

Barit, Diatomit, Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisi Altındaki Davranışları

Y. ESEN

Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye
yesen@firat.edu.tr

(Geliş/Received:25.01.2017; Kabul/Accepted:10.02.2017)

Özet

Bu çalışmada, CEM I 42,5 R çimentosu ile hacimce %10, %20, %30 ve %40 oranında ikameli olarak katılan barit, diatomit, silis dumanı ve F sınıfı uçucu kül gibi farklı minerallerin, betonun bazı mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, 28 günlük dayanıma sahip mineral katkılı beton numunelerin; kuru birim ağırlıkları, su altı ağırlıkları ve suya doymuş ağırlıkları bulunmuştur. Ağırlıkça su emme yüzdeleri de tespit edilen beton numunelerin Puls Geçiş Hızı (PGH) ölçümleri yapılmış, daha sonra 200, 400, 600 ve 800°C gibi yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler, oda sıcaklığın da soğumaya bırakılıp basınç dayanımları ölçülmüştür. En yüksek su emme oranları diatomit katkılı betonlarda (%9.8) olurken, en yüksek basınç dayanımları %10 barit tozu katkılı betonlarda (46 N/mm²) elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek sıcaklık, Barit, Diatomit, Silis dumanı, Uçucu kül

Behavior of Barite, Diatomite, Silica Fume and Fly Ash Added Concrete under High Temperature Effect

Abstract

In this study, CEM I 42,5 R cement was used together with different minerals such as barite, diatomite, silica fume, F class fly ash that are added in a substituted manner at the rates of 10%, 20%, 30% and 40% by volume. Dry unit weights, underwater weights and water saturated weights of these concrete samples with mineral additives with 28-day strength were found. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) measurements of the concrete samples, the water absorption percentages by weight of which were determined, were performed. The samples which were then exposed to high temperatures such as 200, 400, 600 and 800°C were left for cooling at room temperature, and then, their compressive strength was measured. While the highest water absorption rates were in Diatomite reinforced concrete (9.8%), the highest compressive strengths were obtained in 10% Barite reinforced concrete (46N/mm²).

Keywords: High Temperature, Barite, Diatomite, Silica Fume, Fly ash

1. Giriş

Betonun yangına karşı dayanıklı bir malzeme olduğuna inanılmasına rağmen, yapılan çalışmalar, betonun yüksek sıcaklıkta önemli hasarlara uğradığını göstermiştir [1]. Sıcaklık 600°C'ye ulaştığında beton, dayanımının %50'sini, 800°C'de ise yaklaşık %80'ini kaybetmektedir [2-3]. Yüksek sıcaklığın kaynaklarından biri olan yangının, betona ve betonarme yapılara etkisi, 1922'den günümüze kadar araştırılmaktadır [4]. Günümüzde modern yapılarda, endüstri yapılarında, tünellerde veya özel hizmet amaçlı inşa edilen yapılarda

kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile yüksek performanslı ve yüksek dayanımlı betonlar üretilmeye başlanmıştır. Betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışı iyi bilinmemelidir. Çünkü betonarme eleman yüksek sıcaklığa maruz kaldığında fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklikler görülür. Bu değişiklikler, betonun basınç dayanımında ve elastisite modülünde azalma, çatlak oluşumu, parçalanma ve dağılma, çelikte ise akma dayanımı, duktilite ve çekme dayanımında azalma şeklinde olmaktadır [5-7].

Betonun yüksek sıcaklık karşısındaki dayanımı, doğal olarak betonun karışımına giren

malzemelerden etkilemektedir. Bilindiği gibi beton karışımında; çimento, agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıları kullanılmaktadır. Beton hacminin %60-80 oranında agrega kullanıldığı düşünülürse, agregaların dayanım/dayanıklılık üzerindeki etkisi çok önemlidir [8]. Betona bir bütün olarak bakıldığında, genellikle içindeki sertleşmiş çimento hamuru ve agrega gibi bileşenlerin termal genleşmelerinin birbirinden farklı olduğu bilinir. Bu nedenle, betondaki sıcaklık değişimleri, içerisindeki bileşenlerde birbirinden farklı hacim değişmelerine, çatlak oluşumuna ve betonun dayanımının azalmasına neden olur. Bu olay "betondaki bileşenlerin termal uyumsuzluğu" olarak bilinmektedir [9]. Yaygın olarak kullanılan agregaların birçoğu belirli sıcaklıklarda ısıtıldığında, fiziksel olarak bozulur. Örneğin, kumların büyük çoğunluğunu oluşturan kuvarz 570°C'de polimorfik bir değişime uğrar, kireçtaşı ve bazalt agregaları 650°C'ye kadar ısıtıldığında kalıcı termal genleşmeler gösterir. Karbonat kökenli agregalar 700°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda CaO ve CO₂'e ayrışır. Artan sıcaklıklarda agregada görülen bütün bu kimyasal ve fiziksel değişiklikler betonda önemli sorunlar yaratır [10]. 600°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, kimyasal ayrışma ve bağ suyunun kaybı ile çimento hamurunun mikro yapısında değişiklikler oluşur. Çimento hamurundaki kimyasal bağlar, kohezif kuvvetler, porozite ve gözenek boyutu dağılımı değişikliğe uğrar [11]. Yapılan literatür çalışmasında, yüksek sıcaklık etkisi altında kalmış betonun, mekaniksel ve fiziksel özelliklerin (ısı iletkenlik, genleşme, boşluk oranı vb.) birçok araştırmacı tarafından incelendiği görülmüştür [12-33].

