

YÜKSEK PERFORMANSLI BETON

Yves MALIER

Prof. Dr.

Ecole Normale Supérieure
Cachan, Fransa

ÖZET

Bildiride yüksek performanslı betonların elde edilme yolları tanıtılmakta, bu açıdan kimyasal ve mineral katkıların önemine değinilmektedir. Bu tür betonları "yüksek dayanımlı beton" olarak adlandırmanın yetersizliğine dikkat çekilmekte, iyileşen diğer özelliklerde dikkate alınarak "yüksek performanslı beton" ifadesi tercih edilmekte, diğer özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Nihayet yüksek performanslı betonla yapı tasarımında klasik çerçeveden çıkarak malzemeler, teknolojiler, yapım yöntemleri, yapı biçimleri ve özel koşullar açısından yaratıcı yeni yaklaşımları benimsemenin gereğine değinilmekte, dünyadaki uygulamalardan örnekler verilmektedir.

1- YÜKSEK PERFORMANSLARI ELDE ETME YOLLARI

Smeaton (1756), Vicat (1818), Apsdın (1825) modern betonların kaşifleri arasında yer aldılar. Monier ve Lambot (1848), Coignet (1852), Hennebique (1880) bu malzemeyle ilk betonarme yapıları gerçekleştirdiler.

İzleyen yüzyıl boyunca beton bir agrega, çimento ve su karışımı olarak kaldı. Suyun iki temel işlevi vardı: çimentonun hidratasyonunu sağlamak ve taze betona işlenebilme özelliğini kazandırmak.

Son onyıllarda birçok bilimsel araştırma çimentonun hidratasyonuna katılmayan, ancak taze betonun reolojisi açısından gerekli fazla suyun dayanım (mukavemet) ve

dayanıklılık (durabilite) üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koydular. Dolayısı ile betonun yapımsal özelliklerini iyileştirmek amacıyla bu su miktarını azaltmanın yollarını araştırmak gerekiyordu.

Aynı zamanda çeşitli araştırmacılar beton bileşimini tasarlarken çok yüksek kompasiteli bir karışım elde ederek kaya gibi betona ulaşmaya çaba harcadılar.

Böylece yüksek performanslı beton eldesine izin veren, fiziko-kimyasal mekanizmaları farklı, iki ayrı yol açıldı:

a) Çimento tanecikleri topaklarının önlenmesi

Bu önleme organik kökenli kimyasal katkıların-süperakışkanlaştırıcıların (formaldehit ve melamin sülfonat veya formaldehit ve naftalen sülfonat) kullanımıyla elde edilmektedir. Su içinde süspansiyon halinde bulunan çimento taneciklerinin (büyük bölümü 5-50 mikron boyutlarında) birbirlerine yapışıp topaklanmalarını, ayırık kalmaları sağlanmaktadır. Bu şekilde betona gerekli su miktarı, önemli bir bölümü çimento taneleri topakları arasında hapsolunup işlevini yitirmedeğinden, büyük oranda azaltılmış olmaktadır.

b) Granülometri spektrumunun genişletilmesi

Bu genişleme silis dumanı, kalker filler ve benzeri, kimyasal açıdan aktif çok ince taneciklerle sağlanmaktadır. Agregada ve çimento taneleri arasında kalan mikroboşlukları dolduran bu tanecikler hem karışımın kompositesini yükseltmekte, hem de taze halde reolojik özelliklerini iyileştirmektedir. Paralelinde taze betonun işlenebilmesine gerekli su miktarı daha da azalabilmektedir.

Birinci yol tek başına kullanılabilmekte ve işlenebilme, dayanım ve dayanıklılık özelliklerine kayda değer artışlar sağlamaktadır. İkinci yol ancak birinci yolla birlikte kullanılabilmektedir, zira topaklanmalar önlenemediği takdirde karışıma çok ince tanecikleri katmak yararsız olmaktadır.

Uygulama düzeyinde çeşitli denemeler ve çalışmalar bugün artık değişik yörelerdeki yerel malzemelerle, yukarıdaki yöntemlerden yararlanarak ve maliyeti kayda değer biçimde yükseltmeden, 60-80 MPa karakteristik basınç dayanımına (silindir) sahip yüksek performanslı betonların

seri halde üretilebileceğini kanıtlamıştır (Joi gny köprüsü).

