

**TÜRKİYE MADENCİLİK BİLİMSEL
VE TEKNİK 5.KONGRESİ
14-18/2/1977. dsi salonu ankara**

YERALTINDA POMPALANABİLİR
BETON KARIŞIMININ
DİZAYN ESASLARI

TMMOB

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

YERALTINDA POMPALANABİLİR BETON KARIŞIMININ DİZAYN ESASLARI

Dr. Ergin ARIOĞLU *

Özet :

Yazıda, yeraltında pompa ile sevkedilecek akıcı kıvam daki beton karışımlarının özellikleri ve karışım hesabı ile ilgili esasları verilmiştir.

Summary :

This article is intended to give, in brief, a fundamental knowledge regarding concrete mixture to be used in mining engineering.

Also, in this paper, the concept of a rational mix design of concrete is discussed in order to provide useful a guidance for the practising mining engineer in some detail.

1. Giriş :

Maden mühendisliğinde, betonun struktur elemanı olarak kullanımını oldukça genişdir. Beton, yeraltında genellikle,

- Kuyu ve galeri kaplamalarında,
- Su ve yangın barajlarının inşasında,
- " — Galeri - dolgu duvarlarının inşasında,

(*) İ.T.Ü. Maden Fakültesi Asistanı, Dr. Y. Müh.

— Ve kaim damar işletmeciliğinde suni tavan (betonarme tavan) inşasında, kullanılır. (1) Betondan çeşitli kullanım yerlerine göre değişen bazı karakteristiklerin yerine getirilmesi istenir. Mesela, beton yeraltında su barajı inşasında kullanılacak ise, betonun yüksek basınç mukavemetine haiz olmasından başka, çekme mukavemetinin de yüksek olması istenir. Keza, beton galeri kaplamasında veya galeri dolgu duvarı inşaatında taşıyıcı malzeme olarak kullanılması düşünüülüyorsa, basınç mukavemetinden başka, karışımın pompalanabilecek akıcılıkta olması istenir. Bu proses de beton yukarıda belirtildiği gibi aşağıda işaret edilen karakteristikleri mükemmelen yerine getirmelidir.

- Beton karışımı pompalanabilecek akıcılıkta olmalı ve
- İstenen basınç mukavemetine sahip olmalıdır.

Bu iki karakteristik birbiriyle yakından ilgilidir. Bir başka deyişle, karışımın akıcılığı üzerinde yapılan ufak bir değişiklik, betonun belli bir kür müddetindeki basınç mukavemetine tesir edecektir. Eğer, betonun basınç mukavemetinin değiştirilmesi çeşitli sebepler nedeniyle sözkonusu ise, betonun yeni kabul edilen basınç mukavemetine göre «akıcılığı» mutlaka gözden geçirilmelidir. Yukarıda yapılan bu limitli açıklamadan, beton karışımının istenen özellikleri yerine getirilmesinin ne denli zor bir mühendislik görevine ihtiyaç göstereceği kolaylıkla anlaşılabilir.

Yazıda, yeraltında, pompa ile sevk edilmesi plânlanan akıcı kıvamdaki beton karışımının diyazn esasları verilecektir. Verilen esasların daha iyi takibini sağlamak maksadıyla nümerik mahiyette bir karışım hesabı yapılacaktır. Ayrıca, beton karışımının ekonomisine tesir eden bazı önemli faktörler tartışılacak ve akıcı beton karışımları için genel bir dizayn şablonu verilecektir.

2. Beton Karışımının. İşleneblme Özelliğine Etki Eden Faktörler :

Pompalanabilecek beton mutlaka bu şartı yerine getirmelidir. Genel olarak, karışımın akıcılığına tesir eden faktörler şunlardır.

- Karışım su miktarı,
- Agrega miktarı ve onunla ilgili Özellikler,
- ve çimento miktarı.

2.1. Karışım Su Miktarı :

Beton karışımına girecek su aşağıdaki fonksiyonları yerine getirir.

- Çimento ile kimyasal reaksiyona girerek, çimento hamurunu meydana getirir.
- Betonun strüktürünü teşkil eden kum ve iri agrega tanelerini ıslatmak suretiyle karışıma uygun bir akıcılık kazandırır.

Buradan anlaşılır ki, karışım su miktarı, istenen akıcılığının bir fonksiyonudur. Hemen belirtilmesi gereken nokta şudur ki : Karışım su miktarı aynı zamanda istenen beton basınç mukavemeti ve karışıma girecek agreganın granülometrisi ile de yakından bağlıdır. Diğer bir deyişle, karışım su miktarı, betondan istenen mekanik karakteristiğinin ve iç bünyesinin bir kompleks fonksiyonudur.

2.2. Agrega Granulometrisi ve İlgili Özelliklerin Etkisi :

Yapılan deneysel araştırmalar sonucunda agrega granülometrisinin, maximum agrega çapının ve agreganın tane şeklinin beton karışımının akıcılığı üzerinde önemli etkileri olduğu tesbit edilmiştir. Keza, agrega granülometrisinin basınç mukavemet üzerinde de önemli etkisi vardır. Bu etki şöyle izah edilebilir :

Granülometrinin, karışımına agregaları ıslatmak fonksiyonu ile girecek su miktarını değiştireceği aşikardır. Toplam karışım su miktarıda, betonun basınç mukavemetiyle yakından bağlı olduğuna göre, buradan granülometri bileşiminin beton karışımının basınç mukavemeti ile olan bağlılığı ifade edilebilir. (Kullanılan karışım su miktarının beton basıncına ne şekilde etki ettiği ilerki bölümde detaylı bir şekilde görülecektir).

Su miktarı ile basınç mukavemetine olan etkisinden başka granülometrinin, karışım kompasitesine de tesir ederek, basınç mukavemeti üzerinde önemli diğer bir tesiri olduğu deneysel çalışmalar sonucunda tesbit edilmiştir.

