

BETON NİTELİĞİNİ YÖKSELTME AMACI İLE POLİMERLERİN KULLANILMASI

M. Süheyl AKMAN
Prof. Dr.
İstanbul Teknik Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Yüksek mukavemetli beton üretebilmek, çimento hamuru fazının mukavemetini ve agregaya aderansını artırmakla mümkündür. Sürekli çimento hamuru matriksinin boşluk miktarı ve yapısı iyileştirilerek bu amaç gerçekleşmektedir. Bu iyileştirmenin sınırı nedir? Bu iyileştirmede hangi yöntemler denenmiştir? Bunlar arasında polimer emdirme süreci ne oranda başarılı ve uygulanabilir niteliktedir? Bildiride bu soruların yanıtları verilmiştir.

1. GİRİŞ

Beton sürekli çimento hamuru matriksi içinde agregalardan oluşan dağılılı faza sahip bir kompozittir. Elastik sabitlerin hesabında yararlı olan kompozit malzeme modelleri, mekanik dayanımların tahmininde yararlı olamamaktadır [1]. Mamafih Freudental' in de ifade ettiği gibi kompozitin mukavemeti, matriksin veya dağılılı fazın mukavemetleri ile sınırlıdır [2]. Normal ağırlıklı bir betonda, doğal kayalardan elde edilen agregaların mukavemetleri çimento matriksinin mukavemetinden genellikle yüksektir. Sonuç olarak kompozitin mukavemetini, daha düşük mukavemetli olan çimento hamuru fazı belirleyecektir. Bu yaklaşımdaki hata, çok daha etkin olan agrega-çimento bağlantısının dikkate alınmamış olmasıdır. Bu bağlantının mukavemeti, çimento fazının mukavemeti ile paralellik göstermekle beraber onun çok altında kalır.

Beton mukavemetini yükseltme çabaları daima çimento hamuru fazını iyileştirme yönünde olmuştur. Hiç boşluk içermeyen bir çimento hamur fazı üretebilmekle sağlayabileceğimiz en yüksek mukavemete erişebiliriz. Doğal olarak agrega-çimento arakesitlerinde de boşluk kalmamalıdır. Bu ideal durum üretim sırasında alınacak tedbirlerle uygulanacak süreçlerle sağlandığı gibi beton sertleştikten sonra boşlukların doldurulması ile de sağlanabilir. Bu ikinci yöntem polimer emdirilmiş betonların esasını teşkil eder.

Halen üretmekte olduğumuz çimentolarla çimento matriksinde sağlayabileceğimiz mukavemet teorik anlamda bellidir. Buradan yüksek mukavemetli betonda da bir teorik sınırimız olduğu anlaşılır. Daha üstün kaliteli çimentolar üretildiğinde ise sınır, doğal agregaların mukavemetleri ile çizilecektir. Doğal agregaların mukavemetlerini yükseltmek ise insanların gücünün dışındadır.

2. BETONDA ELDE EDİLEBİLECEK YOKSEK MUKAVEMET SINIRI

2.1. Salt Çimento Hamurunun Mukavemeti

Salt çimento hamurunun mukavemeti üzerinde yapılan çalışmalar oldukça eskidir. Mukavemeti, çimento/su oranının fonksiyonu olarak tahmin eden formüllerin en eskisi 1897' de Feret tarafından önerildi [3]. Bu formüllerin hemen hemen hepsini, mukavemeti dolu katı hacmin fonksiyonu olarak değerlendiren yaklaşımlar olarak niteleyebiliriz. Klasik Feret formülü

$$f_{cc} = k \cdot \lambda^2 \quad (1)$$

şeklinde yazılır. λ anhidr çimento hacminin, çimento hamuru (çimento + su + hava boşluğu) hacmine oranıdır. f_{cc} çimento hamuru mukavemeti, k bir katsayıdır. Yıllar sonra Powers, deneylerine dayanarak benzer bir formül geliştirmiştir. [4].

$$f_{cc} = k' \cdot \lambda'^3 \quad (2)$$

Bu formülde,

$$\lambda' = \frac{\text{hidrate çimento hacmi} + \text{jel suyu hacmi}}{\text{hidrate olabilecek çimento hacmi} + \text{toplam su hacmi}}$$

dir. Powers'e göre k' , çimento jelinin yüzeyinin bir fonksiyonu olarak maksimum 240 MPa değerini alabilir. λ' değeri ise teorik olarak maksimum 1 değerine erişebildiğine göre maksimum mukavemet 240 MPa ile sınırlıdır.

