

YÜKSEK PERFORMANSLI BETONLARIN BİLEŞİMLERİNİN BELİRLENMESİ ÇİMENTO HARÇLARI YÖNTEMİ

François de LARRARD
Dr. Yük. Müh.
L.C.P.C.
Paris, Fransa

Claude PUCH
Yük. Tekniker
L.C.P.C.
Paris, Fransa

ÖZET

Çalışma yüksek performanslı betonların (YPB) bileşimlerinin belirlenmesinde özgün bir yöntemi tanıtmaktadır. Önce, betonun basınç mukavemetini tahmin için ampirik bir formül ve bunun yanında süspansiyon halindeki taneli bir karışımın viskozitesinin teorik modeli verilmektedir. Bu iki araç yardımıyla, özellikleri verilmiş bir betonun bileşiminin belirlenmesi için deneysel bir yöntem oluşturulmaktadır. Bu yaklaşımda, en uygun beton bileşiminin düşük hacimde bağlayıcı hamuru ve yüksek dozda süper akışkanlaştırıcı içerdiği kabul edilmektedir.

Yöntemin birinci avantajı işçilik ve malzeme tüketimi açılarından ekonomik olmasıdır. Zira elle yapılan işler çoğunlukla çimento harçları üstünde gerçekleşmektedir.

Öte yandan elde edilen beton bileşimleri kendilerinden beklenen basınç mukavemeti ve işlenebilme özelliklerini yerine getirdikleri gibi başka avantajlar da göstermektedir.

1. GİRİŞ

Yapı mühendisleri, yüksek katlı binalar, köprüler, açık deniz petrol platformları, prefabrik elemanlar gibi giderek çeşitlenen alanlarda yüksek performanslı betonların (YDB) (28 günlük silindirik karakteristik mukavemeti 60-100 MPa arasında) ekonomik yararlarının farkına varmaktadır. Bu

nedenle, fabrika ve şantiyelerde bu betonlar giderek yaygın bir şekilde kullanılacaktır. Bunlar, Portland çimentolarından, kimyasal katkı maddelerinden (süperakışkandırıcılar) ve silis dumanı gibi son derece ince mineral ürünlerden itibaren elde edilmektedir. Betona katılan bu maddelerin fiyatları yüksek olduğuna göre bunlardan en iyi verimi almak önem kazanır. Öte yandan, YPB'larda işlenebilirliğin hızla kaybı gibi olası olumsuzlukların da beton bileşimi belirlenirken hesaba katılması gerekir. Buradan, en az sayıda deneyle çok sayıda parametreyi kontrol eden ve şantiye süresi boyunca geçerliliğini koruyan bir rasyonel beton bileşim belirleme yönteminin faydası ortaya çıkar.

2- FERET KURALI

Beton teknolojisinin ilk yıllarında René Féret [2], betonun ve harcın basınç mukavemetini tahmin için çağımızda hala kullanılan ampirik bir formül önerdi. Bir süre önce çimento ve silis dumanı esaslı yüksek performanslı betonlar için bu formülün bir uyarlamasını yaptık [3],[4],[12].

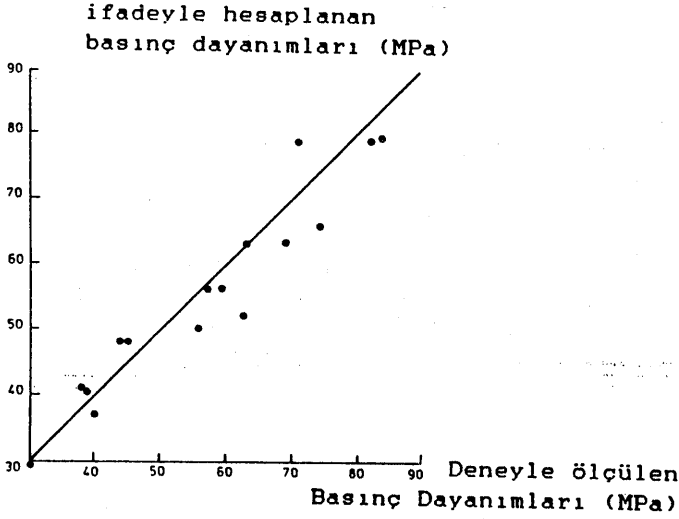
$$f_{c28} = \frac{K_g \cdot R_{c28}}{\left(1 + \frac{3.1 \cdot e/c}{1.4 - 0.4 \exp(-11 \cdot s/c)}\right)^2}$$

burada

- f_{c28} betonun 28 günlük ortalama basınç mukavemeti,
- e, c ve s bir metre küp betonda sırasıyla suyun, çimentonun ve silis dumanının ağırlıkları,
- K_g agreganın kalitesine bağlı bir parametre (olağan agregalar için $K = 4.91$ değeri geçerli sonuç vermektedir),
- R_{c28} çimentonun gerçek sınıf dayanımıdır.