Pratikden bilindiği gibi, içinde büyük miktarda gözenek ihtiva eden betonun basınç mukavemeti oldukça düşüktür. Yüksek basınç mukavemetinin elde edilmesi için, karışımın minimum miktarda gözenek ihtiva etmesi, bir başka deyişle, beton kompasitesinin maximum olması arzu edilir. Yüksek bir karışım kompasitesinin elde edilmesi de agregası kompasitesinin büyük olması ile elde edilebileceği bilinen bir pratik gerçektir. Kısaca, yukarıdaki ifade şöyle özetlenebilir.

Büyük agregası kompasitesi -> Büyük karışım kompasitesi |
t Büyük basınç mukavemeti
Agregası granülometrisi

Aşağıda verilen Tablo - l'de, maximum agregası büyüklüğünün, karışımın kompasite sayısı ve relatif su miktarı ile nasıl değiştiği gösterilmiştir (2).

Tablo 1 — (2)

Kompasite	% relatif su miktarı			
	0.80	0.85	0.90	0.95
Agregası max çap (20 mm)	15.5	17	18	19.5
Agregası max çap (37,5 mm)	14.5	15.5	16.5	18

Tablodan çıkan önemli ve pratik bir sonuç şudur : Belli bir kompasite sayısı için karışımında kullanılacak maximum agregası çapının artımı, karışıma girecek su miktarını azaltacak ve neticede, karışımın basınç mukavemeti yüksek olacaktır. Tablodan aynı bir kompasite sayısı için tekabül eden relatif su miktarı, büyük agregası çapı için (37,5 mm) azalmakta olduğu takip edilir. Azalma nispetinin, ilk bakışta, az olduğu kanaati elde edilebilir. İlerki paragraflarda (Su/çimento - basınç mukavemeti) bağıntısı verildiğinde, karışım içinde

su üzerinde yapılan küçük bir indirimin, basınç mukavemetinin artımı için ne ölçüde olduğu açıkça görülecektir.

Maalesef, maden mühendisliğinde kullanılan pomplanabilir özelliğini taşıyan betonlarda, yukarıda belirtilen avantajın kullanılması oldukça limitlidir. Çünkü karışım hidrolik olarak sevk edilecek ve boru içindeki basınç düşümü, tane nin max. boyutu ile yakından ilgilidir. Pratikte, pomplanabilir betonun imalinde kullanılacak max. agrega çapı 20 mm. olarak alınır.

Agrega inceliğinin belli bir ölçüde karışımının işleme- bilme özeliği üzerinde etkisi olabileceği söylenebilir. Bilhas- sa, ince aksam, granülometri bileşimi içinde muayyen limit- ler içinde olması, karışım akıcılığının arttırılması bakımından arzu edilir. Ayrıca miktarı kontrol edilmek suretiyle ilâve edi- lecek ince granülometrinin, karışımın kompasitesinl arttırı- bileceği söylenebilir. Agregâ şeklinin (agrega/çimento) üze- rine olan etkisi, Tablo - 2'den açıkça takip edilmektedir (2).

Tablo 1 — (2)

Agrega şekli	Agrega/çimento
Yuvarlak iri agrega ve gayri muntazam ince aksam	6,5
Gayri muntazam iri agrega ve gayri muntazam ince aksam	5,5
Köşeli iri agrega ve gayri muntazam ince aksam	5,2

Yukarıdaki tablonun tetkinden şu neticeyi söylemek ka- bil olmaktadır. Köşeli iri agrega ve gayri muntazam ince ak- sam (kum), karışım için gerekli olan (agrega/çimento) ora- nını büyük ölçüde azaltmakta ve böylelikle basınç mukave- meti yüksek bir karışım elde edilmektedir.

2.3. Çimento Miktarı :

Çimento miktarının artırılması ile karışımın genel ince- lik modülü artmaktadır. Ve bu sebeple karışım suyunun ar-

tırılması gerekmektedir. Netice de (Su/çimento) oranı deęiőeceğinden, mukavemette bir değişiklik beklenebilir. Bu değişikliğin, mukavemet yönünden pozitif veya negatif olabileceğini kesinlikle söylemek oldukça zordur. Zira, her iki yönde bir değişim beklenebilir.

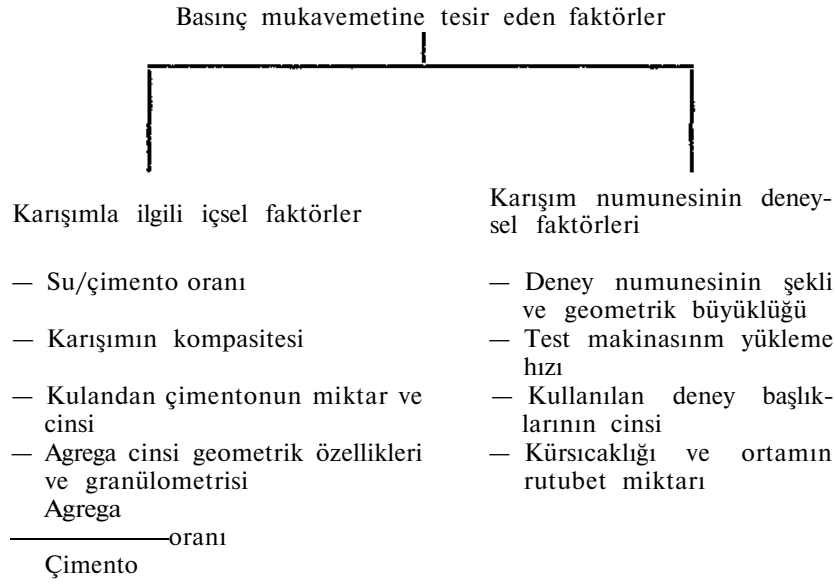
Eğer karışım, çimento yönünden zengin ise (yani dozajı yüksek ise) argegamn ince aksam ihtiva etmesine gerek yoktur. Bu hususa, deneme karışımının neticesinden sonra karar alınması tavsiye edilir. Yeraltında, agrega olarak, galeri sürülmesinden elde edilen taşlardan istifade edilebilir. Uygun bir ekleme prosessinden sonra elde edilecek, agrega, bileşiminde, bir miktar ince aksama sahiptir. Bu bakımdan ilâve olarak konulacak kumun bileşim içinde bulunma gerekliliği ortadan kalkabilir (3).

