğinin olumsuz veya olumlu bir etkisi yoktur. Yine suyun PH değerinin de beton üzerine etkisi olmadığı belirlenmiştir.

Beton yoğurma suyu en tehlikeli faktör olarak, sülfat iyonlarının varlığı gösterilmektedir. Eğer su içerisinde magnezyum sülfat varsa, bu bileşik çimentonun serbest kireciyle reaksiyona girmekte ve magnezyum hidroksit ile jips vermektedir. İçerisinde % 1'den fazla sülfat iyonu içeren sular yoğurma suyu olarak kullanılmazlar. Ayrıca, % 3'den fazla sodyum klorür içeren sular betonun dayanımını etkilediği için yoğurma suyu amaçlı kullanılmazlar.

5.3. Agreganın Granülometrisinin ve En Büyük Agreganın Basınç Dayanımına Etkisi

Betonda, yeterli basınç dayanımının elde edilmesi, büyük oranda su ve çimentodan oluşan bağlayıcı hamurun niteliğine bağlıdır. İstenilen dayanımı en ekonomik şekilde elde etmek ise, bağlayıcı hamur azaltılıp yerine daha fazla agrega kullanmakla mümkündür. Öte yandan, yeterli akı-

alışın sağlanması için bağlayıcı hamurun miktarının artırılmasının gerektiği bilinmektedir. Bağlayıcı hamur, agrega boşluklarını doldurmaktan başka, agrega taneciklerinin etrafını ince bir tabaka halinde sarmalı ve böylece onların fazla grift olmamasını sağlamalıdır. Bu şekilde homojen bir yapı oluşacaktır.

Bu durumda, bağlayıcı hamurun miktarında, biri agrega boşlukları, öteki agrega yüzeyleri olmak üzere iki unsurun belirleyici olduğu söylenebilir. Bunlardan birini önemseyip, ötekini ihmal etmek gerekir. İdeal bir granülometrinin mümkün olduğu kadar az boşluklu ve mümkün olduğu kadar az toplam tanecik yüzeyli olması istenir. En az toplam tanecik yüzeyi, agrega içindeki maksimum tanecik çapının (betonda istenilen şartların sınırları içinde) en büyük alınması ve diğer agrega çaplarının da buna bağımlı olarak büyümesiyle sağlanır. Agreganın en az boşluklu olması ise, büyük taneciklerin aralarındaki boşlukların sürekli daha küçük taneciklerle doldurulabileceği bir agrega granülometrisi düzenlemesiyle elde edilir.

Beton literatüründe en iyi agrega granülometrisi için aşağıdaki bağıntı verilmektedir (Arıoğlu ve Nasuf, 1986).

$$\frac{P_i}{P} \times 100 = 20 \times \left(\frac{d_i}{D_{\max}} \cdot y / \frac{d_i}{D_{\max}} \right) \quad [3]$$

P = toplam agrega miktarı, kg.

P_i = d_i çaplı elekten geçen agrega miktarı, kg.

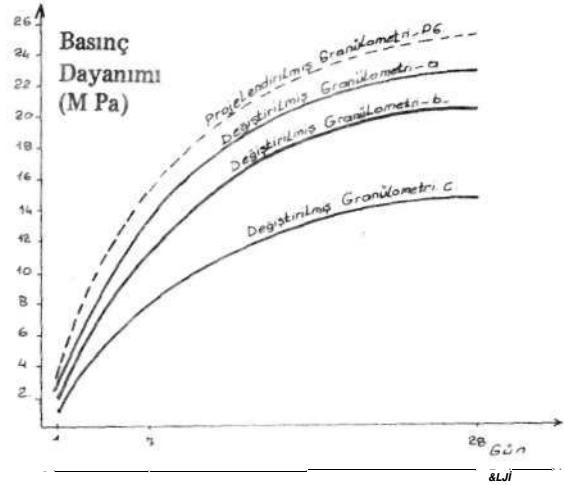
D_{max} = agregadaki en büyük tanecik çapı, mm.

d_i = yüzdesi hesaplanan elek çapı, mm.

Deneylerin bu kısmına kadar granül kalker agregasında Bölüm 4'de verilen granülometri sabit tutulmuştu. Bu defa, çimento agrega oranı (hacimsel % 15 çimento - % 85 kalker), kıvam ve diğer faktörler sabit tutularak kırılmış kalkerin granülometri idealden uzaklaştıkça basınç dayanımları düşmüştür. Aynı zamanda da 1 m³ sıkıştırılmış len bu değişikliklerde ideale en yakın olanı projelendirilmiş granülometridir (Test P.6).