Beton yapımında kullanılan mineral katkı maddeleri; uçucu kül, silis dumanı, tras, granüle yüksek fırın cürufu gibi puzolanik özellikli maddelerdir. Uçucu kül ve silis dumanı çok ince taneli puzolanik malzemeler olarak elde edilmektedir. Tras ve benzeri doğal puzolanları, beton katkı maddesi olarak kullanabilmek için bu maddeler, öğütülerek ince taneli duruma getirilmektedirler. Puzolanik malzemelerin dışında, taş unu gibi puzolanik özellik taşımayan ince taneli malzemelerde beton katkı malzemesi

olarak kullanılabilir. İnce taneli mineral katkıları, betonun işlenebilmesini, dayanımını, dayanıklılığını ve ekonomikliğini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır [34].

Bu çalışmada, barit tozu, diatomit tozu, silis dumanı, C sınıfı uçucu kül gibi mineral katkıları, betonun bağlayıcısı olan çimento ile ikameli olarak yer değiştirilerek beton numuneleri hazırlanmıştır. Aynı şartlar altında hazırlanan bu numunelere, PGH ve su emme deneyleri ile artan yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları kendi içinde ve karşılaştırmalı olarak mukayese edilmiştir.

2. Malzemeler ve Metot

İyi bir beton için, öncelikle iyi bir beton harcının hazırlanması gereklidir. Betonda aranan özellikler göz önünde bulundurularak, beton harcı için gerekli Su/Bağlayıcı (S/B) oranı, agrega miktarı, çökme (slump) miktarı varsa ilave katkı maddeleri ve oranları tespit edilmelidir. Bu çalışmadaki tüm karışımlarda toplam bağlayıcı miktarı, 400 kg/m³ olarak dikkate alınmıştır. S/B oranı 0.50 alınarak, yapılan slump deneyinde çökme miktarı 7-10 cm olarak tespit edilmiştir. Minerallerin farklı su emme kapasitelerinden dolayı S/B oranını sabit tutmak amacı ile barit ve uçucu kül minerali katkılı betonlarda, bağlayıcı miktarının %0.5'i, diatomit ve silis dumanı katkılı olanlarda, %0.8'i oranında hiper akışkanlaştırıcı kullanılmış ve teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Çimento olarak CEM I 42.5 R kullanılmış kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Deneylerde, özgül ağırlığı 2.70 gr/cm³ olan yerel dere yatağı agregası kullanılmıştır. Maksimum dane çapı 8 mm seçilmiştir. TS 706 EN 12620'ye [35] göre granülometri eğrisinin C8 ve A8 eğrileri arasında bulunması sağlanmıştır. Deneyde kullanılan yapay mineral olan silis dumanı ve uçucu kül, ince malzemelerdir. Doğal mineral olan barit ile diatomit mineralleri çimento inceliğine yakınlık teşkil edilecek duruma getirildikten sonra kullanılmış ve bunlara ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 1. Hiper akışkanlaştırıcı kimyasalının teknik özellikleri [34]

Kimyasal Yapı	Modifiye Polikarboksilat Esaslı Polimer
Yoğunluk	1.055 - 1.095 t/m ³ , 20°C
pH Değeri	3 – 7
Donma Noktası	-5°C
Suda Çözünebilir Klorür Yüzdəsi	En fazla %0.1, Klorür içermez (TS EN 934-2)
Alkali Miktarı (%Na₂O Eşdeğeri olarak)	En fazla %4 (TS EN 934-2)

Tablo 2. CEM I 42.5 R çimentosunun fiziksel ve kimyasal özellikleri [34]

Kimyasal Kompozisyon (%)		Çimentonun Fiziksel Özellikleri	
SiO ₂	20.4	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3.05
Al ₂ O ₃	5.61	Priz Başlangıcı (dk.)	190
Fe ₂ O ₃	3.27	Priz sonu (dk.)	255
CaO	63.01	Hacim genişlemesi (mm)	7
MgO	2.49	Özgül Yüzey, (cm ² /gr. Blaine)	3470
SO ₃	2.26	Çimentonun Basınç Dayanımı (MPa)	
Cl ⁻	0.006	2 gün	24.2
Kızdırma kaybı	1.64	7 gün	43.5
Çözünmez kalıntı	1.68	28 gün	54.5

Tablo 3. Kullanılan mineral katkıların kimyasal analiz sonuçları [34]

İçerik (%)	Barite	Diatomite	Silica Fume	Fly Ash
Yoğunluk (gr/cm ³)	4.30	1.45	2.20	2.31
BaSO ₄	94.24	-	-	-
SiO ₂	2.23	67.20	93-95	56.91
Al ₂ O ₃	0.30	10.09	0.40-1.40	21.85
Fe ₂ O ₃	0.13	2.74	0.40-1.00	6.52
CaO	0.04	1.36	0.60-1.00	3.33
MgO	0.15	0.63	1.00-1.50	2.57
SrO	2.61	-	0.10-0.30	-
Na ₂ O	-	0.36	0.10-0.40	-
K ₂ O	-	0.67	0.50-1.00	-
Kızdırma Kaybı	0.14	8.00	0.50-1.00	2.36

Beton karışımına giren çimento miktarı, ağırlıkça sırasıyla %10, %20, %30, %40 oranında azaltılıp, yerine aynı oranlarda barit tozu, diatomit tozu, uçucu kül ve silis dumanı

gibi doğal ve yapay mineraller katılmıştır. Kullanılan karışım oranları, mineral katkı çeşitlerine göre Tablo (4-7)'de verilmiştir.

