

AGREGA TÜRÜ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Erçin Gürsel¹, Can Erenson²

Özet

Agregalar, beton iskeletini oluşturan ve beton kalitesini büyük ölçüde etkileyen önemli bir beton bileşenidir. Jeolojik oluşum farklılığından dolayı agregaların mineralojik ve petrografik yapıları değişik formlarda ortaya çıkmaktadır. Bu form çeşitliliği, agregaların mekanik özelliklerini etkilediği gibi kullanıldıkları betonun mekanik özelliklerine de yansımaktadır. Çalışmada, magmatik, sedimanter ve metamorfik kökenli kayalardan elde edilen agregalar kullanılarak C100, C130, C160 dayanım sınıflarında, boyutları 100x200 mm, silindirik yüksek dayanımlı beton (YDB) numuneleri üretilmiştir. Laboratuvarda hazırlanan numunelere uygun koşullarda 28 gün süreyle kür uygulanmış daha sonra ise bu numuneler ultrasonik darbe, schmidt çekici, yarmada çekme ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuçlarda, agreganın mekanik özelliklerinin beton mekanik özelliklerini önemli derecede etkilediği gözlemlenmiştir ve elde edilen deney sonuçları detaylı olarak incelenerek yüksek dayanımlı betonların üretiminde kullanılması gereken agregaların mekanik özellikleri hakkında yorumlamalarda bulunulmuştur.

Effect of the Type and the Mechanical Properties of Aggregate on the Mechanical Characteristics of High-Strength Concrete

Aggregates, which constitute the skeleton of concrete and significantly influence the concrete quality, are an important component of concrete. Because of the geological formation differences, the mineralogical and petrographic structures of the aggregates arise in various forms. This formation variety influences the mechanical properties of aggregates and reflects on the mechanical properties of concrete, where they are used. In this study, the high-strength concrete (HSC) specimens at resistance classes of C100, C130, and C160 in dimensions of 100x200mm were prepared by using aggregates obtained from magmatic, sedimentary, and metamorphic rocks. The cure was applied on the specimens prepared under laboratory conditions for 28 days, and then these specimens were exposed to ultrasonic pulse, Schmidt hammer, splitting tensile strength, and pressure tests. At the end of these tests, it was observed that the mechanical properties of aggregates significantly affected the mechanical properties of concrete. In conclusion, the experiment results were examined in details, the interpretations were made on the mechanical properties of aggregates that should be used in manufacturing the high-strength concretes.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, günden güne artan şehirleşme ve merkezi alanların kullanım ihtiyaçlarından dolayı daha yüksek veya daha geniş kapasiteli yapılara yönelmektedir. Güvenilirlik, ekonomi, verimlilik ve fonksiyonellik hedefleri altında inşa edilen yapıları daha da efektif yöntemlerle geliştirmek her araştırmacının esas gayesidir. Yapı elemanların büyük bölümünü oluşturan beton üretimi ise çeşitli kaynaklarda birçok önemli mühendislik özellikleri vurgulanarak anlatılmıştır. Agregalar beton hacminin yaklaşık olarak %75'ini oluşturmaktadır [1]. İçerisinde bu denli yüksek miktarda agreganın barındıran bir malzemenin mekanik özellikleri üzerinde, agregaların mekanik özelliklerinin etkili olması beklenen bir durum olmakla beraber agregaların mineralojik tane yapısı, kristal sistemleri, özgül ağırlıkları, dilinim ve sertlikleri beton mekanik özelliklerini dayanım, aşınma ve parçalanma özellikleri farklı yönde etkiler.