$K_g \cdot R_c$ çarpanının deneylerden belirlenmesi koşuluyla (Şekil 1), su/çimento oranının 0,40 dan aşağı olduğu YPB'larda, bu formülün hassasiyeti 5 MPa mertebesinde. Bu ifade basınç dayanımını tahmin özelliği dışında, silis

dumanının iki farklı etkisini, boşluk doldurma etkisi (su/çimento oranının düşmesi) ile puzolanik bağlayıcı etkisini (s/c teriminin basınç mukavemetine katkısı) ayrı ayrı yansıtabilmektedir.



Şekil 1- Uyarlanmış Feret formülüyle hesaplanan basınç dayanımları ile deneysel olarak ölçülen basınç dayanımlarının karşılaştırılması [5]

Bu formülün ortaya koyduğu başka bir bilgi de betonun basınç dayanımı üzerinde bağlayıcı hamurun etkisinin miktarından, dozajından ziyade cinsinden, kalitesinden kaynaklandığıdır. YPB elde etmek için önce uygun bir çimento hamuru cinsi, bileşimi belirlenir. Daha sonra, ekonomik nedenlerle, bu hamurdan minimum, ancak işlenebilme için yeterli miktarda tüketilmeye çalışılır.

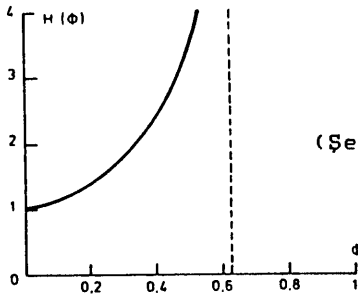
3- FARRİS MODELİ

Çok sayıda değişik boyutta tanelerin süspansiyon halinde oluşturduğu ortamın viskozitesi ile ilgili bir modeldir. Farklı sınıftaki taneler $d_i \gg d_{i+1}$ olmak üzere d_i çapları ile karakterize edildiğinde karışımın viskozitesi

$$\eta = \eta_0 H \left(\frac{\phi_1}{\phi_1 + \dots \phi_n + \phi_0} \right) H \left(\frac{\phi_2}{\phi_2 + \dots \phi_n + \phi_0} \right) \dots H \left(\frac{\phi_n}{\phi_n + \phi_0} \right)$$

Burada;

- ϕ_i süspansiyonun birim hacminde i tane sınıfı tarafından tutulan hacim,
- ϕ_0 aynı toplam hacimde sıvı fazın hacmi,
- η sadece sıvı fazın viskozitesi,
- H, tek boyutlu tanelerden oluşmuş süspansiyonun bağıl viskozitesinin katı tane konsantrasyonuna bağlı olarak değişimini gösteren fonksiyon (Şekil-2).



(Şekil-2) Tek boyut taneli süspansiyonda tane konsantrasyonu ile süspansiyonun bağıl viskozitesi arasındaki ilişki.

Farris'in varsayımı her tane sınıfının karşısında o sınıftan küçük tanelerin sıvı fazla oluşturduğu karışımın homogen bir akışkan kabul edilmesidir. Böylece çeşitli sınıfta taneli süspansiyonun viskozitesi, rekürans yoluyla hesaplanabilmektedir.

Fakat süspansiyonun viskozitesinden betonun işlenebilirliğine nasıl geçilir? Petri'ye göre [7] ilk yaklaşımda çok akışkan çimento hamurlarının newtonien sıvı gibi davrandıkları varsayılabilir. Bu varsayımı YPB'lar için de geçerli kabul edeceğiz. Bu varsayım akma gerilmesi ile deformasyon hızı arasındaki ilişkinin lineer olması ve YPB'un taze haldeki davranışın tamamen viskozitesi ile

belirlenebilir olması anlamına gelmektedir. Klasik reolojik deneyler açısından bu varsayımın sonucu akma eşiğinin kaybolmasıdır ki bu, Abrams konisinin de betonun tamamen çökmesi demektir (pratikte 20 cm çökme). Farris modelini uygulamak için betonda iri agrega, kum ve çimento olmak üzere üç tane sınıfı bulunduğu kabul edilir. Bu durumda, YPB un bileşiminin belirlenmesi problemi şu şekilde özetlenebilir: İstenen mukavemet düzeyi su/çimento oranını belirler, istenen işlenebilme düzeyi mevcut fazların hacimleri arasında bir ilişki getirir, ekonomi koşulu da bileşimdeki çimento miktarını minimize etmeyi zorunlu kılar. Buradan kolayca şu sonuçlar çıkar [4]:

- belli bir işlenebilme için en yüksek mukavemet teorik olarak saf çimento hamuru ile elde edilir (kum ve iri agrega kullanmadan)
- belli bir mukavemet düzeyi için, çimento hamuru dolayısıyla çimento miktarını minimize eden optimum bir kum/iri agrega oranı vardır. Hamurun cinsi ve miktarı değişmediği takdirde bu oran minimum viskoziteli karışıma karşı gelir.
- eğer hamur aynı hacimde ve aynı viskozitede bir başka hamurla değiştirilirse bu büyüklük değişmeden kalır.