Tablo 4. 1 m³ Barit katkıli beton için karışım hesabı

		Kontrol Numunesi		B 10		B 20		B 30		B 40	
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento		129	400	116	360	103	320	90	280	77	240
Su		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agrega	0-4 mm %60	395	1068	398	1074	400	1080	402	1086	404	1092
	4-8 mm %40	264	712	265	716	267	720	268	724	270	728
Barit Miktarı		--	--	9	40	18	80	28	120	37	160
Kimyasal Katkı		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Toplam		1000	2382	1000	2392	1000	2402	1000	2412	1000	2422

Tablo 5. 1 m³ Diatomit katkıli beton için karışım hesabı

		Kontrol Numunesi		D 10		D 20		D 30		D 40	
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento		129	400	116	360	103	320	90	280	77	240
Su		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agrega	0-4 mm %60	1066	349	943	304	820	258	697	212	574	831
	4-8 mm %40	711	233	629	202	547	172	465	142	382	554
Diatomit Miktarı		--	--	89	40	178	80	267	120	356	160
Kimyasal Katkı		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Toplam		1000	2380	1000	2175	1000	1969	1000	1764	1000	1559

Tablo 6. 1 m³ Silis dumanı katkılı beton için karışım hesabı

		Kontrol Numunesi		SD 10		SD 20		SD 30		SD 40	
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento		129	400	116	360	103	320	90	280	77	240
Su		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm %60	1066	368	994	342	923	315	851	289	779	985
	4-8 mm %40	711	246	663	228	615	210	567	192	520	657
Silis Dumanı		--	--	57	40	114	80	171	120	229	160
Kimyasal Katkı		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Toplam		1000	2380	1000	2261	1000	2141	1000	2021	1000	1902

Tablo 7. 1 m³ Uçucu kül katkılı beton için karışım hesabı

		Kontrol Numunesi		UK 10		UK 20		UK 30		UK 40	
		Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento		129	400	116	360	103	320	90	280	77	240
Su		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Hava		10	--	10	--	10	--	10	--	10	--
Normal Agregası	0-4 mm %60	1068	393	1061	390	1053	387	1046	385	1039	1180
	4-8 mm %40	712	262	707	260	702	258	697	256	692	787
Uçucu Kül Miktarı		--	--	17	40	35	80	52	120	70	160
Kimyasal Katkı		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Toplam		1000	2382	1000	2370	1000	2357	1000	2345	1000	2333

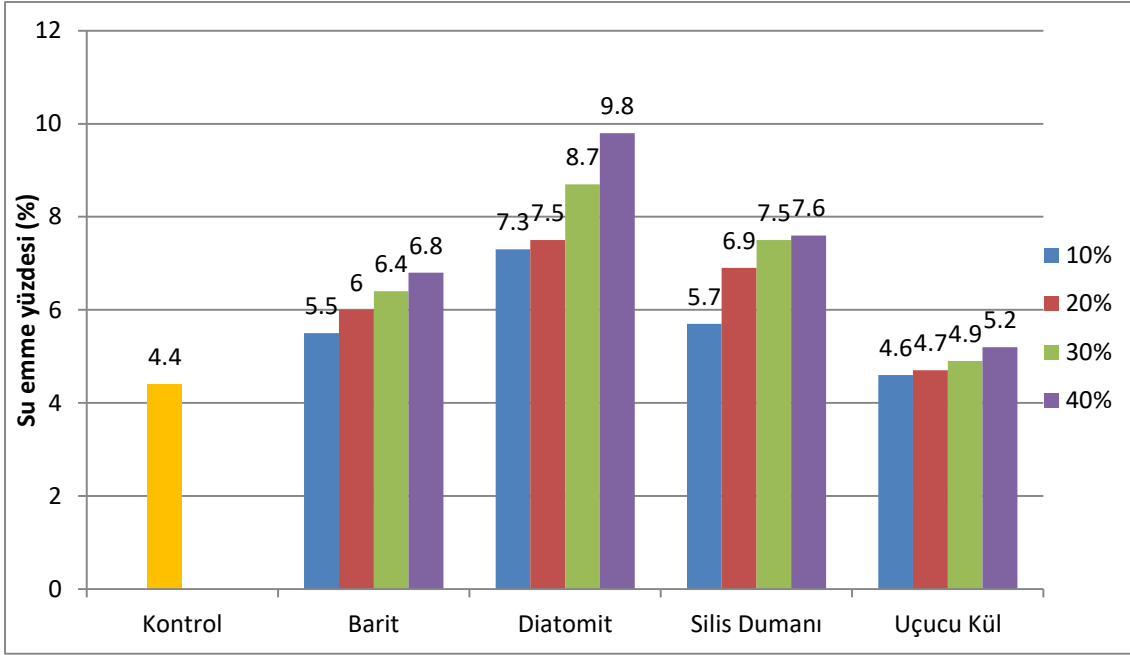
Deneyler için 10x10x10cm ebatlarında numuneler dökülmüş. Beton numuneler 28 gün kirece doymun suda bekletilmiş (20±3°C) ve sudan çıkarılan numuneler 24 saat havada kurumaya (laboratuvar ortamında) bırakılmıştır. Her deney için üç numune dökülmüş, ortalama

değerler alınmıştır. Bu çalışmada karışımda bulunma oranları harfin yanında olacak şekilde, kontrol numunesi; C, barit tozu minerali; B, diatomit tozu minerali; D, silis dumanı minerali; SD ve uçucu kül minerali; UK olarak isimlendirilmiştir.