Agrega dayanımının yüksek olması, beton dayanımında yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır [2]. Ayrıca, agreganın istenen özellikli bir betonun yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmasıdır [3]. Nor-

¹ ercingursel@gmail.com ² Aksaray Üniversitesi, Aksaray

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

mal dayanımlı betonun kırılma davranışını hidrasyona uğramış çimento hamuru tayin etmektedir, çünkü agrega dayanımı çok düşük değilse çimento hamurunun dayanımı agrega dayanımından düşük olacak, kırılma çimento hamurunda veya çimento hamuru ile agrega arasındaki yüzeyde gerçekleşecektir [4], ancak yüksek dayanımlı betonlarda çimento hamuru ve bu hamur ile agrega arasında kalan yüzeyin dayanımı, agreganın dayanımından genelde daha yüksektir. Bu sebeple, kırılma yüzeyi agregayı keserek oluşur. Yani agreganın dayanımı, yüksek dayanımlı betonların davranışını belirleyen ana malzeme olur [5]. Beton Agregaları Standardı'nda belirtilen agrega mekanik özelliklerinin üst sınırlarına dayanarak normal dayanımlı beton üretmek mümkünken, yüksek dayanımlı beton üretmek mümkün değildir. Örneğin; Los Angeles parçalanma değeri L_{50} ve L_{40} olan agrega türleri kullanılarak, basınç dayanımı C100 ve üzeri sınıfı beton üretmek mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada, yüksek dayanımlı betonlarda kullanılması gereken agrega kalitelerine değinilerek sınıflandırma oluşturulmaya çalışılmıştır.

2. DENEY GRUBU VE SİSTEMİN OLUŞTURULMASI

Çalışmamızda hassas sonuçlar elde edebilmek ve agregalar arası dayanım sınıflarına göre kategorizasyon yapmak için birbiri hakkında fikir veren parametrelere dayalı deneyler seçilmiştir. Bu deneyler; ultrasonik darbe, geri sıçrama (Schmidt çekici), yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı testlerinden oluşmaktadır.

Ultrasonik ses iletim hızı, beton için tahribatsız deney türlerinden biri olarak bilinmektedir. Beton numunesine gönderilen ses dalgalarının, iletim hızına göre betonun yoğunluğu, sertliği, porozitesi, bağ kuvveti ve dolayısıyla dayanımı hakkında bilgi vermektedir. Yürütülen bu mantığa bir örnek olarak; kalkerden elde edilmiş bir plaka üzerine, belli yükseklikten bir bilye bırakıldığında plakadan duyulan ses tok, aynı şartlarda granit plaka üzerine bırakılan bilyenin yaptığı ses ise tizdir. Bu farklılığın sebebi, kalkerin mohs skalasına göre sertliğinin $n=3$ iken, granitte $n=6,5$ olmasıdır. Sertlik arttıkça dayanım artar ve ses malzeme üzerinde daha hızlı ilerler. Ses dalgaları her frekansta aynı hıza sahip olsa da sert malzemede ilerleyen sesin frekansı yüksektir ve tınısı tizdir. Malzeme üzerinde ses dalgalarının yüksek frekansta ilerlemelerinin sebebi, malzemenin sahip olduğu yapı taşlarının birbirleri ile etkileşim kuvvetlerinin yüksek değerlerde olmasından kaynaklanmaktadır. Ses iletim hızından yola çıkarak, malzemenin mekanik özellikleri üzerine çıkarımlar yapılabilir. Sesin daha hızlı ilerlediği granit malzemesinin; basınç dayanı-

mı 800-3100 N/mm² iken, kalkerin basınç dayanımı 350-1700 N/mm² arasındadır. Görüldüğü üzere, sadece ses tınısından bile malzemelerin mekanik farklılıkları hakkında kısmen yorum yapılabilmektedir. Bu çalışmada, ultra-sonik darbe testi standardına uygun olarak yapılmıştır [6].

Standartlarda "geri sıçrama" testi olarak bilinen, uygulanmasında "Schmidt çekici" kullanılan deneyin, betonun sertliği ve buna bağlı olarak betonu oluşturan kristallerin bağ kuvvetleri hakkında çok kesin sonuçlar olmasa da bilgi verdiği standartlarda belirtilmiştir [7]. Deney sonucunda elde edilen değerlerin tek başına kullanılması çok hassas değerler ortaya çıkarmasa da, malzeme hakkında diğer deneylerin de getirdiği sonuçlarla birlikte ön yaklaşımda bulunulmasına elverişlidir.