Yapılan araştırmalar sonucunda, normal beton karışım-ları için (çimento dozajı 380 kg/m³ den az olan karışım-lar) çimento dozajının karışımın işlenebilme özelliği üzerinde etkisinin ihmal edilebilecek mertebede olduğu görülmüştür (2).

3. Beton Karışımının Basınç Mukavemetine Tesir Eden Faktörler :

Beton, bir taşıyıcı malzeme olarak yeraltında kullanılacağından proje şartlanınca belirtilen basınç mukavemetine haiz olmalıdır. Bir struktur sistemi olarak kullanılacak galeri-dolgu duvarının dizaynında, beton karışımının rasyonel olarak tayıni, hayati bir önem arz eder. Problem içine, basınç şartından başka, pompalanabilir olma isteğide ithal edildiğinde, beton karışım dizaynı daha da bir komplike görünüm alır. Uygun bir dizaynın yapılabilmesi için çalışılacak malzemenin özellikle başlangıçta mühendis tarafından iyice bilinmiş olması lâzımdır. Ve bunun sağlanmasında, mevcut teorik, yarı - teorik bilgiler büyük ölçüde mühendise yardımcı olacaktır. Aşağıda, bu amaçla basınç mukavemetine etki eden faktörler çok kısa olarak gözden geçirilecektir. Konu ile ilgili daha detaylı bilgi etmek isteyen meslekdaşlara, (4) referansına başvurmaları tasviye olunur).

Basınç mukavemetine etki eden faktörleri şu genel başlıklar altında Tablo-3'de toplamak mümkündür (1).



Betonun Basınç Mukavemetine Etki Eden Faktörler

Tablo — 3 (1)

3.1. (Su/Çimento) Oranının Etkisi :

Beton teknolojisinde yapılan deneysel çalışmaların sonucunda beton basınç mukavemetinin «Su/çimento» oranı ile değiştiği tesbit edilmiştir.

Literatürde, beton basıncının «Su/çimento» ile değişimini ifade eden yarı teorik nitelikte birçok bağıntılar teklif edilmiştir. Burada, bir hususun unutulmaması gereklidir. Literatürde verilen formüller, genellikle agreganın, beton basınç mukavemetine etki yapmaması halinde veya agreganın beton mukavemeti üzerindeki tesirini gölgelemesi halinde

de uygun neticeler verebilir. Bir başka deyişle, $\frac{\text{su}}{\text{çimento}}$ oranı değişken olarak alındığında, agreganın özellikleri karışım

inde büyük ölçüde değişiyorsa, $\frac{su}{\text{çimento}}$ kanunu olarak adlandırılan önemli kaidenin doğruluğu sağlanamayacaktır. Ayrıca, yazar elde ettiği tecrübelerine göre, şu noktayıda açıkça belirtmek ister : Her malzeme için özel (Su/çimento - basınç) değişiminin istatistiksel olarak elde edilmesi, yapılacak karışım hesaplarının doğruluğu için gereklidir.

Beton teknolojisinin temel bağıntılarında biri olan ve ABRAMS tarafından teklif edilen ifade şöyledir (4).

$$R = \frac{A}{B\alpha} \dots \dots \dots (1)$$

Burada

RBelli bir kür müddeti için basınç mukavemeti

A, BDeneysel sabitler

$$\alpha = \frac{su}{\text{çimento}} \text{ oranı, (ağırlık olarak)}$$

(1) ifadesine dikkat edilirse, basıncın artan $\frac{su}{\text{çimento}}$ oranları için hızla düştüğü görülür. Kısaca, su bakımında zengin bir beton karışımının basınç mukavemetinin az olabileceği kolaylıkla ifade edilebilir. Bu tip yaklaşım, pratikte karışım dizaynında kullanılabilir.

Yazar, normal portland çimentosu ile yapılan betonun 7 günlük basınç mukavemeti $\alpha = \frac{su}{\text{çimento}}$ oranı ile değişimini (2) ifadesi ile verir.

$$R_7 = 78.46 \alpha^{-1.76} = 78.46 \left(\frac{Wsu}{Wç} \right)^{-1.76} \dots \dots \dots (2)$$

ifadenin korelasyon sabiti $r = 0.968$ 'dir.

Burada,

R_7 Betonun 7 günlük basınç mukavemeti, (kg/cm²)

W_{su} 1(m³) karışıma giren toplam karışım su mik. (kg)

W_c 1(m³) karışım imalinde kullanılan çimento mik. (kg)

ifadenin katsayıları korrelasyon analizi vasıtasıyla hesaplanmıştır. (2) ifadesinin kurulmasında kullanılan basınç mukavemetleri (5) referansından (sahife 122) elde edilmiştir. Muhtelif kür müddetleri için aynı formdaki eşitlik korrelasyon analizi vasıtasıyla kurulabilir.

