



Farklı Kür Koşullarının Reaktif Pudra Betonların Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Mehrzad MOHABBİ YADOLLAHI

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
mmohabbi@bingol.edu.tr ORCID: 0000-0001-8584-1658

Sadık VAROLGÜNEŞ*

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
svarolgunes@bingol.edu.tr ORCID: 0000-0001-9580-9889, Tel: (426) 216 00 12 (1969)

Geliş: 08.03.2019, Revizyon: 24.05.2019, Kabul Tarihi: 05.09.2019

Öz

Bu çalışmada reaktif pudra betonlarında (RPB) otoklav yöntemine alternatif olarak sıcak suyla kür yönteminin geliştirilmesi ve bu kür yönteminin RPB betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu nedenle çalışmamızda otoklav ile birlikte farklı sıcaklıklarda yani 50, 70, 90 °C derece sıcaklıklarda su kürü de uygulanmıştır. 90°C sıcaklıkta su ile kürü yapılan lifli ve liffsiz numuneler için elde edilen basınç mukavemetleri sırası ile 153.18 ve 134.01 MPa olmuştur. Bu değerler otoklav kürü koşullarında elde edilen basınç mukavemetleri ile kıyaslanırlarsa oranları sırası ile 0.917 ve 0.912 olmuştur. Oranın bu kadar yüksek olması ve kür aşamasındaki maliyeti düşürdüğü de göz önünde bulundurulursa yüksek sıcaklıktaki su kürü yönteminin, otoklav kür yöntemine alternatif olarak kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: RPB, basınç mukavemeti, sürdürülebilir beton;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Beton dünyada insanoğlunun en çok ürettiği ve kullandığı yapay üründür. Günümüzde beton araştırmalarında en önemli ve güncel konuların başında betonun basınç mukavemeti, işlenebilirliği, dayanıklılığı ve sürdürülebilirliği üzerindeki çalışmalar gelmektedir. Bir yapı mühendisi açısından betonun basınç mukavemetinin yüksek olmasının avantajları çoktur. Yüksek mukavemetli betonların kullanımı yapısal elemanların kesitlerinin küçülmesine, kesitlerin küçülmesi de binanın hafiflemesine ve bu durum da yapının ağırlığından kaynaklanan düşey yüklerin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca bina hafifledikçe binanın ağırlığı ile doğru orantılı olarak deprem yükü ve binanın yanal yükleri de azalmış olacaktır.

Diğer taraftan kesitlerin küçülmesi ile daha az beton kullanılması, çimento kullanımını da azaltacak ve maliyetlerde tasarruf sağlanacaktır. Biliyoruz ki dünyada sera gazlarının en zararlısı karbon dioksit gazıdır ve CO₂ gazının meydana gelmesi konusunda en fazla suçlanan sanayi tesisleri çimento fabrikalarıdır. Az çimentolu beton tasarımlarının kullanımı ile çevre dostu bir tasarım yapmamız da mümkün olacaktır.

Su/çimento oranının az olması genel olarak betonda yüksek mukavemet demektir. Eğer beton işlenebilir olursa daha az su kullanmamız da tasarımlarda mümkün olacaktır ve bu durum da doğrudan betonumuzun basınç mukavemetini artıracaktır.

Günümüz tasarımlarında basınç mukavemetinin artması için puzolanik katkı malzemesi de kullanılmaktadır. Puzolanik malzemeler betonun basınç mukavemeti ile birlikte dayanıklılığını da olumlu yönde etkilemektedir. Puzolanik malzemelerden silis dumanı, mukavemeti artırmak için daha fazla tercih edilmektedir. Silis dumanının kullanımı ile birlikte su ihtiyacı artmaktadır ve bu yüzden süper akışkanlaştırıcıların kullanımı da zorunlu olacaktır. Çünkü su miktarı artırıldığında su/çimento oranı da artacaktır ve bu istenmeyen bir durumdur. Bunun yerine işlenebilirliği

artırmakta daha etkili olan polikarboksilik esaslı akışkanlaştırıcı malzemeler tercih edilmektedir.

Reaktif pudra beton (RPB)

Daha yüksek mukavemetli ve üstün mekanik özelliğe sahip beton üretebilmek için yıllardır birçok araştırmacı çaba göstermektedir. İlk kez 1970'lerde Yudenfreund tarafından vakumlu bir ortamda 230 MPa dayanıma sahip beton üretilmiştir (Yudenfreund, Odler et al. 1972).