Basınç dayanımı betonun en önemli özelliklerin başında gelmektedir. Yapıların tasarım hesaplarında genellikle kullanılmakta olan dayanım türü, betonun basınç dayanımıdır ancak oldukça gevrek bir malzeme olan betonun çekme kuvvetlerine karşı direnme kabiliyeti çok düşük olduğundan, çekme dayanımının değeri betonun içerisindeki çatlakların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır, fakat beton elemanların üzerlerine gelen basınç ve eğilme kuvvetleri betonun üzerinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Standartlarda, yüksek dayanımlı betonların çekme dayanımıyla ilgili herhangi bir bilgi yer almamaktadır. Beton izotropik bir malzeme olmadığı için basınç-çekme dayanımları arasında tahmin yapmak oldukça zordur. Çalışmamızda, çekme dayanım testine yer verilerek, basınç dayanımı, geri sıçrama miktarı ve ultrases iletim hızı arasında korelatif bir bağlantı kurulmaya çalışılmıştır.

3. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE KARIŞIM BİLEŞENLERİ

Bu bölümde, deney grupları oluşturulurken kullanılan malzemelerin mühendislik parametreleri aşağıda verilen tablolarda ayrıntılı olarak belirtilmiştir ve uygulama ile deney esnasında kullanılan malzemelerin karışım bileşenlerine, oranlarına ve reçetesine değinilmiştir.

3.1. Malzeme Özellikleri

3.1.1. Çimento

Tüm deney gruplarında kullanılan bağlayıcı malzemesi CEM I 52,5R Portland Çimentosu olarak belirlenmiştir. Karışımların içerisine dâhil edilen çimentonun fiziksel ve dayanım özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [8].

Tablo 1: CEM I 52,5R Çimentosunun Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	CEM I 52,5R
Özgül Ağırlık	3,05 (gr/cm ³)
Özgül Yüze (Blaine)	6100 (cm ² /gr)
0,045 mm Elekte Kalıntı	1,3 (%)
0,090 mm Elekte Kalıntı	0,1 (%)
2 Günlük Basınç Dayanımı	32,8 (N/mm ²)
28 Günlük Basınç Dayanımı	59,2 (N/mm ²)

3.1.2. Mineral katkılar**3.1.2.1. Silis dumanı**

Dubai menşeli ASTM C1240 1. sınıf türünde seçilen silis dumanı, deneylerde beton sınıfına göre değişiklik gösteren miktarlarda kullanılmıştır ve silis dumanının kimyasal kompozisyonu Tablo 2'de fiziksel özellikleri ise Tablo 3' te verilmiştir [9].

Tablo 2: Silis Dumanı Kimyasal Analizi

Kimyasal Kompozisyon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Bulunma Değerleri (%)	96,1	0,2	0,6	0,2	0,1	-	0,3

Tablo 3: Silis Dumanı Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Özgül Yüze Alanı (cm ² /gr)	0,045 mm Elekte Kalıntı (%)	7 Günlük Aktivite (%)	28 Günlük Aktivite (%)
Silis Dumanı	2,25	233600	0,58	93	>100

3.1.2.2. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu

Numunelerde silis dumanının yanı sıra bir diğer mineral katkı malzemesi Payas, Hatay menşeli öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. ASTM C989 Standardı'na göre 80 sınıfı türünde olan öğütülmüş yüksek fırın cürufunun mühendislik parametreleri Tablo 4 ve Tablo 5'te belirtilmiştir [10].

Tablo 4: Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu Kimyasal Analizi

Kimyasal Kompozisyon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Bulunma Değerleri (%)	44,1	10,7	-	34,1	6,3	-	0,7

Tablo 5: Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Özgül Yüze Alanı (cm ² /gr)	0,045 mm Elekte Kalıntı (%)	7 Günlük Aktivite (%)	28 Günlük Aktivite (%)
ÖYF Cürufu	2,82	4147	8,7	54	81

3.1.3. Agregalar

Çalışmada kullanılan agregaların türlerinin özgül ağırlığı, yoğunluğu, mohs sertliği, parçalanma direnci ve su emme yüzdesi değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Jeolojik Türlerle Verilmiş Agrega Kodları ve Mühendislik Parametreleri