YPD ELDE ETMENİN İKİ YOLU	
1	2
ÇİMENTO TANECİKLERİNİN TOPAKLANMASINI ÖNLEMEK	KARIŞIM GRONÜLOMETRİSİ SPEKTRUMUNU GENİŞLETMEK
SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICILAR	BAĞLAYICI MİNERAL KATKILAR
- Formaldehit ve melamin sülfonat - Formaldehit ve naftalen sülfonat	- Silis dumanı - Kalker filler - ve benzeri

Şekil 1

Daha hassas bir yaklaşım, bileşenlerin daha titiz seçimi, her iki yöntemin birlikte kullanılması ve maliyette daha belirgin bir artışın kabul edilmesi sonucu, 90-140 MPa'lık (Seattle 118 MPa) betonların seri üretim koşullarında elde edilmesi ve tasarımcının kullanımına sunulması olanaklıdır.

Nihayet, çok titiz seçilmiş bileşenlere (olağanüstü kaliteli agrega ve çimento, polimer kullanımı,...), çok etkili üretim yöntemlerine (presleme, otoklav,...) ve yeni kullanım biçimlerine (kuşatılmış beton,...) dayanan farklı bir yaklaşımla birkaç yüz MPa'lık dayanım düzeylerine çıkmak ve böylece bu hiper performanslı betonlara başka endüstri alanlarında, yüksek maliyetli özel eşya üretiminde halen kullanılan asil malzemelerle rahatlıkla rekabet edebileceği yeni ufuklar açmak olanaklı görünmektedir.

2- YÜKSEK DAYANIM YERİNE YÜKSEK PERFORMANS

Geleneksel olarak beton basınç dayanımı ile karakterize edilir. Yeni betonlarla artık bu yaklaşım değişmelidir, zira diğer özellikleri de çok iyileşmekte ve projelerde benimsenen çözümleri belirleyici niteliğe bürünebilmektedir.

a) İç yapı

"Betona Yeni Ufuklar Milli Projesi" çerçevesinde gerçekleştirilen çalışmalar betonun performanslarının iyileştirilmesinin gerek çimento hamurunun gerekse çimento hamuru-agrega aderans bölgesinin iç yapılarının sıkılaşması, kompaktlaşması ile ilişkilerini ortaya koydu.

İç yapı üzerindeki gözlemler gösterdi ki:

-Silis dumanı üretilen 65 MPa'lık bir YPB'de (Joigny Köprüsü) kapiler boşluklar normal betona oranla azalmıştır. Bununla beraber hidrasyon ürünleri dokusu aynıdır ve çimento hamuru-agrega sınır bölgesi hala boşluklu ve kristal yapılıdır.

-Silis dumanlı 105 MPa'lık bir ÇYPB'de (çok yüksek performanslı beton) çimento hamuru matrisi bütünüyle homojen ve amorf görünümlüdür. Çimento tanecikleri arasında üniform dağılmış silis dumanı tanecikleri hidrasyon ürünlerinin oluşum odaklarıdır. Normal betonlarda sürekli ağ yapısına sahip olan kapiler boşluklar ÇYPB'de azalmış ve süreksiz olmuştur. Hem filler hem de puzolan rolü üstlenen silis dumanı tanecikleri çimento hamuru-agrega aderans bölgesini yoğun bir yapıya kavuşturmuştur. Normal betonda taneler arası (çimento hamuru ve aderans bölgesinde) olan kırılma ÇYPB'de taneler içi (agrega tanesi, çimento hamuru veya aderans bölgesi ayrımı yapmadan) gerçekleşmektedir. Silis dumanı fazla su moleküllerini absorbe ettiğinden bunlar agrega tanelerine doğru hareket etmemektedir. Bu, çimento hamuru-agrega aderans bölgesinde zayıf bir geçiş tabakası oluşmasını engellemektedir.

b) İşlenebilme

Taze haldeki çimento hamurunun makaslama eşiğinin süperakışkanlaştırıcı sayesinde ortadan kaldırılması viskoz ve yapışkan görünmesine rağmen kolay akan, hareket eden bir beton elde edilmesine izin vermektedir. Pompalama ve

yerleştirme işlemleri büyük ölçüde kolaylaşmaktadır.

İlk saatler ve ilk günlerden itibaren çok yüksek erken dayanımlar elde edilebilmesi şantiye organizasyonuna ve ilerlemesine yansımakta, çok erken kalıp alınabilmesi ve öngerilme uygulanabilmesi sonucu kayda değer tasarruflar yapılabilmekte, önemli basitlikler sağlanabilmektedir.