Bu çalışmanın ardından Roy ve arkadaşları tarafından; 50 MPa basınç ve 250°C sıcaklıktaki kür şartlarında 510 MPa dayanıma sahip beton üretilmiştir (Roy, Gouda et al. 1972).

1981 yılında ise Bache DSP (densified small particle) olarak adlandırdığı malzeme yardımıyla 250 MPa dayanımında numuneler elde etmiştir (Bache 1981). Üretilen betonların mukavemetleri yüksek olsa bile üretim şartları kolay olmadığından bu betonların üretilmesi normal şartlarda mühendisler için pek kullanışlı olmamıştır.

Ultra yüksek mukavemetli betonlar ise 1995 yılında Richard ve Cheyrezy tarafından üretilmiştir (Richard and Cheyrezy 1995). Bu betonlar daha sünek ve geçirimsiz olmalarının yanında daha iyi mekanik özelliklere de sahiptirler. Bu betonların üretiminde çimento, çok ince taneli silis dumanı ve kuvars kumu yanında çelik lifler de kullanılmaktadır. Çelik liflerin kullanımından dolayı yüksek enerji yutma potansiyeline sahip olan bu betonlar patlamaya maruz kalan veya darbe etkisinde olan yerlerde kullanılmışlardır (Cheyrezy, Maret et al. 1995, Roux, Andrade et al. 1996, Bonneau, Lachemi et al. 1997).

160 MPa üzerindeki basınç mukavemetine sahip olan reaktif pudra betonlarında boşluk oranı çok düşüktür. İri taneler yerine ince taneli homojen kuvars tozu kullanılması RPB'lerin homojen yapıda olmasını ve malzeme kusurlarının azalmasını sağlamaktadır. RPB'de kullanılan çimento dozajı ise geleneksel betonlara kıyasla yüksektir. Reaktif pudra betonlarının üretimi şu şekilde açıklanabilir; Bu betonlarda ince ve iri

agrega yerine kuvars kumu, kuvars tozu, yüksek dozajda çimento ve çimentonun ağırlıkça %25'ine kadar silis dumanı ikamesi kullanılır. Özellikle eğilme mukavemetinde önemli etkisi olan lifler bu betonlarda hacimsel olarak yaklaşık olarak %2 civarında kullanılmaktadır. Bu tür betonlarda su/bağlayıcı oranı çok düşük olduğundan yeni nesil süper akışkanlaştırıcılara ihtiyaç duyulmaktadır ve C₃A oranı düşük olan çimento türlerinin kullanımı tercih edilmektedir. RPB üretimi için genellikle katkısız Portland çimentosu yani Tip I ile 42.5 MPa veya 52.5 MPa basınç dayanıma sahip çimentolar tercih edilmektedir.

Mikron boyutundaki taneleri bir arada tutacak, bağlayıcı pastadaki boşlukları dolduracak ve en önemlisi çimento hidratasyonu sonucu meydana gelen kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek puzolanik reaksiyonlar oluşturacak ve böylelikle matriste ve beton dayanımına katkı sağlayacak bir puzolan malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu puzolanik reaksiyonları gerçekleştirmek için silis dumanı en tanınmış ve ideal bir puzolanik malzemedir. Çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan sönmüş kireç silis dumanı ile reaksiyona girmektedir. Bu kimyasal reaksiyon sonucu C-S-H jelleri oluşmaktadır. Silis dumanının bu etkisinden daha önemli olan, bu tanelerin filler etkisi (dolgu) göstermesidir. Kalsiyum hidroksit silis dumanı ile reaksiyona girip bu boşlukları iyi bir şekilde doldurur. Silis dumanı agrega taneciklerinin arasında bulunan mikro düzeydeki boşlukları bile doldurarak daha kesif ve daha yüksek mukavemetli bir matris oluşturur. Silis dumanı, agrega ve çimento arasındaki boşlukları azaltarak daha homojen ve daha sıkı bir mikro yapının oluşmasını sağlar. Boşlukların dolması dayanıklılığın artması anlamına gelmektedir. Ne kadar pahalı olsa da yüksek mukavemet,

dayanıklılık ve sürdürülebilirlik gibi özellikleri nedeniyle tercih edilebilen bir beton türüdür. RPB'lerin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Avantajları:

1. Normal betonlara göre çok yüksek çekme mukavemetine sahiptir ve her zaman çelikle mukayese edilmektedir
2. Çok ince taneler yardımı ile üretildiği için geçirimsizdir. Su ve gaz sızmalarına imkân vermemesinden ötürü bu betonlara yalıtım gerekmez.
3. Kesitlerin küçültülmesinden dolayı yapıya gelen ölü yükler azalmaktadır. Aynı zamanda bu betonların kayma mukavemeti de yüksektir.
4. Enerji yutmaları çok yüksek olduğundan deprem ve darbe durumunda avantajlı bir beton türüdür.