Fiziksel Özellikler	Jeolojik Tür	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Yoğunluk (kg/m ³)	Sertlik (Mohs)	Parçalanma Direnci	Su Emme (Ağırlıkça) “%”	Basınç Dayanımı (N/mm ²) “f _{100x100} ”
Agrega Kodu					Los A. 500 devir “%”		
A1	Bazalt	2,62	2,56	5	29	2	78
A2	Masif Bazalt	2,91	2,86	6,5	5	0,3	192
A3	Diyabaz	2,98	2,87	6,5	7	0,5	229
A4	Afanitik Granit	2,69	2,64	6,5	12	0,3	132
A5	Kalkerli Dolomit	2,77	2,66	3,5	17	0,5	94
A6	Magnezyumlu Kireçtaşı	2,68	2,65	3	41	1,2	51
A7	Kuvarsit	2,64	2,59	7	13	0,9	138
A8	Mermer	2,73	2,66	3,5	35	0,4	63
A9	Dolomitik Kireç taşı	2,8	2,69	3,5	10	0,3	149
A10	Kireç taşı	2,79	2,66	3,5	13	0,3	128

3.1.4. Kimyasal katkı

Dayanım sınıfı C100 olan numunelerde 8 kg/m³, C130 olan numunelerde 14 kg/m³ ve C160 olan numunelerde 21 kg/m³ polikarboksilat bazlı su azaltıcı plastikleştirici (Aydosnew-Flow 365) türünde yeni nesil süper akışkanlaştırıcı F sınıfı ASTM C494 tipinde kimyasal katkı kullanılmıştır [11].

3.2. Karışım Bileşenleri

Deneylerde üretilecek numunelerin, 130-160 MPa gibi oldukça yüksek dayanımları 28 günlük süre zarfında kazanabilmesi için, standartlarda üst dayanımı sınırlandırılmamış norm dayanımı 525 kg/cm² olan CEM I 52,5R çimentosundan yararlanılmıştır. Erken dayanımlarda çimento yüzey alanının etkili olduğu bilinen bir gerçektir.

Spesifik yüzey alanı 4000 cm²/gr olan deney çimentosuna pulverizasyon işlemi uygulanarak yüzey alanı 6100 cm²/gr seviyesine getirilmiştir. Bu sayede, 28 gün sonunda 160 N/mm² dayanım elde etmek kolaylaştırılmıştır. Yüksek dayanımların elde edilebilmesinin olmazsa olmaz parametrelerinden birisi de düşük (s/b ≤ 0,30) su/bağlayıcı oranıdır. Bu denli düşük s/b oranlarında beton üretmeye sadece yüksek performanslı

su azaltıcı-plastikleştirici kimyasal katkıları olarak sağlamak-tadır. Deneylerimiz için, katı madde içeriği en az %40 ve pH değeri ~7,0 olan yüksek performanslı azaltıcı-plastikleştirici kimyasal katkıdan yararlanılmıştır.

Deneylerde, beton uniformluğunun iyi derecede korunması, geri sıçrama çekicinin ve ultrasonik darbe testinin yanıtıcı sonuçlarını en aza indirmek için karışım granülometri D_{max} değeri “4,0mm” olarak ayarlanmıştır. C-S-H kristalleri, doğada doğal hâlde bulunan tobermorite kristaliyle oldukça benzerlik gösterir ve mohs sertlik değerleri aynıdır (n=2,5), çimento hamuruna vurulan geri sıçrama çekici ile beton içerisindeki agregaya vurulan geri sıçrama değerleri, agregası sertliğine göre yanıtıcı sonuçlar verebilir.