3. Deneysel Çalışma

Beton numunelerin önce kuru birim ağırlıkları, su altı ağırlıkları ve suya doygun ağırlıkları bulunmuştur. Ağırlıkça su emme yüzdeleri de tespit edilen beton numuneler daha sonra ultrases ölçme deneyine tabi tutularak, Puls Geçiş Hızı (PGH) ölçümleri yapılmıştır. Numuneler 24 saat 105°C de etüvde sabit ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Daha sonra sırasıyla; normal şartlar altında (NŞA), 200, 400, 600 ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler, fırından alınarak kendi halinde soğumaya bırakılıp, basınç dayanımları ölçülmüştür.

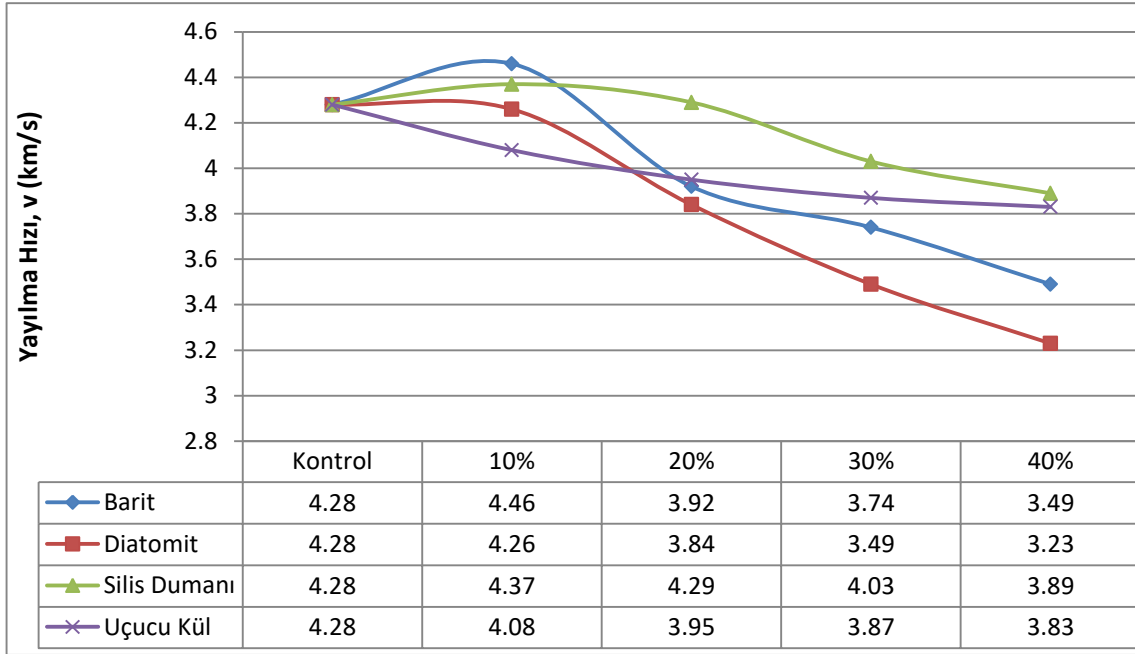
Şekil 1'de görüldüğü gibi mineral katkı çeşidine göre numunelerin su emme miktarlarında da farklılıklar olmuştur. En yüksek su emme oranı, %40 diatomit katkılı betonlarda %9.8 oranında olurken, onu sırasıyla silis dumanı, barit ve uçucu kül katkılı betonlar takip etmiştir. Betondaki mineral katkı oranının artışıyla birlikte su emme yüzdeleri de orantılı olarak artmıştır. Diatomit'in su emme özelliği çimentodan fazla olup, ağırlığının yaklaşık olarak %80-90'ı kadar su emebilmektedir. Ayrıca özgül ağırlığı çimento göre çok düşük olduğu için hacimce yer değiştirildiğinde, çimento harcı içindeki miktarı da artmaktadır. Dolayısıyla su emme miktarı, oldukça yüksek oranda olmuştur.



Şekil 1. Numunelerin su emme yüzdeleri

Betonda ultrasonik hızın azalması, betonun boşluklu olduğunu göstermekte, buna bağlı olarak da beton dayanımı da düşmektedir [7]. Şekil 2'ye bakıldığında mineral katkı miktarının artışına bağlı olarak, yayılma hızı değerlerinde düşüş olmuştur. Bu mineral katkılardan en iyi sonuçlar %10 oranında ve nispeten barit katkılı betonlarda elde edilmiştir.