Şekil 9 ve Çizelge 4'de görüldüğü gibi, granülometri idealden uzaklaştıkça basınç dayanımına düşmüştür. Aynı zamanda da 1 m³ sıkıştırılmış karışım içindeki su miktarı artarken, çimento ve agrega miktarları azalmıştır. Yine basınç düşürücü bir unsur olan su çimento oranı da granülometri bozuldukça artmıştır. Maksimum tane büyüklüğü-

nün küçültüldüğü "Değiştirilmiş Granülometri-C" testinde ise, dayanımlardaki azalma daha belirgin olmuştur.



Şekil 9. Granülometrinin basınç mukavemetine etkisi

Çizelge 4. Parlı Granulome -ilerdeki Dayanımlar, Karşın Girdileri, S.Ç Oranları, Yoğunluk ve Elek Analizleri

	Havanım (MPa)			1 m ³ Karışımındaki Girdiler (kg)			S/Ç yoğunluğu (kg/dm ³)
	1.Gün	7.Gün	28.Gün	Çimento	ARf.n*	Su	
P.6	3,3	15,3	25,0	270	1570	19,5	0,72
a	2,6	13,2	22 *	265	1515	200	0,75
b	2,2	11,3	20,3	255	1450	205	fi.Si
c	1,2	7,7	14,5	245	1410	210	0,35

Granül Kalker Elek Analizleri : (Hacimsel %)	0-1,119 mm				1,119-4,76 mm				4,76-9,52 mm				9,52-12,70mm			
P.6	25				30				40				5			
Değiştirilmiş Granülometri-a	15				25				40				20			
Değiştirilmiş Granülometri-b	10				20				45				25			
Değiştirilmiş Granülometri-c	15				70				15				-			

Granülometri ve maksimum tane büyüklüğünün dışında, agregaların aşağıdaki özellikleri de beton basınç dayanımını etkiler:

— Betonda kullanılacak agregalar nem ve sıcaklık etkisinden dolayı hacim değişikliği göstermemelidir. Agregadaki önemli genişleme ve büzülme beton çatlatır ve basınç dayanımını düşürür. Agregaların su emme kabiliyetleri ne kadar fazla ise dona karşı dayanımları da o kadar azdır.

— Agregaya yüzeyi yapısı, temizliği ve kimyasal dayanıklılığı agregaların beton içinde bağlanma özelliklerini, dolayısıyla betonun basınç dayanımını etkiler. Yüzeye dik çıkıntılıların karışımın agregaya daha iyi bağlanmasına neden olduğu bilinmektedir.

— Betonun sertleşmesi sırasında agreganın hacim değişikliği yapabilecek bir kimyasal reaksiyona girmemesi gerekir. Suda kolay çözünen mineralleri kapsayan agregalar, oksidasyon ve hidratasyona eğilimli mineralleri kapsayan agregalar, alkalilerle reaksiyona giren agregalar, portland çimentosu ile reaksiyona giren agregalar beton basınç dayanımının düşmesine neden olurlar.

— İçerisinde kil, silt, mika, humus, tahta parçaları ve diğer organik maddeler, kimyasal tuzlar, yumuşak elemanları kapsayan agregalar beton basınç dayanımını düşürürler. Granül kalker ile yapılan deneylerde, altere olmuş ve bir miktar kil kapsayan kalkerin kırılmasıyla yapılan agregaların, 7 günlük basınç dayanımlarında yaklaşık yüzde yirmi oranında düşmeye neden olduğu belirlenmiştir.

— Agregata tanecikleri geometrik şeklinin beton dayanımı üzerine etkisi vardır. İnce uzun agregata tanecikleri (eni boyunun beşte birinden küçük olanlar) kolay kırılacakları için beton dayanımını düşürürler. Bundan dolayı agregada yüzde onbeş oranından fazla ince uzun parçacıkların olması istenilmez. Kırılarak hazırlanan agregalarda ise ince ve sivri uçların bulunmaması tercih edilir.

5.4. Kompasitenin Basınç Dayanımına Etkisi

Betonda kompasite, birim hacimdeki taze betonda katı maddeler toplam hacminin birim hacime oranı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, kompasitesi yüksek beton içerisinde gözenekleri (boşlukları) az olan beton demektir. Taze betonda kompasitenin yüksek olması basınç dayanımının ve sızdırmazlığının da yüksek olduğunu gösterir.