YDB üretimindeki diğer bir püf nokta ise, hidrasyon sonucu oluşan ve bağlayıcılığa katkısı yok denecek kadar az olan hidratik kirecin bağlanarak, bağlayıcılık değeri çok daha yüksek olan kalsiyum-silikat-hidrat kristallerinin oluşmasıdır. Bu durumu sağlamak amacıyla, deney karışımlarımızın içerisine yardımcı bağlayıcı olarak silis dumanı ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu ilave edilmiştir. İçerik tablosu aşağıdaki gibidir;

Tablo 7: Beton Dayanım Sınıflarına Göre Karışım Bileşenleri

Dayanım Sınıfı	Kullanım Miktarları (Kg/m ³)					Su/Bağlayıcı (Eş değer)
	Çimento	ÖYFC	Silis Dumanı	Kimyasal Katkı	Su	
C100	420	50	40	8,0	151	0,29
C130	500	50	50	14,0	144	0,24
C160	560	70	80	21,0	141	0,20

Yukarıda verilen karışım oranları, deneyler öncesi yapılan deneme karışımları sonucunda belirlenmiştir. Dayanım sınıflarına göre 28 gün sonunda alınan sonuçlar, C100, C130 ve C160 için sırasıyla 103,2 MPa, 134,1 MPa ve 159,7 MPa'dır. Bu değerler, her dayanım sınıfı için altışar adet alınan 100x200mm silindirik numune kırılmalarının aritmetik ortalama değerleridir.

Yapılan bir çalışmada araştırmacılar, YDB'ler için küp numune ve silindirik numune farkını ve silindirik numune başlık çeşitlerinin (kükürt, kauçuk, aşındırma) YDB numune kırılmalarında basınç dayanımı üzerindeki performanslarını incelemişlerdir ve araştırma sonucunda YDB'lerde en iyi performansı silindirik numunenin sergilediği ve başlık olarak aşındırma yapılması kanısına varmışlardır [12]. Bu çalışmadan yola çıkarak, uygulanan tüm deneyler boyunca 100x200mm silindirik numune kullanılmasına karar verilmiştir. Numune başlıklarına traşlama uygulanarak, kırılma hazır hâle getirilmiştir. Traşlama sonucunda, standartlarda yer alan hata payları sınırının aşıldığı numuneler kırılmaya dâhil edilmemiştir. Hazırlanan taze beton numunelerinin kıvamına ilişkin çökme yayılması ve T_{500} yayılma zamanı deney sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: Numunelerin Çökme Yayılması ve T_{500} Yayılma Zamanı Deney Sonuçları

Dayanım Sınıfı	Deney Türü	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
C100	Yayılma Çapı (mm)	460	740	730	740	690	660	700	710	730	710
	T_{500} (sn)	*	6,6	6,9	7,4	9,1	10,2	7,4	8,8	8,1	8,2
C130	Yayılma Çapı (mm)	*	660	670	670	640	580	630	630	650	640
	T_{500} (sn)	*	15,0	16,2	16,0	20,4	24,5	19,1	18,1	21,0	19,3
C160	Yayılma Çapı (mm)	*	540	520	530	520	*	500	520	520	520
	T_{500} (sn)	*	28,3	29,1	28,1	32,5	*	31,6	28,6	29,4	31,0

(* Numunelerin koyu kıvamlarından dolayı deney uygun olmadıklarını göstermektedir.)

4. DENEY SONUÇLARI VE ÖNERİLER

Elemanlarda beton kullanımının esas gayesi, yapı kullanım amaçlarına bağlı olarak değişmekle birlikte, genellikle basınç dayanımıdır [13]. Bu çalışmada, hedeflenen beton kalitesine ulaşabilmek için agrega türlerinin mühendislik özellikleri baz alınarak yüksek dayanımlı betonlarda kullanılacak olan agregaların seçimi hususunda bir kılavuz oluşturulmuştur.

Tablo 9: Agregaların Mühendislik Parametrelerinin Numunelerin Basınç ve Yarmada Çekme Dayanımına Etkileri

AGREGA KODU	A1	A2	A3	A4	A5	
KAYAÇ TÜRÜ	Bazalt	Masif Bazalt	Diyabaz	Afanitik Granit	Kalkerli Dolomit	
C100	Schmidt Değeri (n)	55	60	60	62	51
	Ultrasonik Ses Hızı (m/sn)	4867	5146	5171	5158	4903
	Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)	4,8	4,7	4,4	4,9	4,9
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	104,2	107,1	106,9	103,6	104
C130	Schmidt Değeri (n)	61	65	66	64	57
	Ultrasonik Ses Hızı (m/sn)	4939	5255	5261	5258	5056
	Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)	5,8	5,4	5,5	5,2	6,3
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	112	139,2	137,7	132,4	124,3
C160	Schmidt Değeri (n)	61	69	71	70	59
	Ultrasonik Ses Hızı (m/sn)	4967	5410	5435	5391	5189
	Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)	6,4	5,9	6,1	6	6,6
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	116	163,7	166,2	167,2	131,5