4- LCPC DENEYSEL YÖNTEMİ: NORMAL BETONLAR

Onbeş yıl kadar önce, Baron ve Lesage [8], yukarıdaki düşüncelere dayanarak, beton bileşiminin belirlenmesinde bir yöntem geliştirdiler. Yöntem, belirli bir uygulama için hesaplanmış betonun ideal kıvamını karakterize eden kritik işlenebilme kavramına dayanır. Bu işlenebilme, vibrasyon altında betonun bir kalıba akışını benzeten ve "maniabilimetre LCL" [9] (işlenebilme-ölçer) denen bir aletle ölçülür. Yöntemin aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Keyfi bir karışım (su/çimento oranı) ve bir hamur hacmi saptanır (genel olarak Faury [14] veya Dreux [15] tipinde ampirik bir yöntemle belirlenen ilk karışım hesabından elde edilir).
- Bu parametler sabit tutulmak üzere, en iyi işlenebilmeyi veren kum/iri agrega oranı aranarak agrega iskeleti optimize edilir.
- Agrega iskeleti belli olduğuna göre hepsi istenen

işlenebilme özelliğine sahip artan çimento dozajlı birçok beton üretilir.

-Sertleşmiş beton üzerindeki mekanik deneylerin sonuçlarına göre lineer enterpolasyonla optimal beton bileşimi elde edilir.

Yöntemin başarısı, hamur cinsi veya miktarı değiştirildiği zaman optimal kum/iri agrega oranının az değişmesinden kaynaklanmaktadır. Gerçekten granülometrinin basınç mukavemeti üzerinde etkisi azdır (yüksek oranda iri agrega mukavemeti biraz arttırır). Bununla beraber bu yöntemle elde edilen betonların iki önemli niteliği vardır:

- Homogendirler (segregasyon riski en aza indirilmiştir, zira iri agregaların arasını doldurmak için tam tamına gerekli miktarda ince agrega bulunur).
- Kararlıdırlar (agrega oranlarında optimal değer in civarındaki değişimlerin betonun işlenebilmesi üzerindeki etkisi azdır).

Baron-Lasage yöntemi, referans granülometri eğrileri kavramı üzerine oturan ampirik yöntemlerle karşılaştırıldığında, göreceli olarak daha uğraştırıcı ve oyalayıcı görünebilir. Ancak, yüksek miktarda veya yüksek kalitede beton üretimi söz konusu olduğunda yöntem geçerliğini kanıtlamıştır. YPB üretimi yöntemin geçerlik alanı içinde kalmaktadır.

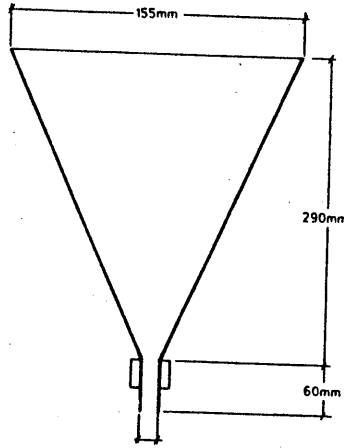
5- YÖNTEMİN YÜKSEK PERFORMANLI BETONLARIN BİLEŞİMİNE UYGULANMASI

Parametre sayısının artması başlangıçta problemi daha karmaşık kılar. Zira beton bileşimine dört yeni madde girebilmektedir: Süperakışkanlaştırıcı ve geciktirici kimyasal katkılarla silis dumanı ve uçucu kül v.b. mineral katkılar Doğrudan bir optimizasyon yüzlerce beton bileşiminin denenmesini gerektirebilirdi! Oysa, YPB'un özgün bileşenleri çimento hamurunda yer almaktadır, ki buradan denemeleri çimento hamurları üzerinde gerçekleştirme fikri ortaya çıkar. Beton üzerinde yapılan sınırlı deneyler bunların doğrulaması olur. Normal betonunkine oranla agrega iskeletinin türünü ya da oranlarını değiştirmek için geçerli

bir neden yoktur. Bu nedenle, yöntemde agrega iskeletinin sabit tutulması ve Baron-Lesage yöntemi veya ampirik başka bir yöntemle daha önce belirlenmiş bir iskeletin aynen benimsenmesi tercih edilir. Hamurun hacmine gelince onu da sabit tutmakta yarar vardır.