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörlerden olan kompasite, öteki faktörler gibi (su çimento oranı, çimento türü ve miktarı, agregata cinsi ve granülometri, katkı maddesi vs.) doğrudan bir faktör değildir. Betonda kompasite; agreganın cinsine, çimento miktarına bağlı olarak karışımın granülometrisine, maksimum tane büyüklüğüne, kıvama ve sıkıştırma şekline göre değişen dolaylı bir faktördür. Bu nedenle, çalışmalar sırasında kompasite testleri yapılmamış, ancak basınç dayanımını etkileyen öteki faktörlerle ilgili testlerin sonuçları kompasite bazında da değerlendirilmiştir.

Granülometrinin ve maksimum tanecik çapının etkilerinin incelendiği Çizelge 4'de, agregata granülo-

metrisi iyiden kötüye doğru gittikçe (numunelerin basınç dayanımı azaldıkça) aynı zamanda karışımın, dolayısıyla betonun içerisinde daha fazla boşluklar (gözenekler) oluşmakta, başka bir deyişle kompasite azalmakta ve taze beton yoğunluğu düşmektedir.

Kompasite "taze beton birim hacmindeki katı madde hacminin birim hacime oranı" olarak tanımlanmıştır. Formülize edilecek olursa;

$$\text{Kompasite} = \frac{\text{ÇA} + \text{AH}}{\text{ÇH} + \text{AH} + \text{SH} + \text{HH}}$$

ÇH = Birim hacim taze beton içindeki çimentonun hacmi,

AH = Birim hacim taze beton içindeki agreganın hacmi,

SH = Birim hacim taze beton içindeki suyun hacmi,

ÇH+AH+SH+HH = Birim Hacim.

Öteki faktörlerin yanı sıra taze beton kompasitesini artırmak için sıkıştırma yöntemi (vibratör ya da başka yollarla) yaygın olarak bilinir. Taze betonun sıkıştırılması ile içerisindeki havanın hacmi (HH) azalmaktadır.

5.5. Çimento Kalitesi ve Türünün Basınç Dayanımına Etkisi

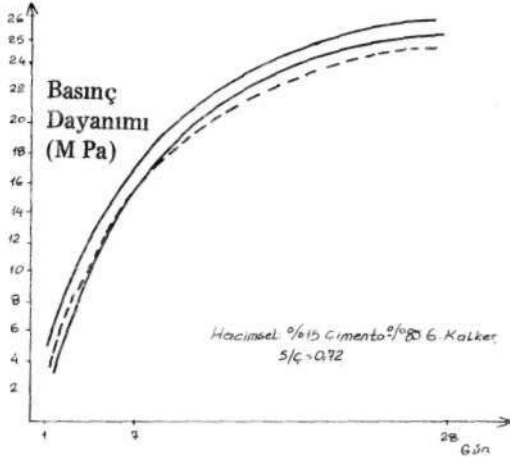
Çimentonun genel anlamda tanımı, "karışımında su ile bağlayıcı hamur oluşturarak agregata tanelerini birbirine bağlayan malzemedir" olarak verilmiştir. Bu genel tanımlama içerisinde farklı türden çimentolar vardır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı ve yeraltı beton çalışmalarında esası oluşturana portland çimentolardır.

Portland çimentoları, portland çimento klinkerinin, alçı taşı ve istenirse % 10'a kadar herhangi bir doğal ya da yapay puzolanik madde ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen bir hidrolik bağlayıcı olarak tanımlanırlar. Portland çimento klinkeri ise, kireç taşı, silisli kum ve kilin belli oranlarda karıştırılıp öğütülerek en az sinterleşmeye kadar pişirilmesiyle oluşan bir üründür. Puzolanik maddelere gelince; bunlar kendi başlarına hidrolik bağlayıcı olmayan, ancak ince olarak öğütüldüklerinde nemli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan doğal ya da yapay maddelerdir. Puzolanik maddelere örnek olarak; yüksek fı-

rin cürufu, uçucu küller, tras, asit nitelikli riyolit, trakit ve tüfleri, asit nitelikli bazaltlar, ince silis kumları, pomza ve perlitler verilebilir (Türk Jeoloji Bil. Tek. Kur., 1983).