Deneyler çimento hamurunda bir miktar çimentonun anhidr kalmasının yararlı olduğunu göstermektedir. Abrams, 1917 de su/çimento oranını 0,08 tutarak yüksek basınç altında sıkıştırdığı salt çimento hamurlarında 310 MPa değerini elde etmiştir [3]. Wischers' in önerdiği aşağıdaki formül de bu bulguyu doğrulamaktadır [5].

$$f_{cc} = 312 \cdot \lambda'^{2.7} \quad (3)$$

λ' hidrate olmuş ve anhidr haldeki çimentoların hacminin toplam hacme oranıdır. Teorik olarak λ' , 1 değerinde alınırsa f_{cc} için 312 MPa sınırı bulunur.

Çimento hamuru mukavemetini hidratasyon yeteneğine ve miktarına bağlayan Dzulinski' nin önerdiği formül ise aşağıda verilmiştir [6]:

$$f_{cc} = f_{cc1} \cdot e^{k\gamma} \quad (4)$$

f_{cc1} hidrate olmamış çimentonun fiktif potansiyel bir mukavemetidir.

$$\gamma = \frac{\text{hidrate çimento hacmi}}{\text{hidrate çimento hacmi} + \text{serbest su hacmi} + \text{boşluk hacmi}}$$

dir. γ nın da teorik olarak alabileceği maksimum teorik değer 1 dir. f_{cc1} , k ve γ değerlerini deneylerle saptayan Dzulinski Portland çimentolu hamurlarda teorik olarak 380 MPa, alüminli çimentolu hamurlarda 150 MPa, permetalürjik çimentolu hamurlarda 490 MPa maksimum basınç mukavemetleri elde edilebileceğini ileri sürmektedir.

Powers, Wischers ve Dzulinski' nin formüllerinde mukavemetler, farklı şekillerde tanımlanan doluluğun (kompasitenin) fonksiyonları olarak ve fiziko-kıymasal olaylar da dikkate alınarak ifade edilmektedir. Salt boşluk-mukavemet ilkelerine dayanılarak geliştirilen yaklaşımlar da mevcuttur. Örneğin Hasselmann' ın polikristal cisimler için vaz'ettiği bağıntı şöyledir :

$$f_{cc} = f_{cc0} - k \cdot p \quad (5)$$

Formülde p toplam porozitedir. Bu formülden hareketle değişik su/çimento oranlarıyla ürettikleri çimento hamurlarının fiktif f_{cco} mukavemetini hesaplayan C. Atzeni ve arkadaşları, mukavemetin boşluk çapına da bağlı olduğunu kanıtlamışlardır [7].

$$f_{cc} = \psi \left[\frac{f_{cco}(1-p)}{\sqrt{r_m}} \right] \quad (6)$$

r_m boşluk çap dağılımını gösteren ve logaritmik bir ifadeyle bulunan ortalama çaptır. Yazarlara göre toplam porozite aynı kalmakla beraber çap dağılımının farklılığı mukavemetleri %30 oranında farketmektedir. Nitekim Odler ve Rössler'in de boşluk çaplarını dikkate alan aşağıdaki bağıntısı bu fikri yansıtır [8]:

$$f_{cc} = f_{cco} - a p(<10nm) - b \cdot p(10-100nm) - c p(>100nm) \quad (7)$$

Çimento hamurundaki serbest uçabilen su, jel suyu ve kristal suyu dikkate alındığında, bunların yol açacağı boşlukların çaplarının farklı değerlerde oluşacağı aşikardır. Powers ve Dzukinski formüllerindeki λ' ve γ büyüklükleri kabaca kılcal dediğimiz boşlukların etkisini belirten parametrelerdir ve açıklanan sınır maksimum mukavemetlerin elde edilmesi bu boşlukların bertaraf edilmesiyle mümkündür denilebilir. Ne var ki serbest suyun ve bir miktar jel suyunun oluşturacakları boşluk çaplarının 10 nm den daha ince olma ihtimali de vardır. Bu bakımdan Powers veya Dzulinski'nin yaklaşımları, boşluk-mukavemet ilişkilerine dayanan faraziyelerle çelişmemektedir.