Bu avantajların yanında dezavantajları da aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Kullanılan taneler normal beton agregasına göre daha pahalı olduğundan dolayı maliyeti daha yüksektir.
2. Tanelerin optimize edilmesi maliyeti arttırmaktadır.
3. Bu beton türünün kullanımı yeni olduğundan uzun süreli özellikleri ve davranışları bilinmemektedir.
4. Resmi bir yönetmelik veya karışım oranlarına ilişkin bir standardı bulunmamaktadır.

İlk olarak donatısız RPB kullanılarak inşa edilen yapı Kanada'nın Quebec eyaletinde bulunan Sherbrooke köprüsüdür ve bu köprüde kullanılan RPB betonunun karışım hesabı Çizelge 1 de verilmiştir (Blais and Couture 1999).

Çizelge 1. Sherbrooke köprüsünde kullanılan 1 m³ RPB için karışım hesabı

İÇİNDEKİLER	ÇİMENTO	SİLİS DUMANI	ÖĞÜTÜLMÜŞ KUVARS	SİLİS ESASLI KUM	ÇELİK FİBER	SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI	SU
MİKTAR (KG)	710	230	210	1010	190	19 LİTRE	200

Farklı dayanımda betonlar kullanıldığında kesit alanı ihtiyacının değiştiği bilinen bir gerçektir.

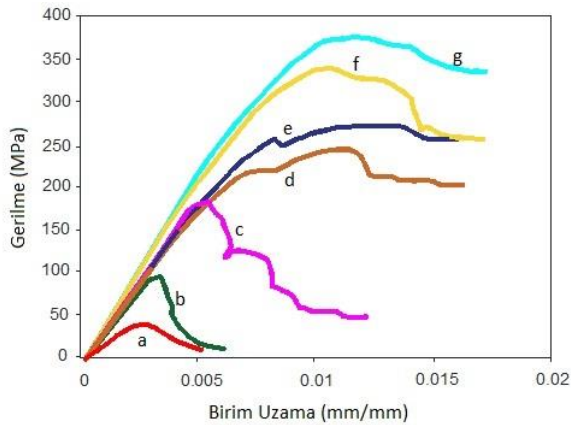
675 KN.m momenti taşıyacak farklı kesitler Şekil 1'de gösterilmektedir. Ağırlık bakımından

RPB kesitine en yakın kesit çeliktir. Üretim maliyetleri açısından RPB'lerin daha avantajlı olduğu bu şekilden bilinmektedir.

ŞEMATİK KESİT (DONATILAR GÖSTERİLMEMİŞ)				
Kiriş Tipi	X KESİTLİ RPB BETON	GENİŞ BAŞLIKLİ I KESİTLİ ÇELİK	ÖN GERİLMİŞ BETON KESİTİ	NORMAL BETONARME KESİTİ
KESİT YÜKSEKLİĞİ	360MM	360MM	700MM	700MM
AĞIRLIK	130KG/M	110KG/M	470KG/M	530KG/M

Şekil 1. 675 KN.m moment taşıyabilecek farklı kesitler

RPB'lerin davranışları, kullanılan lif ile doğrudan bağlantılıdır. Bu betonlarda da normal beton gibi sargı etkisi betonların davranışların ve sünekliğini büyük ölçüde etkilemektedir. Betonlar çelik bir kalıpta basınç deneylerine maruz kaldıklarında mukavemetleri aşırı derecede artış gösterir. Sherbrooke projesinde RPB betonlar 2 mm kalınlığındaki boruların içinde üretilmiştir. RPB seçimi için Sherbrooke köprüsünde farklı RPB betonları üzerinde yapılan σ - ϵ eğrileri için deney sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil üzerinden görüldüğü gibi lifli ve sargı etkisinde olan RPB betonunun davranışı daha sünektir ve basınç mukavemeti de daha yüksek bir seviyededir. Bu köprü projesinde RPB ile doldurulmuş diyagonal elemanlar paslanmaz çelik borulardır.