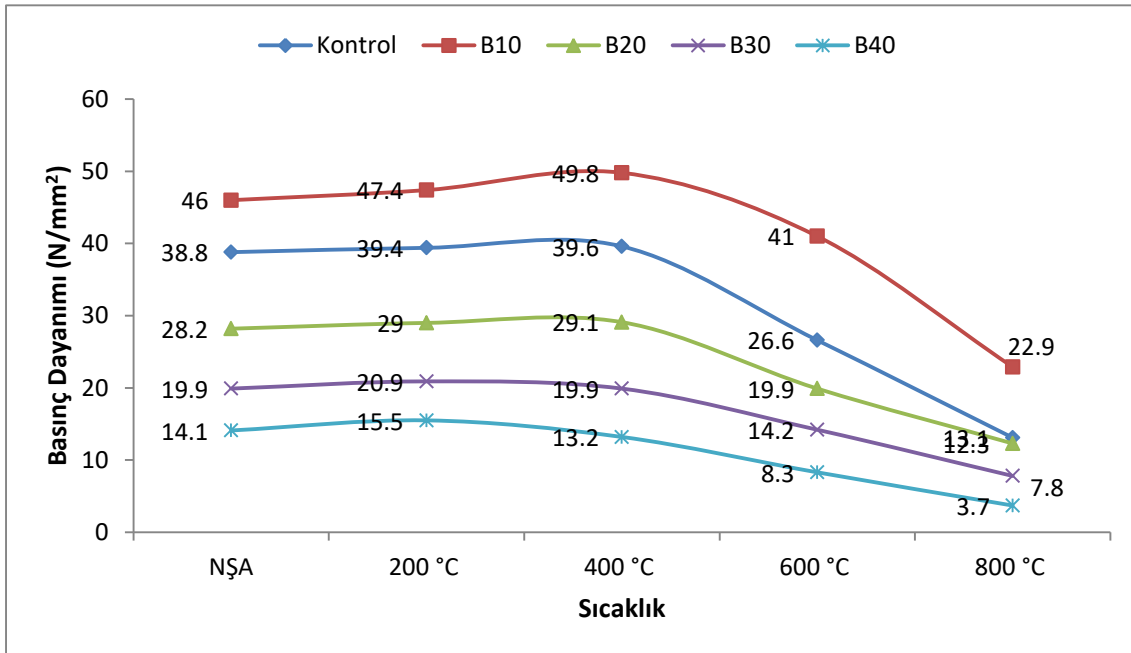
Nihai olarak en yüksek değer silis dumanı katkılı serilerde elde edilmiştir. En kötü sonuçlar da diatomit katkılı betonlarda elde edilmiştir. Kontrol betonunda yayılma hızı 4.28 km/s olarak okunurken, %40 mineral katkılı serilerde, bu değer; 3.45-3.85 km/s arasında okunmuştur. Bu da basınç dayanımlarının daha düşük çıkacağına işaret etmektedir.



Şekil 2. Numunelerin PGH ölçüm sonuçları

Beton numuneler, yüksek sıcaklık fırını ile 200, 400, 600 ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra soğumaya bırakılmış ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Her bir oran ve yüksek sıcaklık değeri için üretilen üçer adet numunenin, ortalama beton basınç dayanımları

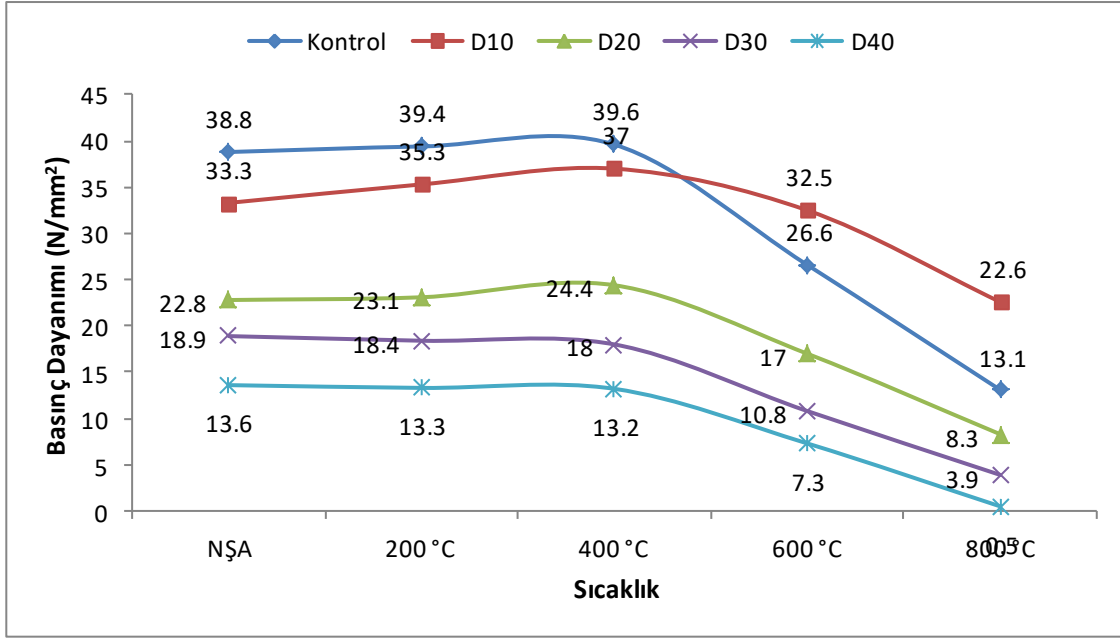
hesaplanmıştır. Mineral kaktı çeşitlerine göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir. Grafiklerde, her bir mineral çeşidi için 4 farklı orana ait davranış ve kontrol betonunun davranışı ile birlikte, 5 farklı seriye ait davranış aynı anda incelenmiştir.