Bazı özel hallerde çimento hamurunun ayrışmayı önleyen kuvvetli tiksotropik yapısı nedeniyle hiç zararlı etkisi görülmeden prizi saatlerce geciktirebilmek ilginç olabilmektedir. (Joigny köprüsünde olduğu gibi)

Bunlara karşın, terleme suyu bulunmaması sonucu yüzeyin çok erken ve şiddetle kuruması, plastik rötreden kaynaklanan çatlakları önlemek amacıyla YPB'lere titiz bir kür uygulamasını zorunlu kılmaktadır.

c) Mekanik Davranış

Basınç dayanımındaki artışın dışında çekme ve kesme dayanımlarındaki artışların yararına dikkat çekelim, bu özellikleri değerlendiren durumlarda: kirişlerin kesme kuvvetlerine direnci, istinat duvarı, nokta yükler ve zımbalama etkisi,...

Elastisite modülündeki artış, tokluğun korunması ve betonla donatı arasındaki aderans kalitesinin iyileşmesiyle birlikte analiz edilmelidir. Bunlar, pasif donatı miktarının aynen korunması (yani hacıma oranla artması) koşuluyla betonarme yapıya, normal çalışma koşullarında, daha yüksek bir süneklik (düktilite) ve çatlamaya karşı daha yüksek bir direnç kazandırmaktadır.

Son olarak ikinci yöntemle (silis dumanı vb.) elde edilen YPB'ler, sünmesi önemli oranda azalmış betonlardır.

d) Dayanıklılık

Gözenekli bir malzeme olan beton, boşlukların boyutlarının dağılımı ve süreklilik derecesi, tane sınırları gibi mikro yapı süreksizlikleri ve hidratasyon ürünlerinin kristallik derecesi ile karakterize edilir. Bu poroziteye şişme, çatlama veya donatı korozyonu yaratabilecek akışkanların (sıvı veya gaz) beton bünyesinde taşınmasına izin veren bir geçirimsizlik karşı gelir.

YPB'ler ÇYPB'ler normal betonlara kıyasla kimyasal etkilere karşı daha iyi dayanabilmektedir. Alkali-agrega reaksiyonu olasılığı bulunan durumlarda da YPB'ler şayanı tavsiyedir. Silis dumanı için olağan oran % 10 mertebesinde (çimento ağırlığına oran) İrlanda'nın bu tür betonlarda 20 yılı aşkın deneyime sahip olduğunu vurgulayalım. Karbonatlaşma donatının korunma tabakasını yok edebilir ve bu durumda donatının korozyon derecesi betonun elektrik direncine bağımlı olur. Joigny Köprüsü deneysel çalışmalarında titizlikle incelenen karbonatlaşmanın, normal betona oranla ihmal edilebilir düzeyde kaldığı görülmüştür. Silis dumanlı ÇYPB'ler hızlandırılmış karbonatlaşma deneylerinde de çok üstün bir davranış sergilemiştir. Fransa'daki çalışmaların paralelinde Norveç'teki araştırmalar da silis dumanının betonun elektrik direncini artırdığını, böylece galvanik akım şiddetini ve dolayısı ile donatının korozyonunu sınırladığını ortaya koymaktadır.

Donma-çözülme deneyleri de YPB ve ÇYPB'lerin üstün davranışını kanıtlamaktadır. Bunların boşluk yapısı o kadar incedir ki, beton suya doygun bile olsa donma sırasında su buza dönüşmemektedir. Bu gözlemler Kanada'da yapılanlarla uyum içindedir: % 5 ila % 10 silis dumanı ile süperakışkanlaştırıcı içeren YPB ve ÇYPB'ler vibrasyon altında kararlı bir hava kabarcığı şebekesine sahiptir ve buz çözme tuzları varlığında bozulmaya dirençlidirler.

3- YENİ MALZEMEYE YENİ YAPI TASARIMLARI

Beton dayanımının yükselmesinin yararı genellikle gözardı edilmek istenir, zira denir ki, mevcut beton sınıflarıyla hesaplanan yapıların kesitleri mevcut donatıların özellikleri, kabloların çapları, dalıcı vibratörlerin büyüklükleri,...vb. ile uyumludur.

Yeni malzemeyi gelenekselleşmiş kalıplar içinde kullanmayı hedefleyen benzeri düşünceler, zamanında Hennebique ve Coignet'ye betonarme, Freyssinet ve Magnel'e öngörilmeli beton için aynı zorlukları yaratmışlardır.

Gerçekte tasarım ilkelerimizde yeni bir yaklaşımı benimsemek zorundayız. Kanımızca etkili olabilmesi için bu yaklaşımın topyekün olması ve özellikle aşağıda belirtilen alanlardaki verileri içermesi gerekli:

-Malzemeler: YPB'ler, lif takviyeli YPB'ler, hafif agregalı YPB'ler, akma sınırı daha yüksek çelikler, yüksek dayanımlı Öngerme kabloları ve bunların kullanım alanları.