Tablo 9: Agregaların Mühendislik Parametrelerinin Numunelerin Basınç ve Yarmada Çekme Dayanımına Etkileri (devam)

AGREGA KODU	A6	A7	A8	A9	A10	
KAYAÇ TÜRÜ	Magnezyalı Kireçtaşı	Kovarit	Mermer	Dolomit Kireçtaşı	Kireçtaşı	
C100	Schmidt Değeri (n)	45	59	50	53	52
	Ultrasonik Ses Hızı (m/sn)	4698	5180	4799	4988	4954
	Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)	5,1	4,1	3,3	4,6	4,6
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	63,8	102,8	81,7	104,4	102,2
C130	Schmidt Değeri (n)	47	65	52	59	58
	Ultrasonik Ses Hızı (m/sn)	4726	5264	4843	5111	5086
	Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)	5,9	5,2	4,1	5,3	5,2
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	66,5	138,6	83,2	137,5	135,2
C160	Schmidt Değeri (n)	47	70	55	61	59
	Ultrasonik Ses Hızı (m/sn)	4739	5352	4855	5243	5204
	Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)	6	5,7	4,4	6	6,1
	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	69	158,5	90	169,2	162,2

Her bir dayanım sınıfı için deneyler sonucunda elde edilen Schmidt çekici, ultrasonik ses hızı, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

İnşaat sahasında elemanlara dökülen betonun basınç dayanımının standartlar doğrultusunda yapılan deneylerin basınç dayanımı değerlerine ulaşması gerçekçi bulunmamaktadır. Bu konuda araştırmacıların ve kurumların yaptığı birçok çalışmada, yapı betonu üzerinde elde edilen değerlerin nadiren projesinde öngörülen değere yaklaştığı tespit edilmiştir. Bu sebeple, beton dayanımı için projesinde öngörülen karakteristik dayanımdan daha yüksek bir dayanım hedef almakta yarar bulunmaktadır [14].

Betonun çok düşük olan çekme dayanımı hesaplarda dikkate alınmadığından, üzerinde durulan en önemli özelliği basınç dayanımıdır [15]. Bundan dolayı, numuneler üzerinde yapılan yorumlar öncelikli olarak basınç dayanımı dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu tespitler aşağıda madde hâlinde verilmektedir:

- Beton basınç dayanımı, agrega basınç dayanımı ile doğru orantılıdır.
- Agregası sertliği, agreganın basınç dayanımı üzerinde yorum yapabilmek için tek başına yeterli değildir ve yanıltıcı sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. A1, A9 ve A10 agregaları buna güzel birer örnek olmakla birlikte magmatik kayalarda sertliğin dışında, özgül ağırlık ve porozite kavramlarının değerlendirilmesi gerekmektedir.
- A2, A3, A4 ve A7 agregaları yapısal olarak parlak yüzeyli minerallerden meydana gelmektedir. C160 sınıfı numune dayanımları incelendiğinde, normal dayanımlı betonlarda geçerlilik sahibi olan parlak yüzey-düşük aderans davranışının yüksek dayanımlı betonlarda tahmin edildiği kadar etkide bulunmadığı gözlemlenmiştir.
- Literatürde, beton çekme dayanımı basınç dayanımı ile bağdaştırılmakta ve oranlanmaktadır, ancak yürütülen çalışmada bu durum YDB'ler için farklı sonuçlar göstermektedir. Örneğin, A6 ile üretilen YDB numunelerinde basınç dayanımı

mı 69,0 MPa değerini geçmezken, yarmada çekme dayanım değeri 6,0 MPa'ı bulmaktadır. Benzer şekilde A1 ile üretilen YDB'de basınç değeri 116,0 MPa, yarmada çekme dayanımı 6,4 MPa'dır. Bu değerler, daha yüksek basınç dayanımı veren A2, A3, A4, A7, A9 ve A10 agregaları ile üretilen YDB'ler ile kıyaslanırsa, normal dayanımlı betonlara ilaveten kullanılan mineral ve kimyasal katkılara bağlı olarak çimento hamurunun çekme mukavemeti ile ilişkili olduğu söylenebilmektedir.