2.2. Betonun Sınır Mukavemeti

Giriş paragrafında da vurgulandığı gibi beton kompozitin mukavemeti sistemdeki en zayıf öge olan agrega-hamur arayerinin mukavemetiyle sınırlıdır. Kaliteli bir çimento hamur matriksinin arayer nitelikleri de genellikle kaliteli olmaktadır. Ancak arayer aderans mukavemetinin hamurun çekme mukavemetine erişemediği, araştırmalar sonunda kesinlikle kanıtlanmıştır [9,10]. Aderans mukavemeti agreganın yüzeyel dokusu, mineralojik yapısı, çimentonun türüne bağlı olarak çok farklı değerler alabilir. Agregaya yüzeyinden bir iki mikron uzakta oluşan dupleks film ve

onu saran geçiş çevresi (transition aura) fiziko-kimyasal yapıları itibariyle aderans mukavemetini etkilerler. 1µm kalınlığındaki dupleks film C-S-H yapısındadır ve reaktif olmayan agregalarda gözlenmiştir. Buna karşılık geçiş çevresi boşluklu bir yapıya sahiptir ve kalınlığı 50 µm' u bulmaktadır. Geçiş çevresinde zayıf mukavemetli Ca(OH)₂ kristalleri ekseriyettedir. Bu kristallere dupleks film-agrega arayerinde de rastlanmıştır. Ayrıca imentodaki C₃A miktarına bağlı olarak karbonatlı agrega yüzeylerinde kalsiyum mono karboalüminat (C₃A.CaCO₃.12H₂O) kristalleri de teşekkül edebilmektedir. Agregaga-imento arayerindeki bu oluşumlar aderans mukavemetini belirleyen ve sınırlayan ögelerdir [10].

Agregaga-imento aderans mukavemeti, imento hamuru çekme mukavemetinin %50'si ile %90'ı arasında değerler alabilmektedir [9,10].

Betonun basınç mukavemetinin, imento hamurunun ve agregaga-imento arayerinin kalitelerine ne oranda bağlı olduğu çok araştırılmıştır. Alexander ve arkadaşlarının geliştirdikleri bir lineer regresyon bağlantısı vardır [9]. Betonun basınç mukavemeti, imento hamurunun çekme mukavemeti ile agregaga-imento aderans mukavemetinin lineer bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Hamurun çekme mukavemetinin katkısı aderans katkısının iki mislidir. Günümüz koşullarında bu formül yetersiz düzeyde kalmakla beraber bazı tahminlere de imkan verebilir. Formül aşığıda gösterilmiştir :

$$f_c = 3,4 + 2,08 \times f'_{cc} + 1,02 f'_{ca} \quad (8)$$

f'_{cc} imento hamuru çekme mukavemeti, f'_{ca} agregaga-imento aderans mukavemeti, f_c beton basınç mukavemetidir. Dzulinski' nin teorik imento hamuru maksimum basınç mukavemeti için önerdiği 490 MPa sınırını geçerli kabul ederek ve hamur çekme mukavemetini bunun %10'u, agregaga-hamur aderans mukavemetini de çekme mukavemetinin %90'ı varsayarak, (8) formülü ile elde edilebilecek maksimum beton basınç mukavemeti 150 MPa olarak tahmin edilir. Pekçok varsayıma dayanılarak tahmin edilen bu değer doğal olarak kesin bir yaklaşım ifade etmez. Ancak bugünkü koşullarla varabileceğimiz maksimum değer hakkında bir fikir verebilir.