Hamurların kıvamı, değiştirilmiş Marsch konisi deneyi ile ölçülecektir. Geleneksel olarak ön gerilmeli betonların enjeksiyon harçlarında kullanılan bu deneyin bazı unsurlarını değiştirme gereği YPB ların hamurlarının genel olarak daha az akıcı olmasından kaynaklanır.

Çimento hamuru ile agrega iskeleti arasındaki ayrım tane büyüklüğüne ($\sim 80 \mu m$) veya priz yapma özelliğine göre yapılabilir. Çimento ve mineral katkılar genelde 80 mikrondan küçük tanecikler oldukları ve bağlayıcı özellik gösterdikleri için çimento hamurunun yapısı içinde kabul edilebilirler. Kumun bünyesindeki 80 mikrondan küçük taneler ise, oranları yüksek olmadığı sürece agrega iskeletinin parçası sayılabilirler. Oran yüksekse kumun 80 mikrondan geçen bölümü elenip alınarak çimento hamuruna karıştırılabilir.



ø değişken çap

Şekil 3- Marsch Konisi

İşte, yöntemin farklı aşamalarının ayrıntıları:

Başlangıç

Amaç:

Bölgesel bir sanat yapısı betonu bileşiminden hareketle 28 günlük ortalama basınç mukavemeti 50-110 MPa arasında, akıcı kıvamda bir YPB bileşimi hazırlanması.

Araçlar:

- Beton laboratuvarının alışılmış gelmiş aletleri (teraziler, beton ve harç karıştırıcı, Abrams konisi, LCL maniabilite metre, beton presi
- Değişik çapta uçlarıyla Marsch konisi.
- 100 - 200 cm³'lük cam kaplar.

Bileşen Yelpazesi:

Yerel agregalar, PÇ 550 veya benzeri yüksek nitelikli 2 veya 3 çimento, birkaç süperakışkanlaştırıcı (mümkünse bir naftalen sülfonat ve bir melamin reçinesi içerecek biçimde) ve katkı satıcıları öneriyorsa geciktiriciler alınır. En önemlisi uyumlu çimento/süperakışkanlaştırıcı ikilisinin seçimidir.

1. Referans YPB <<0>> bileşimi

Bölgesel beton bileşiminin agrega iskeletinden yola çık, 425 kg çimento (*) (20-25 mm lik en büyük tane büyüklüğü için) ve katı toz oranı %1,5 olacak biçimde süperakışkanlaştırıcı ekle, su miktarını akıcı bir beton elde edecek biçimde seç (çökme değeri ~20 cm). Bu aşamada çimento/süperakışkanlaştırıcı seçimi çok önemli değildir.

(*) Bu dozaj, normal granülometreler için betonun optimal kompozitesine, yani verilmiş bir kıvam için minimum su ihtiyacını götürür. Agreganın maksimum tane büyüklüğü azalınca dozajı arttırmak yerinde olacaktır.

2. Referans hamuru

Bunun bileşimi, referans YPB<<0>> bileşiminin hamuruna karşı gelir, ancak agreganın ıslatma suyu (**) (normal agregalar için yaklaşık 10 l/m³) düşülür. Marsch konisinden akış zamanı ölçülür. Akış süresinin 5 ila 15 saniye olması için koninin uç çapı seçilir ve akış süresi belirlenir. Bundan sonraki bütün deneyler için işlem süreci böylece saptandığından, bu süre artık referans akma süresi olacaktır.

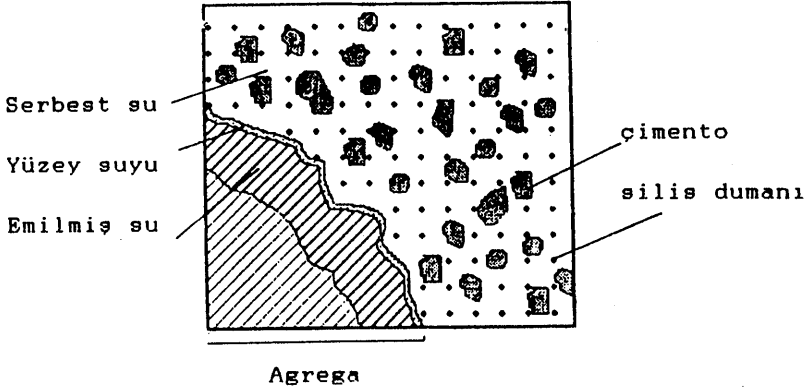
3. YP'lı hamurun mineral karışımı

Sonuçta, aralarından YPB nun hamurunu oluşturacak bulamcın seçileceği n adet hamurun bileşimini keyfince belirle. Bu belirlemeyi yaparken:

- çimentonun cinsini (eşit dayanımda C₃A sı en az olan genelde en uygundur) ve
- silis dumanı miktarını seç (çimento ağırlığının %5 ila 10'u, en çok % 20'si mertebesinde konur, eğer kullanılırsa)
- YPB nun hidratasyon ısısının az olmasının istenmesi halinde bir miktar kalker filler veya uçucu kül kullanmayı düşün.