Portland çimentoları da basınç dayanımları ve katkılı olup, olmama durumlarına göre sınıflara ayrılırlar. Bu çalışmanın bütün testlerinde, işletmeye yakın olan Ankara Çimento Fabrikası ürünü katkılı Portland çimentosu -325 (KPÇ 325) sınıfı çimento kullanılmıştır. 325 Rakamı, Rilem-Cembureau yöntemi ile 28 günlük çimento dayanım değerinin 325 kg/cm² (32,5 MPa) olduğunu belirtmektedir.

Farklı çimento fabrikalarında kullanılan kalker, kum, kil, alçı taşı ve puzolanik maddeler gibi girdiler doğal olarak ayrı yerlerden alınmakta ve birbirlerinin aynı nitelikte olmamaktadır. Yine her çimento fabrikasının farklı üretim yöntemi, farklı kalite kontrolü, farklı yaşta olması gibi etkenleri de değerlendirince, her çimento fabrikası ürünü çimentonun (sınıfları aynı olsada) farklı kalitede olabileceği ortaya çıkmaktadır. Çimento kalitesinin beton basınç dayanımına etkisini araştırmak için aynı sınıftan (KPÇ 325 sınıfından) üç ayrı çimento fabrikası ürünü alınmış ve dayanımı etkileyen bütün diğer faktörler eşit tutularak, % 15 çimento - % 85 granül kalker ile basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucu çizilen basınç dayanımı eğrileri birbirlerinden (özellikle 1 günlük dayanımlarında) farklı çıkmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Parklı çimento fabrikası ürünü çimentoların basınç dayanımına etkisi

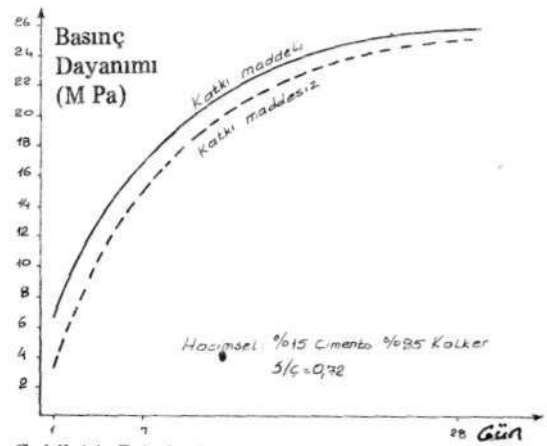
Çimentonun yaşı (taze ya da bayat oluşu), nemlenme durumu ve kirliliği gibi niteliğini değiştiren öteki etkenlerin beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi yaygın olarak bilinir.

5.6. Katkı Maddelerinin Basınç Dayanımına Etkisi

Piyasada, betonu akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, priz hızlandırıcı, geçirimsizlik sağlayıcı, dondan koruyucu gibi amaçlara yönelik çok değişik katkı maddeleri vardır. Testlerde, betonun erken dayanımı önemli olduğundan, priz hızlandırıcı katkı maddelerinin basınç dayanımları üzerine etkisi incelenmiştir. Bunun için, öncelikle piyasada farklı firmaların değişik adlardaki priz hızlandırıcıları incelenerek ya da denenerek kütle beton yapısına uygun olanı bulunmuştur (Priz hızlandırıcıların bir kısmı su sızıntılarını kapatma, sıvama, püskürtme beton, amaçlarına yönelik olup bunlarla yapılan testlerde amaca uygun olmadıkları gözlenmiştir.)

Hacimsel; % 15 çimento—% 85 granül kalker ile hazırlanan karışımın yoğurma suyuna uygun priz hızlandırıcı eklenerek yapılan testlerin sonuçları Şekil 11'de yer almaktadır. Şekilde örneği verilen katkı maddesi, çimento ile su arasındaki başlangıç reaksiyon hızını artırıp priz zamanını kısalttığı gibi, taze betonun ilk anından başlayarak basınç dayanımlarını da artırmıştır. Bu katkı maddesinin kullanılma oranı, çimento ağırlığının % 2,7'si ağırlık olmuştur.