3. YÖKSEK BASINÇ MUKAVEMETİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ

Yüksek basınç mukavemeti elde etmek üzere pek çok yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlar çoğunlukla çimento hamuru fazındaki kılcal boşlukları minimuma indirme esasına dayanırlar. Bu husus ise su/çimento oranını mümkün olduğunca küçültmekle mümkündür. Ayrıca çimentonun hidratasyonunu daha mükemmel kılmak, kılcaldan da ince boşlukları tıkamak, agrega-çimento bağlantısını aktive etmek düşünülen süreçlerdir.

Çimento türlerini daha inceltmek ve ıslanma sırasında flokülasyonu önlemek üzere betonyerlerde türbülans ve laminaj sistemleri geliştirilmiştir. Ultrasonik dalgalarla, karıştırma sırasında kavitasyon yaratılmaya da çalışılmıştır. Bu arada hidratasyon sırasında tanelerin dispersionunu sağlayan ve ıslanmalarını kolaylaştıran katkı maddeleri yarar sağlamıştır. Kristal yapının danelerini küçültmek amacıyla karışıma önceden hidrate edilen ve sertleşen çimento taneleri öğütülerek katılmıştır. Tohumlama adı verilen bu yöntem de teknolojik uygulamada yaygınlaşmamıştır [11].

Düşük su/çimento oranıyla üretilen kuru betonların yerleşmesine olanak sağlayan vibrasyon büyük bir aşama olmuştur. Bu tekniği ilerletmek amacıyla rövizasyon ve değişken frekanslarla vibrasyon çalışmaları da teorik düzeyde kalmıştır [12,13].

İşlenebilme için gerekli suyu önce kullanıp, sonra geri çekmek yoluna da gidilmiştir. Bu yöntemler arasında vakum yöntemi bazı ülkelerde uygulama alanına başarıyla aktarılmıştır [14]. Fazla suyu geri almak üzere harçlara uygulanan elektro-osmoz'la, ayrıca ortamdaki Ca iyonlarının diffüzyonu da artarak mukavemet yükseltilebilmiştir [15]. Bu yöntem de teorik bir yaklaşım niteliğinde olmuştur.

Günümüzde en büyük gelişme, başlangıçta su/çimento oranı çok düşük, buna karşılık işlenebilmesi mükemmel beton elde etmeye imkan sağlayan süperakışkanlaştırıcıların bulunması ile sağlanmıştır. Bu katkılarla su/çimento oranı 0,30'lar mertebesine düşmekte, böylece kılcal boşluklar hemen hemen yokolmaktadır. İşlenebilme o denli artmaktadır ki vibrasyona dahi gerek duyulmamaktadır. Süperplastifiyanlarla birlikte çimento tanelerinden yirmibeş defa daha ince silis dumanının (silica fume) kullanımı ile mukavemetler daha da yükseltilebilmektedir. Silis dumanları kılcaldan ince boşlukları tıkayarak ve agrega-çimento hamuru bağlantısını

puzolanik nitelikleri ile iyileştirerek hamur fazının mükemmelleşmesine imkan vermektedirler. Kullanma kolaylıkları nedeniyle süperplastifiyan ve silis dumanı yöntemi diğer mukavemet yükseltme çabalarını arka plana itmiştir.

Beton mukavemetini yükseltmede kullanılan bir diğer yöntem de polimerlerden yararlanmaktır. Bu yöntem diğerlerinden tekniği ve amacı yönünden farklıdır.

4. POLİMER EMDİRİLMİŞ BETONLAR

Polimerlerin beton teknolojisine girişi 1950'li yıllarda başlar. Bağlayıcısı salt polimer reçinalar olan betonlar konu dışı bırakılırsa ilk çalışmaların polimer portland çimento betonlar (PPÇB) üzerinde olduğu görülür. Taze betona, çimento ağırlığının yaklaşık %20'si mertebesine varan oranlarda katılan polimerler daha ziyade esneklik sağlamak amacını taşırlar, bu yüzden lateks türü polivinil asetat, stiren bütadyen kopolimeri, viniliden klorid polimerleri, polivinil esterler, epoksiler ve bazı akrilik kopolimerler kullanılır. Beton donatı aderansını iyileştiren, çekme mukavemetini artıran lateks'ler su/çimento oranını da akışkanlığı artırarak düşürürler, su miktarındaki azalma basınç mukavemetinin de bir miktar yükselmesini sağlar. Ancak PPÇB'lerin ana amacı basınç mukavemetini artırmak değildir [16,17].