Çok ince taneciklerin seçimi için [4], [5], [11] nolu kaynaklara başvurulabilir.

(**) Islatma suyundan agreganın tarafından emilen veya yüzeyinde tutulan su anlaşılır. Bu miktar agreganın dışa açık porozitesine bağlıdır. Pratik olarak YPB için kullanılan agreganın iyi kalitedir ve az boşlukludur.



Şekil 4- Taze betonda su

4. YP'lı hamurların süperakışkanlaştırıcı dozajı

Yüksek performanslı her hamur için su miktarını belirle, öyle ki çimento ağırlığının % 0,3 oranında süperakışkanlaştırıcı bulunduğu kıvam akıcı fakat koyuca (örneğin Marsch konisinde 20 s akma süresi) olsun. Bundan sonra süperakışkanlaştırıcı miktarını arttırarak akış süresinin değişimini incele (Her süperakışkanlaştırıcı dozajı için ayrı hamur hazırlayarak ve su miktarı sabit kalarak)

Elde edilen eğri (Şekil -2) bir minimumdan geçer ve çok yüksek katkı dozları için yavaşça yükselir: Akış zamanının minimum olduğu en küçük dozaj, doyma dozajı, deneylerin devamı için seçilmiş olur.

Aynı bir mineral karışım için süper akışkanlaştırıcının türü değiştirilirse bu durumda m'n olmak üzere n hamur üzerinde çalışılacağını burada not edelim.

5. YP hamurların su miktarı

Seçilmiş süperakışkanlaştırıcıyı içeren her yüksek performanslı hamur için, referans akma zamanını veren su miktarı belirlenir. Bu m bulamaç artık karşılaştırılabilir niteliktedir zira aynı hacimla aynı işlenebilirlikte YPB üretimine imkan verirler.

6. Geciktiricinin dozajı

YPB'un öngörülen kullanma (yerine yerleştirme) süresi (örneğin 1 veya 2 saat) boyunca, her hamurun akış süresinin bu zamandaki değişimini ölç. Eğer akış süresi anlamlı biçimde artıyorsa, öngörülen yerleştirme zamanı içinde, akış süresini sabit tutmak için, geciktirici kullanarak işlemi tekrarlar. (Şekil- 3).

Çalışmanın bu aşamasında hamur sıcaklığı ayarlanarak sıcak veya soğuk hava koşullarında beton dökümünün simülasyonu da yapılabilir.

7. Yüksek performanslı hamurun seçimi

Denenen hamurlara karşı gelen ve referans YPB <<0>>'ın içerdiği kadar çimento hamuru hacmi içeren m adet beton bileşimini hesapla. Uygun çimento/süperakışkanlaştırıcı ikilisi betonun su/çimento oranını minimum kılan ikilidir. Genelleştirilmiş Feret kuralı betonun basınç dayanımının tahminini ve uygun hamur bileşiminin seçimini mümkün kılar.

8. Seçilen YPB bileşimin özelliklerinin kontrolü

Taze beton üzerindeki reolojik deneylerle sertleşmiş beton üzerindeki aranılan performansa varılıp varılmadığını gösterir. Amaca ulaşılmadıysa bir önceki aşamadaki çalışmalara devam edilir.

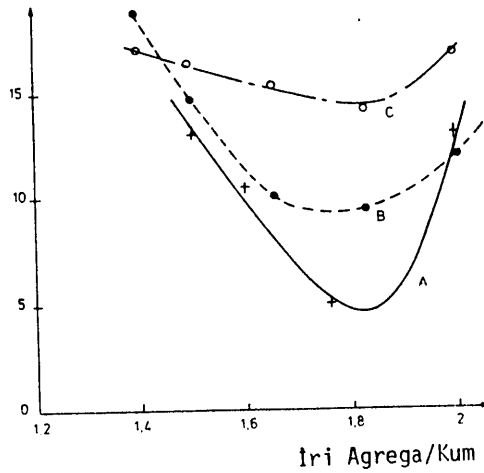
Bazı Uyarılar

Şekil -5 üzerinde, iri agrega/kum oranına (Baron-Lesage yöntemi) bağlı olarak (normal, YP, ÇYP) betonların işlenebilmelerinin değişimi çizilmiştir. Betonlar, aynı çimento ve agrega ile hazırlanmışlardır. Her üç betonda optimum iri agrega/kum oranının hemen hemen aynı olduğu şekilden görülmektedir. Ki bu normal beton bileşiminden YPB bileşimine geçildiğinde agrega iskeletin aynen korunması yaklaşımının geçirililiğini kanıtlamaktadır.