Şekil 11'deki katkı maddesi basınç dayanımlarını, özellikle bizim için önemli olan ilk günlerdeki basınç dayanımlarını artırmaktadır. Ancak, her bir metreküp sıkıştırılmış karışım için 7,3 kg katkı maddesi gerekmektedir ki, bu da 1988 yılı ilk ayları piyasa fiyatlarına göre 1 m³ karışımdaki çimento harcamasının % 65'ine eşit olmaktadır. Başka bir deyişle; 1 m³ sıkıştırılmış karışımda 270 kg yerine 445 kg çimento kullanmakla eşit maliyette olmaktadır. Bu durumda, karışımdaki çimento oranı % 15'den de aşağılara düşürerek denense bile, belirlenen katkı maddesinin kullanımı ekonomik olmamaktadır.



Şekil 11. Priz hızlandırıcı katkı maddesinin dayanımına etkisi

5.7. Kür Ortamındaki Nem ve Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi

5.7.1. Nemin Basınç Dayanımına Etkisi

Taze beton ilk hazırlandığında kapsadığı suyun, çimentonun hidrasyonu için gerekenden oldukça fazla olduğu Bölüm 5.2'de gösterilmiştir. Bu suyun, hidrasyonun devam ettiği ilk devrelerde buharlaşma ya da başka nedenlerle önemli ölçüde azalması, ya da tam hidrasyonu geciktirecek, ya da daha kötüsü hidrasyonu durmasına neden olacaktır. Agreganın tanecikleri arasındaki bağlayıcı hamurunun tam sertleşmediği böyle bir durumda ise betonun dayanımı düşecektir. Bu nedenle, betonun sertleşme süreci sırasında, tam hidrasyonu için gerekli suyun kaybına engel olunması ya da olabilecek su kayıplarının yerinin doldurulması istenir. Betona su püskürtme; beton yüzeylerine toprak, kum, ıslak çuval vs. örterek ya da kalıpları geç sökerek su kaybını önleme; betonun su buharı ile kürü, kür maddeleri ile kürü gibi yöntemler bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Nemin eksikliği, ayrıca rötre olayını artırmaktadır. Yeni hazırlanmış betondaki bağlayıcı hamurun hacmi sertleştikten sonraki hacimden daha büyüktür. Bu hacim değişikliğinden dolayı sertleşmekte olan betonda bir büzülme olur, çatlaklar oluşur ve bu olaya rötre adı verilir. Rötre değerinin büyüklüğü, birçok diğer faktörün yanı sıra, büyük ölçüde kür ortamındaki neme de bağlıdır. Kür ortamında nem azaldıkça rötre değeri, dolayısıyla betonda çatlaklar artar ve dayanım düşer.

5.7.2. Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi

Kür ortamındaki sıcaklık azalması, taze beton içindeki çimentonun kimyasal reaksiyonlarını yavaşlatır ve bağlayıcı hamurunun sertleşme zamanı uzar. Böylece, betonun yeterli dayanımı kazanması normal sıcaklıktaki ortamlara göre daha uzun zaman alır. Ayrıca, sıcaklık 0°C'ın altına düştüğü zaman, taze beton içindeki su donar ve taze betonda önemli ölçüde hacim genişlemesiyle birlikte çatlama ve bozulmalar meydana gelir.

Kür ortamında sıcaklık çok yüksek ise, bu defa da taze beton içindeki kimyasal reaksiyonların, do-

layısıyla betonun sertleşme hızı artar ve beton priz yapabilir. Ayrıca, beton dayanımını zamanla kazanan bir yapıdır. Fazla sıcaklık taze beton içindeki suyu hızla buharlaştırabileceği için çimentonun tam hidrasyonunu sağlayacak su kalmayacaktır. Yine sıcak bir ortamda sertleşmekte olan beton, ortam değişip soğuyacak olursa termal büzülme ve yüzeyde çatlaklar oluşur ki, bu durum da dayanımı düşürücü bir diğer etkidir.

İşletmede, ramble betonu tuvönan çakıl agregası ile yapılırken aynı zaman ve aynı koşullarda yeraltındaki taze betondan 9 numune alınmış ve bunların 4 adeti ramble duvarının yapıldığı taban ayak gerisi taban yolunda, 5 adeti de temiz havanın geldiği tavan ayak ilerisi taban yolunda 24 saat bekletilerek test edilmiştir. Bu esnada, taban ayak gerisinde ortalama sıcaklık 25 C ve relatif nem % 96 oranında, tavan ayak ilerisinde ise ortalama sıcaklık 16 C ve relatif nem % 60 civarındaydı. Deneylerin sonunda, taban ayak gerisindeki daha sıcak ve daha nemli ortamda bekletilen 4 numunenin 24 saatlik basınç dayanımları ortalama 2,2 MPa (22 kg/cm²), tavan ayak ilerisinde daha serin ve daha az nemli ortamda bekletilen 5 numunenin 24 saatlik basınç dayanımları ise ortalama 1,6 MPa (16 kg/cm²) çıkmıştır.