3.2. Komtpasüte :

Pratikten bilinen gerçeğe göre, boşluk ihtiva eden betonun basınç mukavemeti oldukça düşüktür. Kompasitesi yüksek, yani az gözenek ihtiva eden betonun basınç mukavemeti daima büyüktür. Kompasitenin basınç mukavemeti üzerindeki tesirini veren amprrik bağıntı, beton teknolojisinde FERET eşitliği olarak anılır.

$$R = K \left(\frac{V_c}{1+V_c-A} \right) Y \dots \dots \dots (3)$$

V_c 1 m³ karışımda kullanılan hakiki çimento hacmi (m³)

A Karışıma giren katı maddelerin hacimsal toplamı,
(Agrega + çimento)

K Deneysel bir sabite, deney sonuçlarından elde edilir.
K kür müddetine göre değişik değerler alır.

Formülden görüldüğü gibi, kompasitenin büyük olması mukavemetinin artmasına sebep olacaktır. Genellikle, pratikte betonun kompasitesi 0,85 - 0,95 arasında değişir. Pompabilir akıcı kıvamdaki beton karışımlarının kompasitenin yüksek olması gerekir. Pratikte kullanılan, $\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}}$ oranından bağımsız olarak, akıcı beton için,

$$A = 0.95 \text{ 'dir (2)}$$

3.3. Kullanılan Çimentonun Miktarı ve Cinsi :

Karışıma giren çimento miktarıyla, betonun basınç mukavemetinin artması beklenir. Çünkü çimentonun artımı, elde edilecek hamurun artımı demek olacağından, aynı dış zorlama için, alan artacağından karışımın basınç mukavemeti artacaktır. Prof. Y. Müh. B. POSTACIOĞLU'nun yaptığı araştırmaya göre, karışıma girecek çimento dozajının bir kritik değeri mevcut olduğu; eğer konulacak çimento miktarı bu değeri aşıyorsa çimento miktarının artımı karışımın basınç mukavemeti üzerinden pozitif bir etkisi olmayacaktır. Gayet önemli olan bu sonuçla, çimento dozajının kritik değeri sayısal olarak verilebilir. Prof. B. POSTACIOĞLU'nun neticesine göre, çimentonun kritik dozajı şu şekilde değişir.

$$V_{\text{çkritik}} = \frac{p}{2} \times \gamma_{\text{ç}} \times 1000 \dots\dots\dots (4)$$

Burada,

- $W_{\text{ç}}$ Kritik çimento dozajı, (Bu değer üzerinde kullanılan çimentonun basınç mukavemetinin artımı üzerinde pozitif bir etkisi yoktur, (kg/m³)
- p İmal edilen betonun gözenek miktarı (m³/m³)
- $\gamma_{\text{ç}}$ Çimentonun yoğunluğu (kg/İt)

Gözenek miktarı kompasite cinsinden şu şekilde verilebilir. (4)

$$P = 1 - A \dots\dots\dots (5)$$

Formülün tetkiden şu ilginç kanaatleri yürütmek kabil olacaktır. Gözenek hacminin artımı ile çimento dozajı doğru orantılı bir şekilde değişmektedir. Yazara göre bulunan sonucun fiziksel bir anlamı mevcuttur. Nitekim, deneysel çalışmalarda, çimento miktarı karışımın gözenek hacmi ile artmaktadır.

Çimento kalitesinde karışımın basınç mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi mevcuttur. Basınç mukavemeti yüksek olan iyi bir kalite çimento ile imal edilen karışımın basınç mukavemeti daimi yüksek olur.

3A. Agregaya İlgili Büyüklerinin Tesiri :

"Agrega granülometrisinin, beton basıncına olan tesiri, karışım su miktarı olan tesiriyle açıklanabilir. İlk bölümde belirtildiği gibi agregaya granülometrisi, karışıma giren su miktarını tayin eder. Basınç mukavemetinde, «su

————— oracimento»

nma bağlı olarak değiştiğine göre, burada, agregaya granülometrisinin basınç üzerine olan etkisi ortaya koyulabilir. Agregaya tanelerini ıslatmak için kullanılan su miktarı «BOLOMEY» formülü adı anılan ifade ile bulunabilir. Formül, sadece taneleri ıslatmak için gerekli olan su miktarını vermektedir. Agregaya boşluklarına doldurulacak su miktarı, bu miktara dahil değildir. (4)

$$W_{su} = \frac{N \cdot Q}{\sqrt[3]{d_1 \cdot d_2}} \dots\dots\dots (6)$$

Burada,

W_{su} Agregaya tanelerini ıslatmak için kullanılan su miktarı,

N Agregaya şekline ve karışımın akıcılığına bağlı olarak değişen sayı.

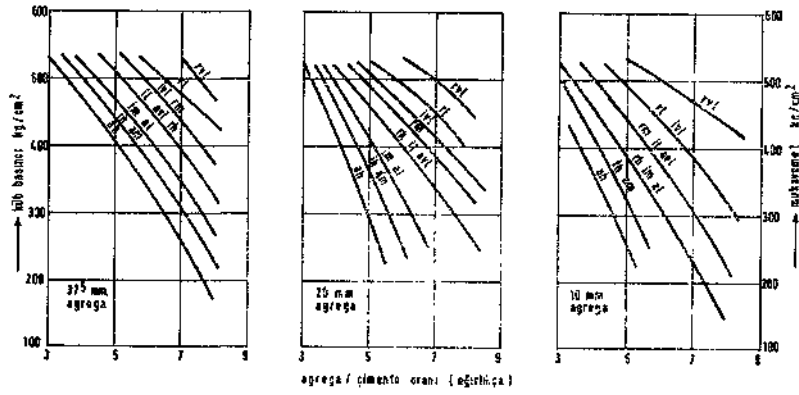
Yeraltında, kullanılacak betonun agregası konkret mahsulü olacağı gözönüne alınırsa, N = 0.12 - 0.13 değerleri alınır.