Şekil 3. Barit katkıli beton numunelere ait basınç dayanımı sonuçları

Şekil 3’de barit katkıli betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışı görülmektedir. %10 barit katkısı ile elde edilen sonuçlar diğer serilerden daha yüksek sonuçlar vermiştir. NŞA kontrol betonunun basınç dayanımı 38.8 N/mm² çıkarken, %10 barit katkısıyla birlikte bu değer 46 N/mm² olarak ölçülmüştür. Bütün sıcaklık dereceleri için en iyi sonuçlar B10 serisinde elde

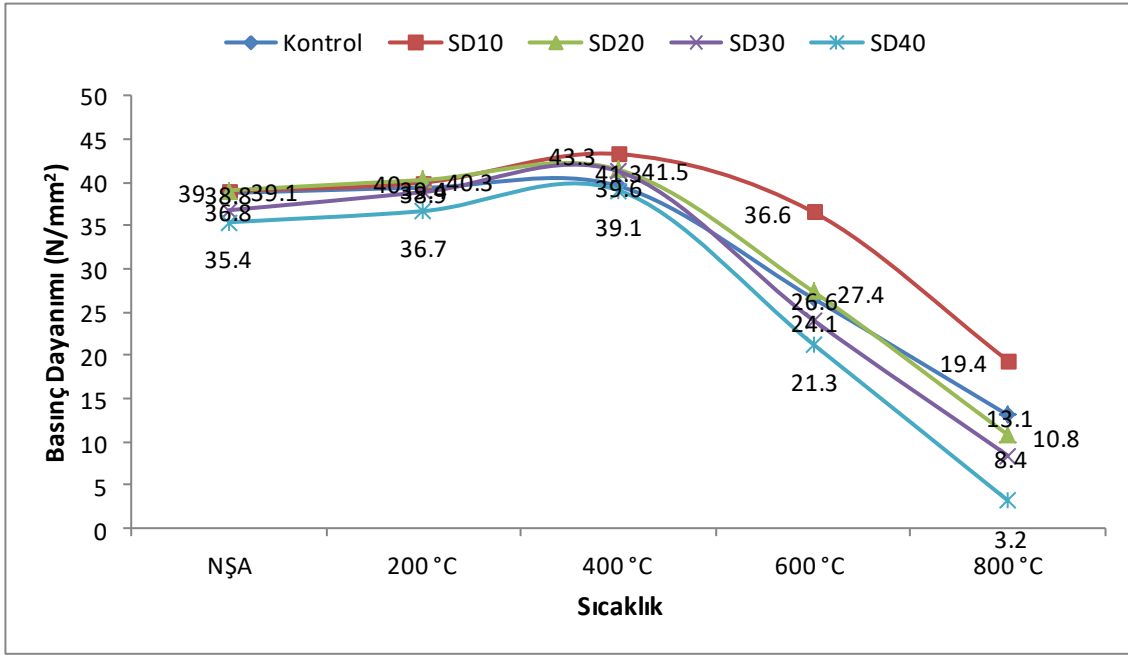
edilmiştir. B20, B30 ve B40 serilerinde kontrol betonundan daha düşük dayanımlar elde edilmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak, tüm serilerde de 400°C ye kadar hemen hemen yatay bir seyir tespit edilmiştir. 400°C’den sonra basınç dayanımlarında ani düşüşler gözlenmiştir ki, bu da literatür ile paralellik gösteren bir sonuçtur.



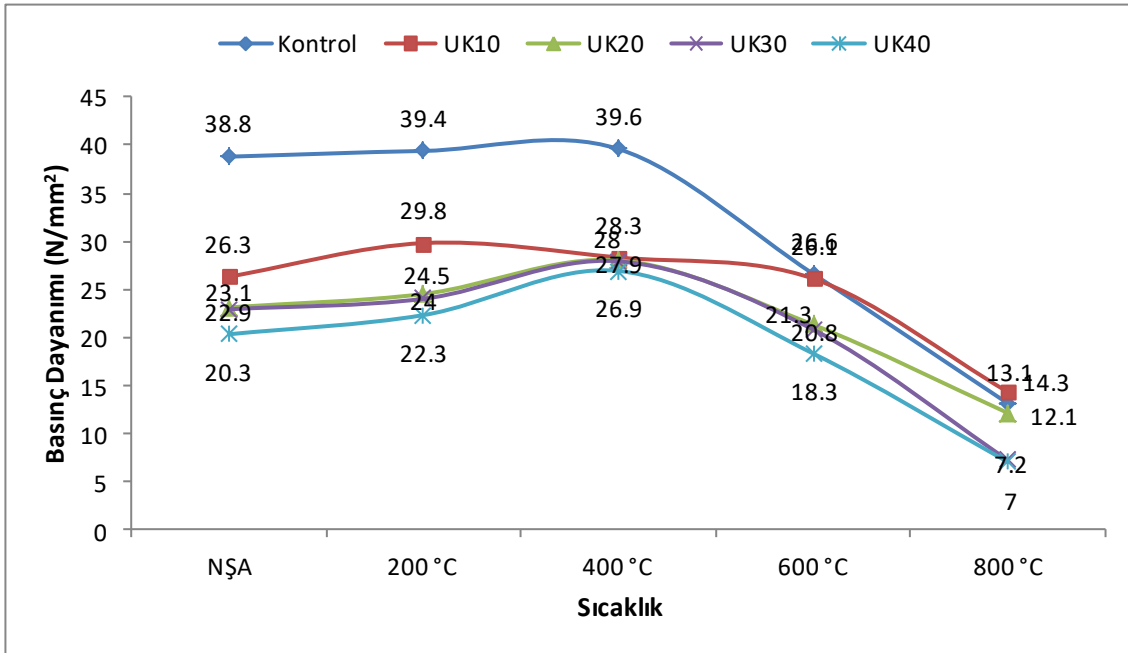
Şekil 4. Diatomit katkıli beton numunelere ait basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4’de diatomit minerali ile üretilen betonların yüksek sıcaklık etkisinde ki davranışı verilmiştir. Burada da kontrol numunesine ait dayanımlar daha yüksektir. Ayrıca diatomit katkıli betonların basınç dayanımları diğer mineral katkıli betonlardan da düşüktür. Yüksek su emme oranı ve düşük PGH değeri bu sonucun habercisi olmuştur. Burada da 400°C den sonra dayanım düşmüş, fakat D10 serisinin 400°C’den sonraki dayanımı kontrol betonundan daha iyi çıkmıştır.