1960 yıllarından sonra bu alana yepyeni bir teknik girmiştir : polimer emdirilmiş betonlar (PEB). Bu teknik sayesinde çok yüksek mukavemetler elde edilmiştir. 1969 yıllarında Brookhaven National Laboratory' de M. Steinberg 28 günlük basınç dayanımı 85 MPa olan bir özel betona metil metakrilat (MMA) emdirerek ve bunu beton boşluklarında polimerize ederek basınç dayanımını 268 MPa'a yükseltmiştir. Bu değer yukarıda tahmin edilen 150 MPa maksimum sınırını fazlasıyla aşmaktadır [18]. Konunun önemini dikkate alan ACI, yeni malzemeleri incelemek ve geliştirmek üzere 1971 de 548-Polymers in Concrete teknik komitesini kurmuş ve 1988'e kadar 6 kongre düzenlemiştir.

4.1. Polimer Emdirilmiş Betonların Malzemeleri ve Üretimleri

PEB'lar, önceden sertleşmiş betonlara uygun bir monomer ve gerekiyorsa bir başlatıcı katalizör emdirmek, ve daha sonra polimerizasyonu gerçekleştirmekle

üretirler. Sertleşmiş betonun kalitesi büyük önem taşımaz. Monomerlerin düşük viskoziteli olması ilk koşuldur. Polimerizasyonun alkali ortamdan etkilenmemesi de istenen bir diğer nitelikler. Başarı, emdirilen polimerin yeterince fazla olmasına ve derine nüfuz etmesine ve polimerizasyonun tam gerçekleşmesine bağlıdır.

PEB'lerde kullanılan malzeme çoğunlukla metil metakrilat (MMA) monomeri ve benzoil peroksit katalizörüdür. Bu arada muhtelif vinil monomerleri, epoksiler, oligomerik izosiyanatlar, ester akrilatlar ve kükürt ile de çalışmalar yapılmıştır. Ancak halen MMA en çok kullanılan monomerdir, onu vinil stiren monomeri izlemektedir [16]. Polimer türleri, karışımlar, miktarları üzerinde sürekli araştırmalar yapılmakta ve her yıl yeni yeni karışımlar geliştirilmektedir. Fikir edinilmek üzere aşağıda birkaç birleşim örneği verilmiştir [19,20].

1. %95 MMA, %5 DOP (dioktil ftalat), %0,5 ABN (azobisisobütilnitril).
2. %89 MMA, %1 BP (benzoilperoksit), %10 TMPTMA (trimetilolpropan trimetakrilat).
3. %89 IDMA (izodesil metakrilat), %1 BP, %10 TMPTMA

PEB'lerin prefabrike elemanlarda kullanımı çok daha etkin bir üretim prosesine imkan vermektedir, ve sonuç çok daha başarılı olmaktadır. Üretimde ilk aşama betonun iyice kurutulması, boşluklarının su ve havadan arındırılmasıdır. Etüv ve vakum uygulanması ile bu amaç sağlanır. Monomer eriyiğinin emdirilmesi ise yüksek basınçla (8 atmosfer) daha kısa zamanda ve daha çok miktarda gerçekleştirilir. Prosesin ikinci aşaması polimerizasyondur. Termokatalitik yöntemle veya radyasyon'la polimerizasyon aktive edilir. Radyasyon'da genellikle Co^{60} izotopu kullanılıyor. Termik yöntemde en önemli sorun, uçucu nitelikteki MMA'nın buharlaşmasını önlemektir. En güvenilir yöntem polimerizasyonu $80^{\circ}C$ sıcaklıktaki su altında yapmaktır.