Q d_1 , d_2 eleği arasında kalan malzemenin miktarı, (kg) hesap kolaylığının temini sağlamak bakımından Q = 1 kg. alınır. Bu şekilde elde edilecek değer, (kg) agregayı ıslatacak su miktarını gösterir.

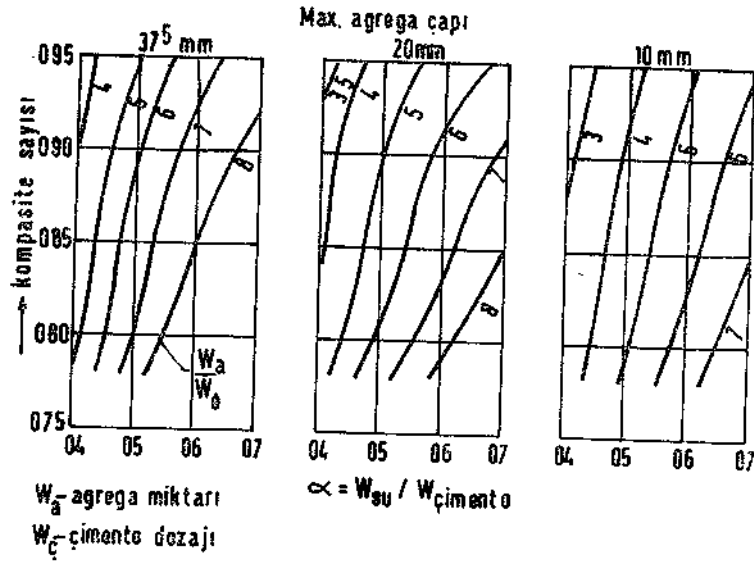
Formülün nümerik tatbikatından görülecek ki : Tanelerin boyutu arttıkça gerekli su miktarı azalmaktadır. Burada, aynı neticeyi bir kere daha görmüş oluyoruz.

Şöyle ki : max. agregaya çapının büyük seçilmiş olması, betonun basınç mukavemetinin artmasına sebep olacaktır. Zira iri kısımlar fazla olan bir agregaya için gerekli su miktarı az olacaktır. Bu ise, karışımın basınç mukavemetinin artmasına sebep olacaktır.

Aynı zamanda, $\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}}$ oranının değişimi karışımın kompozite ve $\left(\frac{\text{su}}{\text{çimento}}\right)$ oram cinsinden verilebilir. (2). Şekil-2'de böyle bir tipik değişim, muhtelif max. agrega ebatları için görülmektedir.



Şekil — 1 (2)



Şekil — 2 (2)

Sabit $\left(\frac{\text{su}}{\text{çimento}}\right)$ oranında $\left(\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}}\right)$ oranının küçülmesiyle karışımın kompasite değerinin arttığı aynı eğriden takip edilmektedir. Pompalanabilir betonun kompasite değerinin yüksek olması istenir. Bu bakımdan, sabit bir $\left(\frac{\text{su}}{\text{çimento}}\right)$ oranında karışımın $\left(\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}}\right)$ değeri azalacaktır.

Yukarıda verilen malûmatlara göre, betonun mukavemeti yapısının özellikleriyle çok yakından bağlı olduğu açıkça görülür. Böyle bir karışık görünüm, şüphesiz ki: yeraltında, kullanılacak betonun dizaynını oldukça güçleştirecektir. Detaylı bir nümerik misala girmeden evvel aşağıda, toplu olarak pompalanabilir bir beton karışımının yerine getirmesi gereken şartlar verilecektir.

4. Pomjpalabilir Beton Karışımının. Özellikleri *

- a) Beton karışımı istenen basınç mukavemetine haiz olmalıdır. Bu değer, betonun kullanılma yerine bağlı olarak değişir. Yeraltında betonarme galeri kaplaması için kullanılacak betonun basınç mukavemeti 28 günlük bir müddet için en az 160 (kg/cm²) olmalıdır. Galeri - ramble duvarında taşıyıcı malzeme olarak kullanılacak betonun basınç mukavemeti 7 günlük kür müddeti sonunda, 200 - 300 (kg/cm²) arasında olmalıdır. Bu değerın sayısal tesbiti ilerde verilecektir.
- b) Karışıma girecek granülometri bileşiminin max. agrega çapı 20 (mm) olmalıdır ve belli bir nisbette ü>ce aksamı olmalıdır. Eğer karışım yüksek çimento dozajlı ise, ince aksama ihtiyaç olmayabilir. Bu durum elek analizi ile görülmelidir. 300 mikron eleğinden geçen ince aksamın miktarı toplam agrega miktarının % 15'i kadar olması tasviye edilir.
- c) Karışım uygun bir çimento dozajına haiz olmalıdır. Pratikte dozaj 300 - 350 (kg/m³) arasında değişir. İktisadi bir çimento dozajı ile çalışılması tavsiye edilir

ve bu değer sistematik bir tarzda yerine getirilmiş birkaç deneme karışımı sonucunda elde edilebilir.

- d) Taze beton karışımının okme değeri 7.5 + 2,5 (cm) olmalıdır. Ve mutlaka, karışımının bu karakteristik değeri Abrams konisi ile tesbit edilmelidir. Pratikte, görülen güçlüklerden biri de, karışımın uygun bir akıcılığına sahip olmamasıdır. Ve neticede, karışım boru hattı içinde yer yer okebilir ve sıvı kısım agregasmdan ayrılabilir. Bu bakımdan, pompa randımanının yükseltilmesi için muntazam aralıklarla, imal edilen beton karışımının, okmesi kontrol edilmelidir. Pratikte alman bazı yeterli olmayan tedbirler ile mesala fazla su koymakla, karışımın akıcılığının artırabileceği düşünülür. Bu tedbir bir lde doğrudur. İlve su miktarı yanında, betonun basınç mukavemeti imento miktarı ile kontrol edilmesi gerekir. Sadece su miktarını artırmakla, basınç mukavemetinin büyük lde düşmesine sebebiyet verebiliriz. Bu tedbirlerin yanında, tatonman yolu ile tayi nedilebilecek imento artımına gidilmesi daha uygun bir yol olacaktır. Ayrıca, karışıma katkı maddeleri de ilâve edilebilir. Bu konunun detayı ' referansında görülecektir.