Şekil 2. Betonların σ - ϵ davranışları a) normal beton b) yüksek performanslı beton c) lifli RPB d) lifsiz ama boru ile sargılanmış RPB e) lifli ve boru ile sargılanmış RPB f) lifsiz boru ile sargılanmış basınç altında olan RPB g) lifli boru ile sargılanmış basınç altında olan RPB.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında çimento, kuvars kumu, kuvars tozu, silis dumanı, çelik lif, su ve süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Çimento

Bu çalışma kapsamında Çimento Tipi I – 52.5 MPa çimento malzemesi kullanılmıştır ve çimento malzemesinin tane çapı 43 μ m'den küçüktür.

Kuvars Kumu

Bu çalışma kapsamında kullanılan kuvars kumunun maksimum tane çapı 300 μ m'dir.

Kuvars Tozu

Bu çalışma kapsamında kullanılan kuvars tozunun çapı 10 μ m'dir. Geleneksel betonlarda tanelerin birbirine değmesi sonucunda hamur kısmında meydana gelen boşluklar artış göstermektedir ve tane çaplarının düşürülmesi ile bu boşluklar azalacaktır. Bunun sonucunda betonun porozitesi düşecek ve mukavemeti artacaktır (Dallaire, Aitcin et al. 1998).

Silis Dumanı

Bu çalışmada kullanılan silis dumanının en büyük tane çapı 0,15 μ m'dir. Silis dumanı çimento taneleri arasındaki boşluklarda filler etkisi göstererek hidrasyon sonucu oluşan $Ca(OH)_2$ ile yeniden reaksiyona girerek yeni C-S-H jelleri oluşturur. RPB üretiminde kullanılan

silis dumanının oranı %20 -30 arasındadır (Chan and Chu 2004).

Karışım Suyu

Bu çalışmada kullanılan karışım suyu içilebilir nitelikte olan şehir şebeke suyudur.

Çelik Lifler

Bu çalışmada hacimce %2 oranda çelik lif kullanılmıştır. Bu lifler 13 mm boyunda ve 0,15 mm çapındadır. Çekme dayanımı 1050 MPa olup özgül ağırlığı 7.85'dir.

Reaktif Pudra Betonun Karışım ve Kürü

Kür işlemi, RPB kalıba yerleştirildikten hemen sonra uygulanmıştır. Betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde sıcaklık kürü uygulanan yöntemlerden biridir. Hidratasyon sırasında malzemelerin kristalleşmesi ve silis içerikli filler malzemelerin pozolanik reaksiyonuna başlamasında kür sıcaklığının önemi büyüktür. Beton dayanımlarının iyileştirilmesinde sıcaklık uygulaması yararlı olmaktadır (Feylessoufi, Crespın et al. 1997). Yüksek basınçlı buhar kürü (otoklav) ile 28 günlük standart kür dayanıma 24 saatte

erişilebilmektedir (Karabulut 2006). Kür süresinin basınç dayanımını artırdığı ve sonrasında düşüş gösterdiği ayrıca 14 saat otoklav kürü ile maksimum basınç dayanımlarının elde edildiği belirtilmiştir. Bunun yanında, Uygunoğlu ve Ünal 2007 yılındaki otoklav kürü çalışmalarında, en uygun otoklav kür süresinin 8 saat olduğunu, otoklavda 8 saatten fazla kalan numunelerde basınç mukavemeti kaybı görüldüğünü belirtmişlerdir (Uygunoğlu and Ünal 2007). Bu nedenle otoklav kür süreleri 4, 8 ve 12 saat olmak üzere 3 farklı tipte belirlenmiştir. Otoklav yöntemi zor ve pahalı olduğundan şantiye için uygun değildir. Bu çalışmanın asıl amacı RPB betonlarının kürü için daha ucuz ve daha basit bir alternatif yöntem bulmaktır. Bu nedenle çalışma sonucunda otoklav ile birlikte farklı sıcaklıklardaki (50°C, 70°C ve 90°C) su içinde kür yapılacaktır ve sonuçlar mukayese edilecektir.

Karışım Hesabı

Bu çalışmadaki karışım hesabı Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Lifli ve lifsiz RPB betonunun Karışım hesabı (kg).