-Teknolojiler: Daha yüksek dayanımlı kesitleri küçültmek ve öz ağırlığı azaltmak için dıştan ardermenin değerlendirilmesi, YPB ile bağlantı sorunları farklı biçimde oluşan kompozit yapının geliştirilmesi, yeni bağlantı ve montaj çözümleriyle prefabrik yapının yeniden keşfi,...

-Yapım Yöntemleri: Pompalama tekniklerini geliştirmek, YPB'nin yüksek işlenebilmesinin değerlendirilmesi, kalıp teknolojisinde YPB'nin erken yüksek dayanımını değerlendiren yeni yaklaşımlar benimsenmesi, çok erken yaşlarda kimi öngerilme olanaklarından yararlanılması,...

- Yapı Biçimleri: Kemerli biçimlerle yapının yenilenmesi, çelik yapılara benzer biçimlerle ölü yüklerin azaltılması: kafes giriş çözümler, bulonlanabilen hafif yapıların geliştirilmesi,...

- Özel Koşullar: Zararlı kimyasal ortam, mutlak hava geçirimsizliği, yüksek aşınma veya çarpma direnci,...

Bir projede tasarımcı, uygun betonu seçmeden önce, projesinin çok çeşitli parametreleri arasındaki etkileşimleri tümüyle gözden geçirmeli, bunlardan yalnızca birkaçına konsantre olmaktan kaçınmalıdır.

Dünyada YPB ile gerçekleştirilmiş yüze yakın yapının gözden geçirilmesi yukarıdaki analizin gerçekçiliğini ortaya koymaktadır. Zira yalnızca yüksek basınç dayanımı dikkate alınsaydı YPB'nin kullanımı bu yapıların yalnızca % 15 ila 25'inde ekonomik açıdan geçerli olabilirdi.

Bir yapının maliyetinin yalnızca onu oluşturan yapı malzemelerinin bedelleriyle oluşmadığını, yapımda kullanılan makina-teçhizatın amortismanı ile tüm ömrü boyunca kullanım, bakım, onarım masraflarını da içerdiğini unutmamalıyız.

Bu genel bakış açısı altında yüksek performanslı betonların yararı daha iyi anlaşılacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazar bildiriye türkçeye çeviren Doç. Dr. Erbil ÖZTEKİN'e teşekkürlerini sunar.

YAPI TÜRÜ	DEĞERLENDİRİLEN ÖZELLİK	UYGULAMA ÖRNEKLERİ
KÖPRÜLER	Erken dayanım, işlenebilme, daya- nıklılık, zamana bağlı şekil değış- tirme, dayanım	JOIGNY, RANCE, PERTHUISET, CHAMPS DU COMTE, SYLANS, (Fransa)
OKYANUS	Dayanıklılık, ba- sınç ve kesme da- yanımları, işlene- bilme, aşınma ve çarpma	GULLFAKS B,C (Norveç) TERRE NEUVE (Kanada) TERRE ADELİE (Fransa)
YÜKSEK YAPILAR	Basınç dayanımı, kesme dayanımı, işlenebilme, erken dayanım	NVP TORONTO (Kanada) W 225 CHICAGO, ATT CHICAGO, 181 WM CHICAGO, 2U SQUARE SEATTLE, ARCHE PARİS, Cube K Tower (Japonya)
TÜNELLER	Dayanıklılık, basınç, erken dayanım	VİLLEJUST (Fransa) LA BAUME (Fransa) MANŞ TUNELİ
YOLLAR	Aşınma, çarpma, donma-çözülme, kesme, dayanıklı- lık, işlenebilme	VALERENGA OSLO, RANASFOSS BR, SHESTAD TU (Norveç), AUTOROUTE 86 PARİS, AEROPORTS PARİS
PREFABRİ- KASYON	Erken yüksek daya- nım, kesme dayanı- mı, işlenebilme	Döşeme elemanları, putrel- ler (Fransa)
BETON-ÇELİK KOMPOZİT YAPILAR	Kesme dayanımı, basınç dayanımı, işlenebilme	SEATTLE 2U SQ. (ABD) LA ROİZE (Fransa)
KANALİZASYON YAPILARI	Dayanıklılık, aşınma, basınç da- yanımı, işlenebilme	PARİS (Fransa)
ÖZEL TEMELLER	Basınç dayanımı, işlenebilme, erken dayanım, zamana bağlı şekil değ.	HASSAN CAMİİ (Fas)
NÜKLEER YAPILAR	Dayanıklılık, daya- nım, geçirmezlik	CİVEAUX (Fransa)