5. Pompalanabilir Beton Karışımının Dizayn Felsefesi,"

5.1 Genel :

Yukarıda açıkladığımız esaslara göre betonun dizaynı yeraltında, oldukça hassas bir mühendisliği gerektirir. Beton karışımında erişilmesi istenen iki önemli hedef vardır.

- İstenen basınç mukavemeti.
- Karışımın akıcı kıvamda olması.

Tekrar dikkatimizi, evvelki bölümlerde verilen malumata çevirirsek, görülecek ki, akıcılığla istenen basınç mukavemeti birbiriyle ters orantılı şekilde bağlıdır. Bir başka deyişle, akıcılığ arttırılması su miktarının arttırılması olacak ki, bu durumda, karışımın basınç mukavemeti büyük nisbette düşecektir. Görülüyor ki, istenen bu iki ana hedefin sağ-

lanması oldukça güçtür. Ve mutlaka, birkaç deneme karışımları yapılması ve karışımların istenen şartlara uygunluğu görüldükten sonra ana beton karışım imaline yeraltı da başlanmalıdır.

Bütün bunlara ilâveten, maden mühendisi inşa edeceği taşıyıcı elemanın veya tatbik ettiği bir sistemin ekonomik olmasını arzu edecektir. Ekonomik mülahazalarda, genel tablo içine ithal edildiğinde, problemin hassas bir mühendislik sanatı istediği açıkça görülür.

5.2. Dizayn Hedeflerini Genelleştirilmesi :

Karışım pompa ile sevk edileceğine göre akıcılığı bellidir. Genel olarak, 7,5 cm'lik bir çökme, pomlanabilir karışımlar için uygundur.

Betonun basınç mukavemeti, kullanıldığı yerin ihtiyaçlarına göre değişecektir. Galeri-ramble duvarında taşıyıcı eleman olarak kullanılması düşünülen betonun proje basıncı aşağıdaki ifade ile bellidir. (6)

$$\sigma_p = (0.938 \frac{l}{a} + 0.469) H.n \dots\dots\dots (7)$$

Burada;

σ_p Beton karışımının 7 günlük kür sonucunda sahip olması gerekli mukavemet (ton/m²)

l Galeri açıklığı, (m)

a Rable duvarının genişliği, (m)

H İmalat derinliği, (m)

n Emniyet katsayısı, $n = 1.5$

Betonun karışım hesabında kullanılacak a basınç değeri belli bir miktar " c_p " değerinden büyük olmalıdır. Karışım hesabının yapılacağı ortalama beton basınç mukavemeti (8) ifadesiyle bellidir.

$$\sigma_{ort} = \frac{\sigma_p}{1 - t.V} \dots\dots\dots (8)$$

- σ_{ort} Karışım hesaplarının yapılacağı ortalama beton basınç mukavemeti.
- t Numunelerin yüzde kaçının proje mukavemetinin altına düşmesiyle ilgili istatistiksel bir faktör.
- v Numunelerin deney sonucundaki beklenen varyasyon katsayısı. Bu katsayının değeri yeraltında betonun imalinden, yerleştirilmesi ve testine kadar bütün işlemlerinin yapımında gösterilen itina ile yakından ilgilidir. İyi bir şantiye kontrolünde $V = \% 15 - 10$ arasındadır. Vasat bir çalışma şartlarında bu değer $V = \% 15 - 20$ 'ye yükselir. (°) referansında belirtildiği gibi, hesaplanan emniyet sayısının içinde, malzemeden gelen belirsizlikler gözönünde tutulmuştur. Bu bakımdan, ekonomik mülahaza ile çok büyük bir emniyet katsayısı ile çalışmak doğru olmayacaktır. Zira, $V\%$ 'in yükselmesi karışım hesabının yapılacağı ortalama basınç mukavemetinin artması demektir. Kolaylıkla takip edilir ki aynı mukavemet için çimento sarfiyatı artacaktır. Bu nedenle $V = \% 10$ alınmıştır.

t değeri deneyde kullanılan numune sayısına ve numunelerin proje mukavemetinin altına düşme ihtimaline bağlı olarak değişir. Genellikle pratikte numunelerin $\% 95$ 'inin proje mukavemeti geçmesi istenir. Deneyde kullanılan numune sayısı 5 adet olarak alınırsa, t'nin değeri $\% 95$ ihtimal yüzdesi için klasik istatistik kitaplarından, $t = 2.776$ olarak bulunur. Eğer, denenecek numune sayısı $n = 10$ ise, aynı ihtimal yüzdesi için $t = 2.262$ değerini alır.

Pratikte, genel olarak numune sayısı üzerinde yanlış bir muhakeme yürütülür.

Şöyle ki : ne kadar çok sayıda numune alınırsa, o mertebede hakiki basınç mukavemetine yakın bir ortalama elde edilir. Yazarın, laboratuvar çalışmalarında elde ettiği tecrübeye göre; basınç mukavemetine tesir eden deneysel faktörler ortalama bir özen gösterilmek şartıyla kontrol edilirse,

numune sayısının artması deney sonuçlarının varyasyon katsayısı üzerinde pozitif bir tesiri olmayacaktır.