MALZEME	ÇİMENTO	SİLİS DUMANI	KUVARS KUMU	KUVARS TOZU	SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI	ÇELİK LİF	SU	SU/ÇİMENTO
LİFLİ	750	187.50	894.00	158.00	35.00	157	201.00	0.268
LİFSİZ	765	183.82	911.18	161.16	35.00	-	205.02	0.268

Homojen dağılımın sağlanması için öncelikle kuru (katı) malzemeler karıştırıcıya dökülerek 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra karışım suyunun ve süper akışkanlaştırıcının yarısı ilave edilip 4 dakika karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından su ve süper akışkanlaştırıcının kalan kısmı ilave edilip 4 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra çelik lif ilave edilmiş ve 2 dakikalık süre için karıştırma işlemi uygulanmıştır. Elde edilen taze haldeki RPB yağlanan kalıplara doldurulmuştur. 24 saatlik süre sonunda oda koşullarında sertleşen RPB numuneleri kalıplardan çıkarıldıktan sonra bir kısmı yüksek basınçlı kür için otoklava konulmuştur. 4, 8 ve 12 saat sonunda otoklavdan çıkarılan numuneler 28 gün boyunca 25°C

sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmiştir. Bu işlemlere maruz kalmayan diğer numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra 3 gün boyunca farklı sıcaklıklardaki (50°C, 70°C, 90°C) su içerisinde kür edildikten sonra 25°C sıcaklıkta 7 ve 28 gün boyunca bekletilmiş ve basınç ve eğilme mukavemeti deneylerine tabi tutulmuştur. Otoklav kür yönteminin amacı RPB'nin erken dönemde mukavemet kazanmasını sağlamaktır. Yüksek sıcaklıklar RPB'nin mukavemetindeki gelişim için gerekli kimyasal reaksiyonları hızlandırır. Bu çalışmada uygulanan otoklav küründe sıcaklık 200°C-212°C aralığındadır ve uygulanan basınç ise 20 atm'dir.

Deneylerin gerçekleştirilmesi için Ghavi Saze Azarabadegan firmasının yapı malzemesi laboratuvarında bulunan otoklav kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan otoklav çalışmaya başladıktan 1 saat sonra 1 MPa basınç (10atm),

2 saat sonra ise 2 MPa basınç (20 atm) değerine ulaşmıştır. Numuneler otoklavda 1-2 MPa basınç altında dengeye geldikten sonra, belirlenen süreye kadar (bu çalışmada 4, 8 ve 12 saat) sabit basınç altında tutulmuştur.

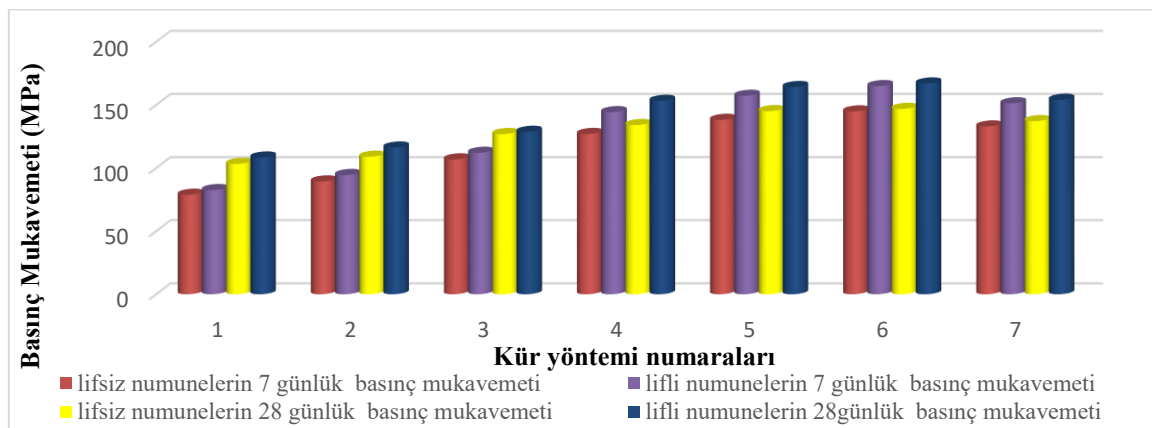
Sonuçlar ve Tartışma

Lifli ve lifsiz karışım betonlarının 7 ve 28 günlük basınç ve 28 günlük eğilme mukavemetleri

Çizelge 4 ile Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 üzerinde gösterilmiştir.