Bu yöntemle elde edilen YPB <<0>> bileşimi az miktarda çimento hamuru fakat alışılmamış önemli miktarda süperakışkanlaştırıcı katkı içerir. Aynı bileşenlerden hareketle ve aynı özelliklere sahip beton üretmek için su/çimento oranı aynı fakat çimento hamuru ve süperakışkanlaştırıcı miktarları değişik karışımlar da yapılabilir. O halde bu muhtemel bileşimler arasında bir uç-

ta çimento dozajı düşük ama süperakışkanlaştırıcı katkısı çok, diğer uçta çimento dozajı yüksek ama süperakışkanlaştırıcı katkısı az betonlar bulunabilecektir. Çimento dozajı düşük bileşimlerin daha ucuz olacağı ileri sürülemez (zira katkı/çimento fiyat oranı giderek yükselmektedir) ama yapısal özellikleri nedeniyle tercih edilmeleri gerekir:

LCL Akış Süresi



Şekil 5- İri Agregat/Kum Oranına Bağlı Olarak LCL İşlenebilme Ölçerinde Akış Süresi. A: normal beton, B: yüksek performanslı beton, C: silis dumanı içeren çok yüksek performanslı beton

- Sınırlı çimento dozajı (500 kg/m^3 'den az) ısı kökenli çatlakların oluşma riskini azaltır.
- Ayırışma minimize edilmiştir
- İşlenebilme daha düzenlidir: katkı dozajındaki rastgele değişimler betonun kıvamında az etkilidirler.
- Bileşiminde agrega miktarı yüksek olduğundan betonun elastisite modülü yüksek, şekil değiştirmesi, rötresi ve sünmesi düşük olur.

Bileşimi bu yöntemle belirlenen betonlarda zaman içinde işlenebilme kaybı hızlı gelişebilir. Bu takdirde süperakışkanlaştırıcı veya geciktirici katkı ilâvesinin pek faydası olmaz. Muhtemelen kuru agreganın karma suyunu emmesinden kaynaklanan bu işlenebilme kaybına karşı etkili önlem agregaları önceden ıslatarak suya doyurmaktır.

6- YÖNTEMİN UYGULANMASINA BİR ÖRNEK (EK-1)

28 günlük karakteristik basınç mukavemeti 90 MPa olan, akıcı kıvamda, çok yüksek performanslı bir beton bileşimi araştırılalım. YPB <<O>>referans bileşimi için kırmataş iri agrega, doğal kum, PÇ 550 çimento içeren yerel bir beton bileşiminden yola çıkalım ve bunlara bir de naftalen sülfonat esaslı bir süperakışkanlaştırıcı ekleyelim.

Referans hamurunun Marsch konisinden akış süresi 5 saniyedir. Çimento ağırlığına oranla sırasıyla %5, 10 ve 15 silis dumanı içeren 3 YP hamuru deneyelim. Söz konusu hamurların süperakışkanlaştırıcı doyma dozlarını (ki bu dozlar silis dumanı miktarıyla birlikte artarlar) belirleyelim. Daha sonra da 5 saniyelik akış süresi için gerekli su miktarlarını saptayalım (silis dumanı oranı %20-25'e kadar yükseldikçe su ihtiyacı azalır).

Hamurların üçünün de bileşimi 257.6 dm³ toplam sabit hacim verecek biçimde hesaplanır. 257.6 dm³, YPB <<O>> referans betonunda , agrega ıslatma suyu (10 litre) dışındaki çimento hamuru hacmidir. Bu hamura YPB <<O>>'ın agrega iskeleti ilave edilerek genelleştirilmiş Féret formülünden basınç mukavemeti tahmin edilen üç YPB un teorik bileşimi elde edilir. 90 MPa'lık karakteristik dayanım yaklaşık 100 MPa'lık ortalama dayanım gerektirdiğinden bu aşamada o haçde % 10 silis dumanı içeren 2 no.lu YP'lı bulamaç seçilir. Bu betonun deneme üretimi sırasında kıvam biraz yapışkan görüldüğünden son bileşime bir miktar su ilave edilmesine izin verilmiştir. 28 günlük deneyler beklenen mukavemeti vermişlerdir.

Bu örnekte sonuca ulaşmak için yirmi kadar hamur ve her biri 25 dm³ lük 5 deneme betonu üretilerek denenmiştir. Eğer farklı çimentolar ve akışkanlaştırıcılar denenmek istenseydi denemelerin sayısı hızla artacaktı.