6. SONUÇ

Betonun basınç dayanımını etkileyen birçok faktörün birlikte değerlendirilmesiyle, alışlagelmışten çok daha az çimento kullanılarak bile daha dayanımlı beton elde etmek mümkündür. Ya da, tam tersine, bilgisizce hazırlanıp yerleştirilen bir betonda, beklenilenden çok aşağıda basınç dayanımı olabilmektedir. Bu yazıda, yaptığımız testlerle de, beton dayanımının çok yaygın bilindiği gibi yalnızca içindeki çimento miktarına bağlı olmadığını, onun kadar etken başta faktörlerin de var olduğu vurgulanmıştır. Tahkimat gibi yük taşıması planlanan betonların hazırlanması, yerleştirilmesi ve kürü sırasında son derece titiz ve dikkatli bir mühendislik çalışması gerekmektedir.

OAL Müessesesi Çayırhan Bölgesinde, tam kapasite ile üretime başlanıldığında günlük yaklaşık 60 m³ taze beton atılacaktır. Bölgede 1988 yılı başlarına kadar yeraltındaki ramble betonunda agreganın tuvönan çakıl kullanılıyordu. Ocak 1988 ayından bu yana, pnömatik ramble tesisinin

de devreye girmesiyle, artık agrega olarak granül kalker kullanılmaktadır. Silolardan gelen çimento ve granül kalker yerüstünde otomatik olarak karışmaktadır. Ramble borularının içinden basınçlı hava ile yeraltına gönderilen bu kuru karışma kalıbın yanındaki son borunun çıkışına yakın su verilmektedir. Bu noktadan sonra da, malzeme karışım olarak kalıbın içine püskürtülmektedir. Karışımın kıvamı, kuru karışımın debisi değişebildiği için, su verme noktasındaki vanadan verilen suyun azaltılıp çoğaltılmasıyla yapılmaktadır.

Granül kalkerin ramblede kullanılmaya başlanıldığı ilk günden bu yana yeraltındaki taze beton- dan, yazıda anlatılan yöntemle, sürekli numune alınmakta ve basınç dayanımı testleri yapılmaktadır. İlk günlerdeki pnömomatik ramble tesisinde görülen eksiklikler giderildikten sonra, bu testlerin sonuçları daha önce kimya laboratuvarında bulduğumuz sonuçlara eşdeğer çıkmıştır.

KAYNAKLAR

AKBULAK A., BAYDAR A., ÇORUMOĞLU C, IŞIK C,

- 1967; "Beton ve Beton Katkı Malzemeleri", Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlan, Ankara.
- ARIOĞLU E., 1977; "Yeraltında Pompalanabilir Beton Karışımının Dizayn Esasları", Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 5. Kongresi Kitabı, Ankara.
- ARIOĞLU E., NASUF E., 1986; "Tabaka Kontrolü", TKİ Genel Müdürlüğü, Teknoloji ve Uygulama Geliştirme Projesi Yayını, Ankara, s. 162-196.
- BEYAZIT Ö.L., 1975; "Beton ve Deneyleri", DSİ Genel Müdürlüğü Yayınlan, Ankara.
- İSTANBULLUOĞLU S., 1987; "Ramble Betonu ile İlgili Araştırma Raporu", OAL Müessesesinde Verilen Seminer Notlan, Çayırhan.
- POSTACIOĞLU B., 1969; "Yapı Malzemesi", İTÜ Yayını, İstanbul.
- WOODRUFF S.D., 1966; "Methods of Working Coal and Metal Mines", Pergaman Press, London, Vol. 2, p. 219-262.
-Türk Standarttan Enstitüsü Yayınlan; TS 19, TS 20, TS 500, TS 640, TS 706, TS 802, TS 1247, Ankara.
-1983; "Türkiye'nin Çimento Hammaddeleri ve Sorunlan Paneli", 37. Türkiye Jeoloji Bilimsel ve Teknik Kuraltayı Kitabı, Ankara, s. 33-48.
-, TCK Genel Müdürlüğünde ve Almanya ile İngiltere Kömür İşletmelerinde Yapılan Çeşitli Beton Basınç Mukavemeti Testleri Sonuçlan.