İnşaat yerinde PEB elde etmede kısmi polimerizasyon uygulanmasına gitmek zorunludur. Elde edilen ürün fabrika ürünü kadar başarılı olmamakla beraber yeterli mukavemet ve kalite artışları sağlanmaktadır. Kısmi polimerizasyonda termokatalitik yöntem geçerlidir. Kurutma özel ısıtıcılarla sağlanır, emdirme basınçsız yapılır, polimerizasyon sırasında sıcak buhar kürü tatbik edilir, ıslak kum serilerek buharlaşma önlenir [17].

V- SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırmada kullanılan malzemeler ve miktarları için, yapılan deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1- Gerek polipropilen gerekse çelik lifler yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımlarını önemli ölçüde etkilememektedir.

2- Tokluk elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrilerinin altında kalan toplam alan olarak hesap edildiğinde çelik liflerin bu özeliği iki kattan fazla polipropilen liflerin ise %25 mertebesinde artırdığı belirlenmiştir.

3- Öte yandan, maksimum gerilmeye karşı gelen tokluk değerleri açısından ele alındığında polipropilen liflerin bu özeliğe herhangi bir etkileri yoktur. Buna karşılık, çelik lifler %80 civarında bir artışa neden olmaktadır.

4- Bu araştırmada yalnızca iki değişik lif belirli oranlarda kullanılmıştır. Yüksek dayanımlı betonlarda değişik liflerin, lif özelliklerinin ve kullanım miktarlarının etkilerinin çalışılması gelecek araştırmalar için önerilmektedir.

VI- KAYNAKLAR

1. Carasquillo, R.L.; Nilson, A.H. ve Slate, F.O.; "Properties of High Strength Concrete Subjected to Short-Term Loads," ACI Journal Proceedings, C.78, No.3, 1982, s.171-178.
2. Shah, S.P.; "High Strength Concrete- A Workshop Summary", Concrete International: Design and Construction, C.3, No.5, 1981, s.94-98.
3. "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete"; ACI Journal C.80, No.4, 1984, s.364-409.
4. High Strength Concrete-State of the Art Report; Bulletin d'In Formation No.197, SN 90/1, Fédération Internationale de la Précontrainte/Comité Euro-International du Béton, Chameleon Press, Londra, 1990, 61s.
5. Swamy, R.N.; Mangat, P.S. ve Rao, C.V.S.K.; "The Mechanics of Fiber Reinforcement of Cement Matrices", Fiber Reinforced Concrete, ACI Publication SP-44, 1974, s.1-28.

3.2. Polimer Emdirilmiş Betonların Özellikleri-Uygulamaları

PEB'lar çok yüksek mukavemetleri yanında özellikle d rabiliteleleri a ı-
sından çok değerli ürünler olmaktadırlar.

PEB'ların mekanik ve fiziksel özelliklerini kabaca belirtmek üzere
aşağıdaki tablo verilmiştir [17].

TABLO
Normal beton ve PEB'ların bazı özellikleri

Özellik Türü	Normal Beton	PEB (MMA ile)	PEB (Stiren ile)
Basınc Mukavemeti (MPa)	37	140	70
Çekme Mukavemeti (MPa)	2.8	11	5.8
Eğilme Mukavemeti (MPa)	5.2	18	-
Ela�isite Modülü (MPa)	240000	440000	440000
Su Ge�irirmlilik Katsayısı (m/sec)	5.3×10^{-8}	1.4×10^{-8}	1.5×10^{-8}
Su Emme (%)	6.4	0.3	0.7
Termik Genleşme Katsayısı (1/�C)	10×10^{-6}	9.5×10^{-6}	9.0×10^{-6}
�elik Aderans Mukavemeti (MPa)	1.7	3.8	4.1

PEB'ların gevrekliği normal betona oranla fazladır. Kırılma yükünün
%70'ine kadar gerilme-deformasyon bağıntısı lineerdir. Jel yapının büyük
 l de değişmesi ve serbest suyun yokolması sonucu ortaya çıkan bu dav-
ranı a paralel olarak PEB' larda hidrolik rötre ve s nme'de sıfıra indir-
genmi tir. Su emme ve geçirme özelliklerindeki iyileşme bu betonların
sülfatlara dayanıklılığını artırdığı gibi klor ion diff zyonunu kısıtla-
yarak donatı korozyonunu da önler. Yapılan testler aşınma dayanımının
4 kat, asitlere dayanıklılığı 3 kat, dona dayanıklılığın 10 kat artabi-
leceğini göstermiştir [17].