Silis dumanı katkıli betonların artan sıcaklık karşısında dayanımlarında meydana gelen değişim Şekil 5’de verilmiştir. Önceki serilere göre buradaki sonuçlar birbirlerine daha yakın çıkmıştır. SD10 ve SD20 serilerinin dayanım değerleri diğer serilere göre daha yüksektir. Genel itibariyle B10 serisi hariç, silis dumanı katkıli betonların basınç dayanımları, diğer mineral katkıli betonlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu da %20’lere kadar olan silis dumanı katkısının, literatürde olduğu gibi, betona pozitif bir etki yaptığını göstermektedir.



Şekil 5. Silis dumanı katkılı beton numunelere ait basınç dayanımı sonuçları



Şekil 6. Uçucu kül katkılı beton numunelere ait basınç dayanımı sonuçları

Şekil 6'da uçucu kül katkılı betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışı verilmiştir. Uçucu küllü betonların basınç dayanımı da diatomit katkılı betonlarda olduğu gibi normal betona göre bayağı düşük çıkmıştır. Değerler,

diatomit katkılı betonlara yakın değerler olmuştur. Başlangıç değerleri ile son değerler arasında ki fark biraz daha azdır. Uçucu kül katkılı betonlarda en iyi davranış UK10 serisinde

elde edilmiştir. Diğer oranlar için değerler bir birine yakın oluşmuştur.

4. Sonuçlar

Değişik oranlarda ve farklı mineral katkıları kullanılarak elde edilen betonların, bazı fiziksel özelliklerinin ve yüksek sıcaklık etkisi altında basınç dayanımlarının deneysel olarak araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Mineral katkı çeşidine ve kullanılma miktarına göre, su emme oranlarında farklılıklar olmuştur. Bütün serilerde kontrol betonuna göre daha yüksek su emme oranı elde edilmiştir. Seriler kendi içinde değerlendirildiğinde katkı oranının artmasıyla orantılı olarak su emme miktarı da artmıştır. En yüksek su emme oranı diatomit katkıli betonlarda elde edilmiştir. %40 diatomit katkıli betonda bu oran %9.8 iken, kontrol betonunda %4.4 olarak ölçülmüştür.

PGH ölçüm sonuçlarına bakıldığında mineral katkı miktarının artışına bağlı olarak, yayılma hızı değerleri düşmüştür. Yani betondaki boşluk miktarı artmıştır. En iyi değer B10 serisinde elde edilirken, genel olarak silis dumanı katkıli serilerin sonuçları diğerlerine göre daha iyi çıkmıştır.

Artan sıcaklık altında basınç dayanımlarındaki değişimler incelendiğinde, hemen hemen bütün serilerde 400°C'ye kadar dayanımlarda önemli değişiklikler olmamış, hatta bazı serilerde değerler, bu sıcaklığa kadar artmış, daha sonra düşüşler gözlenmiştir. NŞA B10 serisi hariç, diatomit ve uçucu kül katkıli betonların dayanımları normal betona göre oldukça düşük çıkmış, silis dumanı katkıli betonların dayanımı ise normal betona daha yakın ve üzerinde çıkmıştır. Mineral katkı oranlarının artışına bağlı olarak dayanımlar düşmüştür. Sıcaklık artışıyla birlikte barit katkıli betonlarda, bütün oranlar için 400°C'ye kadar dayanımlar azda olsa artmıştır. %10 barit katkıli betonların bütün sıcaklıklardaki dayanımı kontrol betonundan yüksektir. Diatomit ve uçucu kül katkıli betonların, yüksek sıcaklık altındaki davranışı birbirine benzerdir. Yalnız D10 serisinin 400°C'den sonraki dayanımı kontrol betonuna göre daha iyidir. Ayrıca başlangıç ve son sıcaklıktaki dayanımlar arasındaki fark daha azdır. Silis dumanı katkıli betonların dayanımları

birbirine daha yakındır. Genel itibariyle silis dumanı katkıli betonların dayanımları diğer mineral katkılarına göre daha iyidir.