Hiçbir hamur yeterli mukavemeti sağlamasaydı ne yapılabilirdi? (Örneğin çimentonun süperakışkanlaştırıcı ile zayıf bir uyum göstermesi hali). Bu durumda betonun çimento hamuru miktarını YPB <<O>>'ın minimum hamuru düzeyinde tutmak mümkün olmaz. Hamurun su/ çimento oranını mukavemete bağlı olarak tespit etmek ve hamur miktarını, betonun kıvamı arzu edilen düzeye ulaşınca kadar arttırmak gerekir. Bazı hallerde bu aşırı çimento dozajına neden olabilir (600 kg/m³ çimento gibi). Bu durumda bileşenlerin seçimini gözden geçirerek daha iyi bir çimento, daha uygun agregalar aramak yerinde olur.

7- SONUÇ

YPB bileşimlerinin optimizasyonu, çok sayıda parametre içermesinden dolayı titiz bir yaklaşım izlenmesini gerektirir. Bu amaçla aşağıdaki ilkelere dayanan teorik bir model ve yarı ampirik bir yöntem önerilmiştir:

- Betonların mukavemetleri öncelikle bağlayıcı hamura bağlıdır.
- Granülometrisi sabit tutulduğunda betonun işlenebilirliği birincisi hamurun miktarına, ikincisi hamurun kendi akışkanlığına bağlı iki terimin çarpımı olarak ifade edilebilir.

Bu ilkelerden hareketle pratik bir bileşim belirleme yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem, en önemli parametreleri incelemek koşuluyla, az sayıda deney yaparak mukavemeti ve işlenebilirliği istenen düzeyde bir beton bileşiminin saptanmasına imkân verir. Yöntemde kullanılan deneyler bilinen klâsik, kolay deneylerdir; her beton laboratuvarında yapılabilirler. Diğer taraftan yöntem bütünüyle deneyseldir: abaklar grafikler, tablolar yoktur. Betonun kimyasal ve mineral katkıları alanındaki sürekli gelişmeler bu tür tablo, abak kullanımını süratle demode, geçersiz kılmaktadır. Tersine, hamur yöntemi, her yeni ürünü deneme ve mevcutlarla karşılaştırma olanağını sağlayarak beton bileşimini geliştirmeye, optimizasyona açık tutar.

Son söz olarak süperakışkanlaştırıcıların doyma dozunda kullanılmalarının maliyeti ucuzlatmasa bile, betonun ikincil niteliklerinde sağladığı iyileşme nedeniyle yararlı ve geçerli bir yaklaşım olduğunu vurgulayalım.

8- TEŞEKKÜR

Yazar bildiriği türkçeye çeviren Prof. Dr. Saim Akyüz'e teşekkürlerini sunar.

9 - KAYNAKLAR

- 1- Utilization of high-strength concrete (1987), Conf. held in Stavanger (Norway), Tapir Ed., Trondheim.
- 2- FERET R. (1892), Compacité des mortiers hydrauliques (Packing densities of mortars), Ann. P. et Ch., Paris, (in French).
- 3- DE LARRARD F., ACKER P., MALIER Y. (1987), Bétons à très hautes performances: du laboratoire au chantier, Bull. liaison Labo. P. et Ch., 149, mai-juin, pp. 71-74.
- 4- DE LARRARD F. (1988), Formulation et propriétés des bétons à très hautes performances, Thèse de doctorat ENPC et Rapp. rech. LPC, 149, mars, 340 p.
- 5- ALOU F, CHARIF H., JACCOUD J.-P. (1988), Bétons à haute performance. Chantiers suisses, vol. 19,9, pp. 725-730.
- 6- FARRIS J. (1968), Prediction of the viscosity of multimodal suspension from unimodal viscosity data, Trans. Soc. Rheol., 12 (2), pp. 281-301.
- 7- PETRIE E.M. (1976), Effect of surfactant on the viscosity of Portland cement-water dispersions, Ind. & Eng. Chem. Products Research and Development, 15, p. 242.
- 8- BARON J., LESAGE R. (1976), La composition du béton hydraulique du laboratoire au chantier, Rapp. rech. LPC, 64, 60 p.
- 9- BARON J., LESAGE R. (1973), Proposition pour une définition de la maniabilité, Congr. Rilem: Fresh concrete: important properties and measurements, tome 1, Ed. Leeds.
- 10- PENTALLA V. (1986), Compatibility of binder and superplasticizer in high-strength concrete, Nordic Concrete Research. 5, pp. 117-128.
- 11- DE LARRARD F. (1988), Particules ultrafines pour l'elaboration des bétons à très hautes performances, Ann. ITBTP, 466, juil.-août, 9p.