(Normal bir özen ile yapılan ve denenen 4 - 5 adet numunenin kırılma sonuçlarında hesaplanan varyasyon katsayısı $V = \% 5 - 4$ idi). Zaman ekonomisi yönünden numune sayısının $n = 5$ alınması uygundur. Karışım hesabının yapılacağı basınç mukavemeti, $\% 10$ varyasyon katsayısının kabulü ile aşağıdaki (9) ifadesi ile hesaplanır.

$$\sigma_{ort} = \frac{\sigma_p}{1 - 2.776 \times 0.10} = 1.384 \quad \sigma_p \dots\dots\dots 0$$

Mukavemet değerinin hesabından sonra, beton karışım hesabının yapımına geçilecektir. Karışım hesabında bulunması gereken üç ana parametre vardır :

- Çimento dozajının tesbiti
- Su/çimento oranının tayini
- Ve agrega/çimento oranının hesabı.

Çimento (dozajının tesbiti) :

Çimento dozajının tayini güç olmayacaktır. Pratikte kullanılan çimento dozajı ortalama olarak 250 - 350 (kg/m^3) arasında değişir. Uygun bir değer olarak 300 (kg/m^3) alınabilir.

Su/çimento oranının tayini :

Bu oran, istenen basınç mukavemetinin bilinmesiyle (2) eşitliği yardımı ile hesaplanacaktır. Kabul edilen çimento dozajının miktarına göre, "Su/çimento" oranının bilinmesiyle karışıma girecek toplam su miktarı hesaplanır. Bu miktar, karışıma girecek agrega granülometrisinin bilinmesiyle, Bolomey formülünden kullanılacak ıslatma su miktarı bulunabilir. Yalnız bu miktarın, agregayı ıslatmak için gerekli su miktarı olacağını gözönünde tutmak gerekir. Bu bakımdan, granülometri bileşimi yolundan hesaplanan agrega miktarına,

çimento numunelerinin hidrotasyonu için gerekli su miktarı ilâve edilmelidir. Yukarıdaki ifade şu şekilde yazılabilir.

$$W_{su} = 0,23 W_{\xi} + \Sigma W_{su} \dots\dots\dots (10)$$

agrega

Burada, W_{su} toplam su miktarını (kg/m^3), ΣW_{su} agrega tanelerinin ıslatılması için kullanılan su miktarını (kg/m^3) gösterir.

$$\Sigma W_{su} = W_{agrega} W \dots\dots\dots (11)$$

agrega

ile hesaplanır. " W_{agrega} ($1 m^3$) karışıma giren agrega miktarı (ince aksam + iri kısım) (kg)" " W ($1 kg$) agregayı ıslatmak için gerekli su miktarı (m^3). W değeri Bolomey formülünden elde edilecektir (6 ifadesi).

Âgrega/Çimento oranının, **tesbiti** :

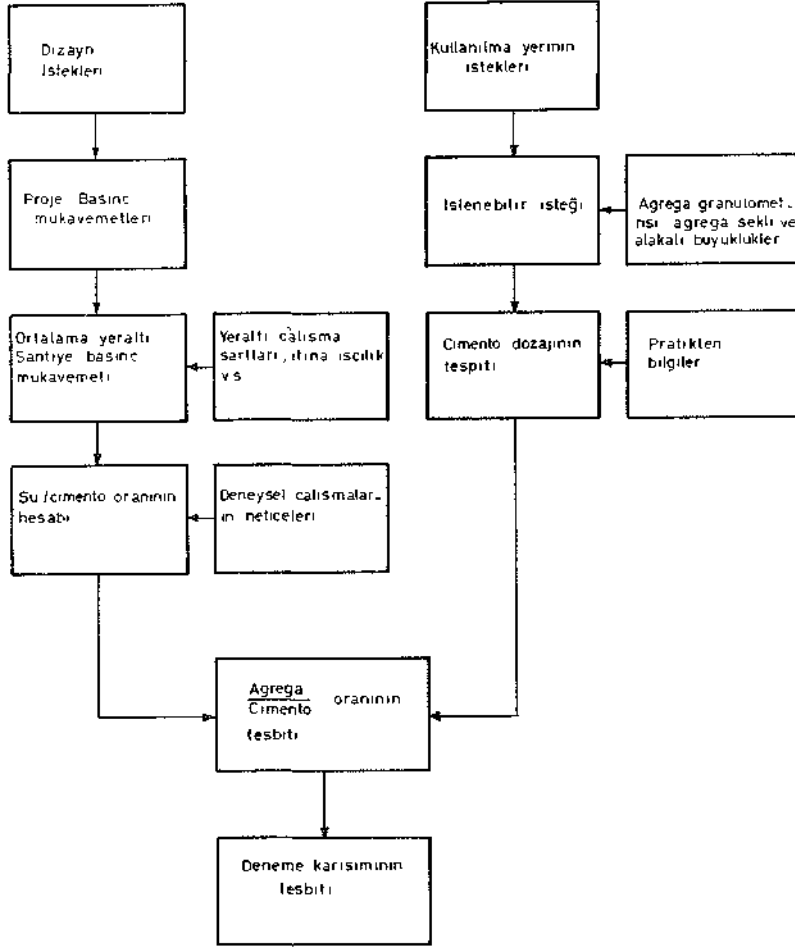
Agrega/Çimento oranının tesbiti çeşitli şekilde yapılabilir. Şekil - 1 yardımıyla, karışım mukavemetinin ve işlenebilir özelliğinin bilinmesiyle, sabit bir maximum agrega çapı için $\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}}$ oranı bulunur.

Veya pompalanabilir bir karışımın yüksek bir kompasiteye haiz olması gereği gözönünde tutularak, ikinci etapda $\frac{\text{su}}{\text{agrega}}$ tesbit edilen " $\frac{\text{su}}{\text{agrega}}$ " oranının bilinmesiyle Şekil - 2'den

belli bir max. agrega ebatı için, " $\frac{\text{çimento}}{\text{çimento}}$ " oranı okunur.