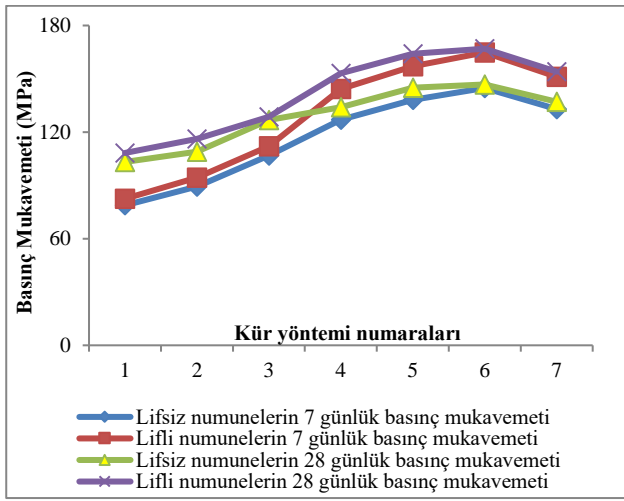
Çizelge 4. Farklı kür şartlarında 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme mukavemetleri

Kür	Lif Durumu	Kür Şartı	7 Günlük Basınç Mukavemeti	28 Günlük Basınç Mukavemeti	7 Günlük Eğilme Mukavemeti	28 Günlük Eğilme Mukavemeti	28 Günlük Eğilme/Basınç Mukavemeti (%)
1	Lifsiz	27 gün 25 derece su kürü	78.80	103.20	6.74	8.6	8.33
	Lifli		82.48	108.26	10.91	14.07	12.99
2	Lifsiz	3 gün 50 derece +24 gün 25 derece su kürü	89.34	108.89	6.82	8.85	8.12
	Lifli		94.42	116.17	12.20	15.08	12.98
3	Lifsiz	3 gün 70 derece +24 gün 25 derece su kürü	106.81	126.87	9.38	11.01	8.67
	Lifli		112.02	128.62	15.61	18.77	14.59
4	Lifsiz	3 gün 90 derece +24 gün 25 derece su	126.93	134.01	10.62	11.85	8.8
	Lifli		144.20	153.18	20.92	21.22	13.85
5	Lifsiz	4saat otoklav +28 gün 25 derece su kürü	138,12	145,01	13,19	13,34	9,19
	Lifli		157.15	164,09	22.41	23.20	14.13
6	Lifsiz	8saat otoklav +28 gün 25 derece su kürü	144.82	146.81	13.58	14.43	9.82
	Lifli		164.83	166.94	24.86	25.60	15.3
7	Lifsiz	12saat otoklav +28 gün 25 derece su kürü	132.9	137.12	11.58	12.61	7.64
	Lifli		151.21	154.03	21.3	22.9	14.80



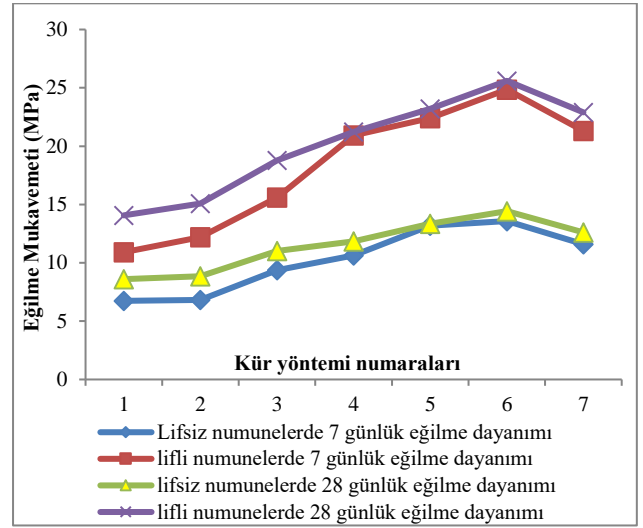
Şekil 4. Lifli ve lifsiz numunelerin 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri

Şekil 5'te de görüldüğü üzere, 7 kür yönteminde de otoklav kür yöntemi en iyi sonuçları vermektedir. Otoklav numuneleri içerisinde ise en iyi dayanım 6 numaralı kür koşulunda elde edilmiştir. Altıncı kür yönteminin 7 ve 28 günlük lifli ve lifsiz numuneler için en iyi kür yöntemi olduğu Şekil 4 ve Şekil 5'te net bir şekilde görülmektedir. Otoklavda bekletme süresi, 8 saatten 12 saate çıkarıldığında numunelerin basınç mukavemeti olumsuz olarak etkilenmiştir. Bu nedenle otoklavda optimum bekletme süresinin 8 saat olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 5. RPB numunelerin kür şartlarına göre 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri

28 inci günün sonunda en yüksek basınç mukavemeti lifli ve lifsiz numuneler için sırasıyla 166.94 MPa ve 146.81 MPa olmuştur. Otoklav kür işlemi uygulanmayan numunelerde bu sonuçlara en yakın olan kür şartı 90°C derecedeki kürdür. Bu kür sıcaklığında lifli ve lifsiz numuneler için elde edilen basınç mukavemetleri sırasıyla 153.18 MPa ve 134.01 MPa olmuştur. 90°C sıcaklıkta elde edilen basınç mukavemetinin lifsiz ve lifli betonlar için en iyi otoklav kür koşuluna göre dayanım oranları sırasıyla 0.917 ve 0.912 olmuştur. Otoklav kür işleminin yalnızca laboratuvar ve prefabrik yapılarda kullanıldığı göz önüne alındığında otoklavın kullanılmadığı kür koşullarında üretilen RPB numunelerinin dayanımının yüksek olması ve maliyetinin daha az olması, bu kür yönteminin otoklav kürü yöntemine iyi bir alternatif olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Lifli ve lifsiz numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme mukavemetleri

Şekil 6, lifli ve lifsiz numunelerin 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda elde edilen eğilme mukavemetlerini göstermektedir. Lifli numunelerin eğilme dayanımları 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda lifsiz numunelerden daha fazladır. En iyi kür şartı olan altı numaralı kür koşulunda lifli numunelerin lifsiz numunelere göre eğilme mukavemetinde %77 artış gösterdiği görülmektedir. Aynı kür koşulunda aynı numunenin basınç mukavemetindeki artış %13.7'dir. Bu sonuç liflerin eğilme dayanımı üzerindeki katkısının basınç dayanımına kıyasla çok daha fazla olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında farklı kür şartlarının RPB'nin basınç ve eğilme mukavemetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Özet olarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1. 28 inci günün sonunda en yüksek basınç mukavemeti lifli ve lifsiz numuneler için sırasıyla 166.94 MPa ve 146.81 MPa'dır.
2. 90°C sıcaklığındaki suyun kür yönteminde lifli ve lifsiz numuneler için elde edilen basınç mukavemetleri sırası ile 153.18 MPa ve 134.01 MPa olmuştur. Otoklav kür koşullarında elde edilen basınç mukavemetlerine oranları ise sırası ile 0.917 ve 0.912 olmuştur. Oranın bu kadar yüksek olması ve düşük maliyeti göz önüne alındığında, yüksek sıcaklıktaki su ile kür

yönteminin otoklav kür yöntemine alternatif olarak kullanılabilmesi anlaşılmaktadır.

3. 90°C su sıcaklığındaki kür yöntemi yardımıyla her yerde ve daha ucuz maliyetlerle RPB beton üretimi mümkün olmaktadır ve hızlı mukavemet özelliğinden dolayı bu yöntem ile üretilen RPB'lerin onarım işlerinde de kullanımı mümkündür.
4. Çelik liflerin hem basınç ve hem de eğilme mukavemetine olumlu etkisi görülmüştür. En iyi kür koşulunda lifli numunelerin liffsiz numunelere göre eğilme mukavemetinde 77% artış meydana gelmiştir.

Buhar basıncı altında artan basınç mukavemeti muhtemelen puzolanik reaksiyon ve çimento hidrasyonu etkisinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, uzatılmış otoklav kürü süresi gücün düşmesine neden olabilir. Optimum sıkıştırma kuvveti, kalsiyum silikatların ve puzolanik aktivitenin hidrasyonunu oluşturmak için daha yüksek sıcaklıklarda daha kısa kür süresinde elde edilebilir (Kearsley and Booyens 1998). Daha uzun küre maruz kalmanın, buhar basıncının aşırı kristaline kalsiyum silikat oluşumuna neden olduğuna inanılmaktadır. Bu durum dayanımın düşmesine neden olmaktadır (Ekaputri, Triwulan et al. 2013).

90 derecelik kür sonucunda otoklav kürüne yakın sonuçlar çıkmasının sebeplerinin neler olabileceğine gelince;

RPB betonlarında puzolanların aktivasyonu ve hidrasyonun gerçekleşmesi için 8 saatlik otoklav yerine 3 günlük sıcak su kürü yeterli olmuştur ve bunu farklı yayınlarda da görebiliriz (Meraji, Afshin et al. 2012, Bakış 2015).

Kaynaklar

- Bache, H. H. (1981). Densified cement/ultra-fine particle-based materials, Aalborg Portland Aalborg, Denmark.
- Bakış, A. (2015). "Rijit yol üstü yapı inşasında reaktif pudra betonun (RPB) kullanılabilirliğinin araştırılması." Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Blais, P. Y. and M. Couture (1999). "Precast, prestressed pedestrian bridge-world's first reactive powder concrete structure." PCI journal **44**: 60-71.