5. Kaynaklar

1. Phan L.T. (1996). Fire performance of high-strength concrete: a report of the state-of-the-art, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD; p.105.
2. Kızılkant A.B. (2008). Yüksek sıcaklık etkisindeki harcın basınç dayanımı-renk değişimi ilişkisi, İMO Teknik Dergi, p.4381-4392.
3. Topçu İ.B. (2006). Demir A., Kiremit kırıklı betonlarda yüksek sıcaklık etkisi. ACE 2006, 7th International Congress in Civil Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, Book of Abstracts, p.456.
4. Houry G.A. (2003). Fire & Assessment, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy.
5. Schrefler B.A. (2003). Gawin D., Houry G.A. and Majorana C.E., Physical, mathematical & numerical modelling, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy.
6. Kalifa P. (2000). Menneteau F.D. and Quenard D., Spalling and pore pressure in hpc at high temperatures, Cement and Concrete Research, **30**, 1915-1927.
7. Chan Y.N., Lou X. and Sun W. (2000). Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature up to 800°C, Cement and Concrete Research, **30**, 247-251.
8. Cilason N. (1992). Beton, STFA yayımları, Yayın no:21, İstanbul.
9. Sancak E., Şimşek O. (2006). Yüksek sıcaklığın silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkıli hafif betona etkileri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, **21(3)**, 443-450.
10. Topçu İ.B., Demir A. (2007). Yüksek sıcaklık uygulama süresinin harç özelliklerine etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi, p. 455-463, İstanbul.
11. Houry G.A. (1992). Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment, Magazine of Concrete Research, **44 (161)**, 291-309.
12. Chan Y.N., Luo X., Sun W., Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature up to 800 C, Cement and Concrete Research, p.247-251, 2000
13. Schneider U., Concrete at high temperatures a-general review, Fire Safety Journal, p.55-68, 2003

14. Gawin D., Pesavento F., Schrefler B.A. (2003). Modelling of hygro-thermal behaviour of concrete at high temperature with thermo-chemical and mechanical material degradation, *Computer Methods In Applied*, p.1731-177.
15. Xiao J., König G. (2004). Study on concrete at high temperature in China—an overview, *Fire Safety Journal*, p.89-103.
16. Sakr K., El-Hakim E. (2005). Effect of high temperature or fire on heavy weight concrete properties, *Cement and Concrete Research*, p.590-596.
17. Husem M. (2006). The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete, *Fire Safety Journal*, p.155-163.
18. Kalifa P., Chene G., Galle C. (2001). High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres: From spalling to microstructure, *Cement and Concrete Research*, p.1487-1499.
19. Xu Y., Wong Y.L., Poon C.S., Anson M. (2001). Impact of high temperature on PFA concrete, *Cement and Concrete Research*, p.1065-1073.
20. Chan S.Y.N., Peng G., Chan J.K.W. (1996). Comparison between high strength concrete and normal strength concrete subjected to high temperature, *Materials and Structures*, p.616-619.
21. Chen B., Liu J. (2004). Residual strength of hybrid-fiber-reinforced high-strength concrete after exposure to high temperatures, *Cement and Concrete Research*, p.1065-1069.
22. Li M., Qian C.X., Sun W. (2004). Mechanical properties of high-strength concrete after fire, *Cement and Concrete Research*, p.1001-1005.
23. Katz A., Berman N. (2000). Modeling the effect of high temperature on the bond of FRP reinforcing bars to concrete, *Cement and Concrete Composites*, p.433-443.
24. Tenchev R. (2005). Purnell P., An application of a damage constitutive model to concrete at high temperature and prediction of spalling, *International Journal of Solids and Structures*, p.6550-6565.
25. Mindeguia J.C. (2010). Pimenta P., Noumowé A., Temperature, pore pressure and mass variation of concrete subjected to high temperature—experimental and numerical discussion on spalling risk, *Cement and Concrete*, p.477-487.
26. Tanyildizi H., Coskun A. (2008). The effect of high temperature on compressive strength and splitting tensile strength of structural lightweight concrete containing fly ash, *Construction and Building Materials*, p.2269-2275.
27. Esen Y. (2010). The effect of cure conditions and temperature changes on the compressive strength of normal and fly ash-added concretes, *International Journal of the Physical Sciences*, p.2598-2604.
28. Phan L.T. (2001). Lawson J.R., Davis F.L., Effects of elevated temperature exposure on heating characteristics, spalling, and residual properties of high performance concrete, *Materials and Structures*, p.83-91.
29. Gawin D., Pesavento F., Schrefler B.A. (2004). Modelling of deformations of high strength concrete at elevated temperatures, *Materials and Structures*, p.218-236.
30. Ehm C., Schneider U. (1985). The high temperature behaviour of concrete under biaxial conditions, *Cement and Concrete Research*, p.27-34.
31. Hossain, K.M.A. (2006). Macro and microstructural investigations on strength and durability of pumice concrete at high temperature, *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, **18(4)** 527-536.
32. Guise S.E., Short N.R., Purkiss J.A. (1996). Colour analysis for assessment of fire damaged concrete, concrete repair, Rehabilitation and Protection, *Proceeding of The International Conference Held at The University of Dundee, Scotland/UK*.
33. Burnaz O., Durmuş A. (2004). Betonarme Yapı Elamanlarının Yangın Başarımları, *Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongresi, Bildiriler Kitabı*, p.100-102.
34. Kurt A. (2012). Betonda yüksek sıcaklık etkisinin mineral katkı çeşitlerine göre değişimi, *Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*.
35. TS 706 EN 12620. (2009). Aggregates for Concrete, *Turkish Standard Institute*.