Karışım kompasitesi, $\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}}$ oranından bağımsız olarak $7,5 \text{ cm}$ 'lik çökmeye tekabül eden değeri $0,90 - 0,95$ arası değişir. (2)

Yukardaki dizayn etapları genel olarak diagramatik bir tarzda Şekil - 3'de gösterilmiştir. (1)



Şekil — 3
Tipik bir karışım hesabı projesi (1)

6. Numerik Karışım, Hesabı :

Aşağıda genel olarak metinde verilen etaplara göre hesaplanacak bir nümerik misal yapılacaktır. Hesapta kullanılacak basınç mukavemeti 7 günlük kür müddeti için olacaktır.

Veriler :

Karışım, hidrolik bir pompa vasıtasıyla imalat yerine sevk edileceğinden çökme miktarı 7,5 cm ve agreganın max. çapı 20 mm'dir. Akıcı beton, 500 metre imalat derinliğinde, 1,5 metre genişliğinde inşası düşünülen galeri - ramble duvarında kullanılacaktır. Galerinin serbest açıklığı $l = 4$ m'dir. Taşıyıcı sistemin emniyet katsayısı $n = 1,5$ dur.

İstenen :

Yukarıdaki şartlara haiz bir akıcı betonun karışım hesabı.

Proje Basınç Mukavemetinin Tayini :

$$\sigma_p = (0.938 \frac{l}{a} + 0.469) H.n = (0.938 \times \frac{4}{1,5} + 0.469) \times 500 \times 1,5 = 2227,7 \text{ (Ton/m}^2\text{)}$$

Betonun ortalama şantiye basınç mukavemeti :

$$\sigma_{ort} = 1.38 \times \sigma_p = 1.384 \times 2227.7 = 3083 \text{ (Ton/m}^2\text{)}$$

Su/çimento oranının hesabı :

$$R_r = \sigma_{ort} = 78.46 \alpha \frac{1.75}{1} = 308.3 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

bağıntısından

$$a = \frac{\text{su}}{\text{çimento}} = 0.46 \text{ elde edilir,}$$

Sra miktarının tesbiti :

Çimentonun dozajı 300 kg/m³ alınmıştır.

$$a = \frac{W_{su}}{W_{ç}} = \frac{W_{us}}{300} = 0.46 \text{ eşitliğinden}$$

$$W_{su} = 138 \text{ kg/m}^3 \text{ elde edilir.}$$

Agrega/Çimento miktarıyla tesbiti :

İlk yaklaşım olarak, Şekil - 1 kullanılabilir. Buradan, $a = 0.46$, $a_p = 300 \text{ kg/cm}^2$ ve max. agrega çapı 20 mm. değerleri için gerekli

$\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}} = 5.0$ olarak okunur, ikinci bir

kontrol mutlaka kompasite üzerinde yapılmalıdır. Bunun için Şekil - 2 kullanılacaktır. Akıcı bir betonun kompasitesinin 0.90'm altına düşmemesi gerekir.

20 mm. max. agrega çapına tekabül eden eğriden, (Şekil - 2) $a = 0.46$ ve

$\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}} = 5$ değerleri için karışımın kompasite değeri yaklaşık olarak 0.87 bulunur.

Bu değerdeki bir karışım istenen akıcılıkta olmayacaktır. Bu bakımdan (Şekil - 2) max. agrega ebatı 20 mm'ye tekabül eden eğriden, uygun bir kompasite değeri olarak $A = 0.95$ ve $a_p = 0.46$ değerleri için yeni bir

$\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}}$ oranı tesbit edilebilir.

Bunun yapılmasıyla $\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}} = 4$ olarak okunur. Kabul edilen bu yeni

$\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}}$ oranı, karışımın mukavemeti üzerinde menfi bir tesiri olmayacağı Şekil - 1 den takip edilmektedir. (20 mm. agrega ebatı için)

$\frac{\text{agrega}}{\text{çimento}} = 4$ değerinden, karışıma girecek toplam agrega miktarı hesaplanır.

$$W_{\text{agrega}} = 4.W_c = 4 \times 300 = 1200 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Yukarıdaki yapılan hesaplamaların sonuçları ilk deneme karışımın dizaynında kullanılacağından, hiçbir vakit kesin sarj miktarları olarak ele alınmamalıdır. Birkaç deneme karışımının yapımı ile pompa sistemi için uygun bir karışım tesbit edilebilir.

Ayrıca, karışımın bütün özelliklerinin, bu denemelerle bulunacağından deneme karışımlarının mutlaka yerine getirilmesi bu yönde gerekli olmaktadır.

Yukarıdaki nümerik misale göre deneme karışımında kullanılacak malzeme miktarları şöyle olacaktır.

Su130 kg/m³

Çimento300 kg/m³

Agrega1200 kg/m³

Kompasite A = 0.95

R e f e r a n s l a r :

- 1 – ARIOĞLU, E. : Maden Mühendisleri için inşaat bilgisi yazılmakta olan telif eser.
- 2 – LYDON, F. D. : Concrete mix Desing, Applied Science Publisher Ltd. London, (1972)
- 3 – BİRÖN, C, ARIOĞLU E. : Garp Linyitleri İşletmesi Soma Bölgesi İçin Betonarme Suni Tavanlı Rambleli İşletme Projesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu MAG-240 Projesi, (1971)
- 4 – POSTACIOĞLU, B. : Yapı Malzemesi, İ.T.Ü. Teknik Okulu Yayını : 73 (1969)
- 5 – AKROYD, T.N.W. : Concrete, Perganon Press, (1962)
- 6 – ARIOĞLU, E. : Galeri Ramble Duvar Genişliğinin bir statik model ile boyutlandırılması, Madencilik Dergisi, Cilt XV, Sayı: 5 (1975)