- 12- DE LARRARD F., Prévision des résistances en compression des bétons à hautes performances aux fumées de silice, Ann. ITBTP, à paraître.
- 13- DE LARRARD F., TORRENTI J.- M., ROSSI P. (1988), Le flambement à deux échelles dans la rupture du béton en compression, Bull. liaison Labo. P. et Ch., 154, mars-avril, pp. 51-55.
- 14- FAURY Y. (1965), Le béton, Ed. Dunod, Paris, 197 p.
- 15- DREUX G. (1970), Guide pratique du béton, Collec. ITBTB, 240 p.

EK1. UYGULAMA ÖRNEĞİ

90 MPa karakteristik dayanımlı YPB bileşimi belirlenmesi

Başlangıç : Yerel beton bileşimi (kg/m³)

Kalker	Kırmtaş (mm)	Doğal kum	PÇ 550 çimento	Silis dumanı	Süper akışkan.	Su
12.5-20	5-12.5	0-5				
826	398	315	410	-	-	181

1. adım : Referans YPB <<0>> bileşimi (kg/m³)

Kalker	Kırmtaş (mm)	Doğal kum	PÇ 550 çimento	Silis duamını	Süper akışkanl.	Su
12.5-20	5-12.5	0-5				
855	412	326	425	-	6.4	129

Abram konisinde çökme : 20 cm;
LCL işlenebilme ölçerinde akış süresi : 10

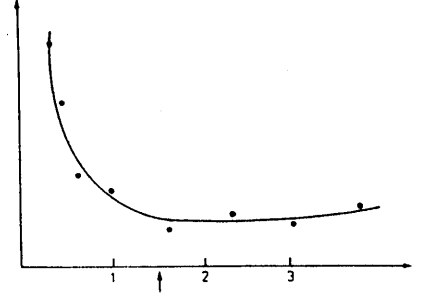
2. adım : Referans hamuru bileşimi (257.6 l/m³ hamuru bileşimi 10 l/m³ agrega ıslatma suyu)

Çimento PÇ	Silis dumanı	Süper akışkan.	Su	MarschKonisinde akma süresi
425	-	6.4	119	5 sn.

3. adım : Bağlayıcı hamurun seçimi

Marsch konisinde akma süresi

- 1 No : çimento + %5 silis dumanı
2 No : çimento + %10 silis dumanı
3 No : çimento + %15 silis dumanı



Doyma dozu Katkı/çimento (%)
(toz halde)

Şekil - 6

4. adım : Süperakışkanlaştırıcı için doyma dozunun belirlenmesi.

Şekil 6'da her nokta su/çimento oranı (su miktarına sıvı haldeki süperakışkanlaştırıcının içerdiği su dahildir) sabit tutulmuş hamur üzerinde elde edilen deneysel veriyi gösterir.

5. adım : 5 saniyelik akma süresi için gerekli su miktarının belirlenmesi (toplam çimento hamuru hacmi 257.6 litre)

Hamur No	Çimento	Silis dumanı	Süper akışkan.	Su	Marsch konisi akma süresi	S/Ç	SD/Ç	$f_{c\bullet}$
1	444	21.6	7.6	102.6	5"	0.254	0.05	95.2
2	428	42.8	8.5	97.5	5"	0.251	0.10	102.4
3	411	61.5	9.1	93.5	5"	0.252	0.15	106.8

* Kg = 4.91 ve Rc = 55 MPa olarak Ferret formülünden tahmin edilen dayanım.

Bu örnekte betonun prefabrikasyon sektöründe kullanılacağı dolayısı ile üretimi ile kullanımı arasında çok zaman geçmeyeceği kabul edilmiş, bu nedenle geciktirici dozajını belirleyen 6. adım atlanmıştır.

7. adım : ÇYPB bileşiminin belirlenmesi

2 No'lu hamur kullanılarak elde edilen teorik bileşim

Kalker Kırmataş (mm)			Doğal kum	PÇ 550 çimento	Silis dumanı	Süper akışkan.	Su
12.5-20	5-12.5	0-5	0-5				
855	412	326	326	428	8	8.5	107.5

8. adım : Daha akıcı bir kıvam elde edilmesi için biraz su ilavesinden sonra benimsenen sonuç bileşim.

Kalker Kırmataş (mm)			Doğal kum	PÇ 550 çimento	Silis dumanı	Süper akışkan.	Su
12.5-20	5-12.5	0-5	0-5				
854	411	326	326	421	42.1	7.59	112.3

Sonuç olarak betonun özellikleri :

Çökme : 20 cm

LCL işlenebilme ölçerinde akma süresi : 13 sn.

28 günlük ortalama silindir (başları taşlanmış) basınç mukavemet : 101 MPa.