PEB'larda sağlanan mukavemet artışıının 150 MPa değerini kolaylıkla
a ması, bildirinin başındaki boşluk doldurma kriterlerinin bu ürünlerdeki
mukavemet artışıını açıklamaya yetmediğini göstermektedir. MMA' nın  imen-
todaki Ca iyonları ile birleşerek farklı bir ürün meydana getirdikleri

gözlenmiştir [22]. Bu Ca iyonları agrega-çimento veya çelik-çimento arayerlerinde oluşan düşük mukavemetli Ca(OH)_2 kristallerinin esasını teşkil ederler. Böylece arayerdeki zayıflık bertaraf edilmektedir. Aynı gözlem stiren'le yapılan deneylerde de tespit edilmiştir [23]. Şu halde bu kimyasal değişim sonunda geçiş çevresi (transition aura) kalitesi mükemmelleşmektedir. İkinci bir olgu beton içinde sürekli bir ağ teşkil eden ve karşılıklı bağlı (cross linked) polimer, betondan ayrı bir taşıyıcı iskelet de meydana getirmektedir. Bu iskeletin beton öğelerini daha iyi bağladığı da unutulmamalıdır. PEB yöntemi süperakışkanlaştırıcı ve silis dumanı ile elde edilecek yüksek mukavemeti daha da yükseltecek bir yöntem olarak belirmektedir.

PEB'ların küçük boyutlu elemanlara tatbik edilebilmesi ve yüksek sıcaklıklara duyarlı oluşları uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Ölkemizde henüz yaygınlaşmayan bu betonlar dünyanın pek çok yerinde başarıyla tatbik edilmektedir. Köprü, hava alanı, hidrolik yapı onarımlarında, atık su tesislerinde, kimyasal madde üreten kuruluşlarda, deniz yapılarında, jeotermal yapılarda çok sayıda başarılı uygulama mevcuttur. Amerika, Japonya, Rusya vb. endüstri ülkelerinde PEB'lar aranılan malzemelerdir.

4. SONUÇ

Bu bildiride normal koşullarda ve halen üretebildiğimiz çimentolarla elde edebileceğimiz maksimum basınç mukavemetinin mertebesi tartışılmış ve 150 MPa gibi bir sınır öne sürülmüştür. Süperakışkanlaştırıcı ve silis dumanı kullanımının bu amaca erişmede en kolay ve geçerli bir yöntem olduğu vurgulanmıştır. Daha yüksek mukavemet değerlerine polimer emdirilmiş betonlarla varılabileceği, bu alanda yapılan çalışmalara dayanılarak tahmin edilmiştir. PEB'ların üretimlerinin klasik yöntemlerden çok farklı olduğu ve aynı kolaylıkla tüm yapılara uygulanamayacağına dikkat çekilmiştir. PEB'ların şimdilik prefabrikasyon, onarım ve agresif ortam yapılarında büyük yararları bulunduğu belirtilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Atan, Y., "İki Fazlı Malzeme Olarak Beton", İTÖ Dergisi, Cilt 25, Sayı 3, İstanbul, 1967, ss.24-32.
- [2] Freudenthal, A.M., The Inelastic Behavior of Engineering Materials and Structures, John Wiley and Sons Inc., New York, 1950, p.587.
- [3] Newman, K., "The Structure and Properties of Concrete-An Introductory Review", Proc. The Structure of Concrete and its Behaviour Under Load, Edited by A.E. Brooks and K. Newman, Cement and Concrete Assoc. Publication, London, Sept. 1965, pp.XIII-XXXII.
- [4] Powers, T.C., Brownyard, T.L., "Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste", ACI Journal, Vol.43, N.2-8, Detroit, 1946-1947.
- [5] Wischers, G., "Einfluss Einer Temperaturänderung auf die Festigkeit von Zementstein und Zementmörtel mit Zuschlagstoffen Verschiedener Wärmedehnung", Schriftenreihe der Zementindustrie, N.28, Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf, 1961, s.117.
- [6] Dzulinski, M., Relation Entre la Résistance et l'Hydratation des Liants Hydrauliques, thèse de Doctorat, Extrait du Bull. du Centre d'Etudes, de Recherches et d'Essais Scientifiques des Constructions du Génie Civil et d'Hydraulique Fluviale, Tome VI, Liège, 1953, p.250.
- [7] Atzeni, C., Massidda, L., Sanna, U., "Effect of Water/Cement Ratio on Pore Size Distribution in Hardened Cement Pastes. Porosity Strength Relationship", Materials Engineering, V1, N2, Edited by Comunicazioni Technice, Modena, 1990, pp.467-473.
- [8] Odler, I., Rössler, M., "Investigations on the Relationship between Porosity Structure and Strength of Hydrated Portland Cement Pastes", Cement and Concrete Research, N15, New York , 1985, pp.401-410.
- [9] Alexander, K.M., Wardlaw, J., Gilbert, D.J., "Aggregate-Cement Bond, Cement Paste Strength and the Strength of Concrete", *ibid* [3], pp 59-81.
- [10] Massazza, F., Costa, U., "Bond: Paste-Aggregate, Paste-Reinforcement and Paste-Fibers", Proc. 8^o Congresso Internacional de Quimica do Cimento, V1, Rio do Janeiro, 1986, pp.159-180.
- [11] Duriez, M., Arrambide, J., Nouveau Traité de Matériaux de Construction, Dunod Ed., Tome 1, Paris, 1961, p.1491.