- Bonneau, O., M. Lachemi, E. Dallaire, J. Dugat and P.-C. Aitcin (1997). "Mechanical properties and durability of two industrial reactive powder concretes." Materials Journal **94**(4): 286-290.
- Chan, Y.-W. and S.-H. Chu (2004). "Effect of silica fume on steel fiber bond characteristics in reactive powder concrete." Cement and Concrete Research **34**(7): 1167-1172.
- Cheyrezy, M., V. Maret and L. Frouin (1995). "Microstructural analysis of RPC (reactive powder concrete)." Cement and Concrete Research **25**(7): 1491-1500.
- Dallaire, E., P.-C. Aitcin and M. Lachemi (1998). "High-performance powder." Civil Engineering **68**(1): 48.
- Ekaputri, J. J., D. B. Triwulan and F. R. S. Nasir (2013). Optimization of pressure and curing time in producing autoclaved aerated concrete. Proceeding the 6th Civil Engineering Conference in Asia Region: Embracing the Future through Sustainability.
- Feylessoufi, A., M. Crespın, P. Dion, F. Bergaya, H. Van Damme and P. Richard (1997). "Controlled rate thermal treatment of reactive powder concretes." Advanced cement based materials **6**(1): 21-27.
- Karabulut, A. Ş. (2006). Reaktif Pudra Betonunun Özelliklerinin Mineral Katkılarla Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi
- Kearsley, E. and P. Booyens (1998). "Reinforced foamed concrete-can it be durable?" Concrete Beton(91).
- Meraji, L., H. Afshin and K. Abedi (2012). "Investigation into the Possibility of Reactive Powder Concrete Production Using Available Materials in Iran."
- Richard, P. and M. Cheyrezy (1995). "Composition of reactive powder concretes." Cement and concrete research **25**(7): 1501-1511.
- Roux, N., C. Andrade and M. Sanjuan (1996). "Experimental study of durability of reactive powder concretes." Journal of Materials in Civil Engineering **8**(1): 1-6.
- Roy, D. M., G. Gouda and A. Bobrowsky (1972). "Very high strength cement pastes prepared by hot pressing and other high pressure techniques." Cement and Concrete Research **2**(3): 349-366.
- Uygunoğlu, T. and O. Ünal (2007). "Buhar Kürü Uygulanmış Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri." Politeknik Dergisi **10**(1).
- Yudenfreund, M., I. Odler and S. Brunauer (1972). "Hardened portland cement pastes of low porosity I. Materials and experimental methods." Cement and Concrete Research **2**(3): 313-330.

The Effect of Different Current Conditions on Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete

Extended abstract

The use of high-strength concretes minimizes the cross-section of the structural elements, the reduction of the cross-sections causes the building to become lighter, and this leads to a reduction in the vertical loads due to the weight of the structure. In addition, as the building gets lighter, the earthquake loads that are directly proportional to the weight of the building and consequently the lateral loads of the building will be reduced.

On the other hand, the use of less concrete will reduce cement use and save costs. It is known that the most harmful of greenhouse gases is carbon dioxide gas. In terms of CO₂ gas emissions, the most accused industrial plants are cement factories. Thanks to the use of less cemented concrete designs, it will be possible to design an environmentally friendly design.

Production of reactive powder concretes can be explained as follows:

In these concretes, up to 25% by weight of silica fume is added to the mixture of quartz sand, quartz powder, high dosage cement instead of fine and coarse grained aggregate. Fibers with significant effect on bending strength are used in these concretes approximately 2% by volume. As the water / binder ratio is very low in such concretes, new generation superplasticizers are needed and the use of cement types with low C₃A ratio is preferred.

Temperature curing is one of the methods for improving the mechanical properties of concrete. Crystallization of the materials during hydration and the curing temperature are important for starting the pozzolanic reaction of the silica-containing filler materials.

In this study, the development of warm water curing method and the effect of this curing method on the mechanical properties of Reactive powder concrete (RPC) has been investigated. For this reason, in our study, water cure was applied at different temperatures, i.e. 50, 70, 90 ° C and autoclave curing method for comparison.

The compressive strengths obtained for samples with steel fibre and for non-fibre samples cured at 90°C

water were respectively 153.18 and 134.01 MPa. These values were 0.917 and 0.912, respectively, while compared to the compressive strengths of samples cured in autoclave conditions. It is understood that the warm water curing method can be used as an alternative to the autoclave curing method. Because the ratio is so high and this method is more economic than autoclave curing method.

Keywords: *RPC, compressive strength, sustainable concrete*