- [12] Doğan, S., "Rö vibrasyon Üzerine Dozajın ve Frekansın Etkisi", Bitirme Ödevi, İTÜ İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, İstanbul, 1988, s.41.
- [13] Akman, M.S., "Betonun Vibrasyonu", İTÜ Dergisi, Cilt 35, Sayı 3, İstanbul, 1977, ss.21-31.
- [14] Malinowski, R., Wenander, H., "Factors Determining Characteristics and Composition Vacuum Dewatering Concrete", ACI Journal, V72, N3, Detroit, 1975, pp.98-101.
- [15] Türker, F., Akman, M.S., "Application of Electro-osmosis on Portland cement Mortars", Proc. First Intern. RILEM Congress: From Materials Science to Construction Materials Engineering, Chapman and Hall, V1, Paris, 1987, pp.131-134.
- [16] Manson, J.A., "Overview of Current Research on Polymer Concrete: Materials and Future Needs", ACI Special Publication SP-69: Applications of Polymer Concrete, Detroit, 1981, pp.1-19.
- [17] Mindess, S., Young, J.F., Concrète, Prentice-Hall Inc. New Jersey, 1981, p.671.
- [18] Steinberg, M., "Concrete Polymer Materials and Its Worlwide Development", ACI Special Publication SP-40: Polymers in Concrete, Detroit, 1973, pp.1-14.
- [19] Tazawa, E., Kobayashi, S., "Properties and Applications of Polymer Impregnated Cementitious Materials", ibid [18], pp.57-92.
- [20] Fowler, D.W., Houston, J.T., Paul, D.R., "Polymer Impregnated Concrete Surface Treatments for Highway Bridge Decks", ibid [18], pp.93-118.
- [21] Kukacka, L.E., Romano, A.J., "Process Techniques for Producing Polymer-Impregnated Concrete", ibid [18], pp.15-32.
- [22] Chandra, S., Flodin, P., "Interaction of Polymer with Calcium Hydroxide and Calcium Trisilicate", Proc. 3rd. Intern. Conf. on Superplastizers and other Chemical Admixtures in Concrete, Ottawa, 1989, ACI Special Publication SP-119, Detroit, 1989, pp.263-272.
- [23] Ertürk, T., Tokyay, M., "Interfacial Failure in Steel Fiber Reinforced Polystyrene Impregnated Mortar", Proc. 4th. Intern. Conf. on Mechanical Behavior of Materials, V1. Stockholm, 1983, pp.507-515.