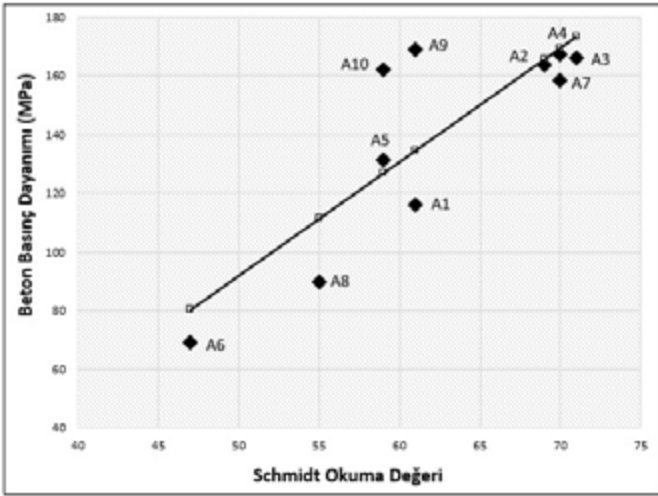
• Agregası sertliği, beton basınç dayanımına göre geri sıçrama (Schmidt çekici) deneyi sonuçlarına daha çok etkide bulunmaktadır. C160 dayanım sınıfında A2, A3 ve A4 agregalarıyla üretilen YDB'lerin Schmidt değerleri sırayla 69, 71 ve 70 iken, yaklaşık olarak aynı basınç dayanımlarına sahip A9 ve A10 agregalarıyla üretilen YDB'lerin Schmidt değerleri sırasıyla 61 ve 59'dur. Bu sebeple, Schmidt çekici deneyi YDB'ler üzerinde yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir (Bkz. Tablo 10 (a) Schmidt

Okuma Değeri-Beton Basınç Dayanımı regresyon analizi).

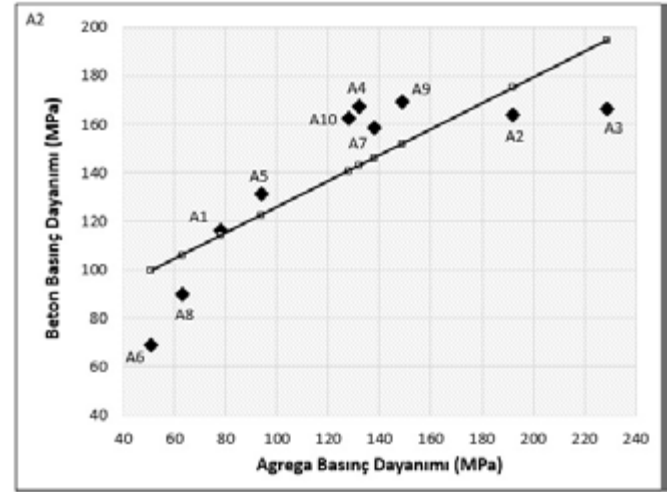
• Ultrasonik ses hızı testinde alınan sonuç agregası sertliği ile doğrudan ilişkilidir. A9 ve A10 agregaları ile üretilen YDB'lerden alınan basınç dayanım değerleri A2, A3, A4, A7 ile alınan sonuçlara oldukça yakın iken, ultrasonik darbe değerlerinde yaklaşık 200 m/sn fark vardır. Bu sebeple, ultrasonik ses hızı tayini, YDB'ler için kullanıldığında sonuçların iyi irdelenerek değerlendirilmesi gerekmektedir (Bkz. Tablo 10 (d) Agregası sertliği-Ultrasonik Ses Hızı regresyon analizi).

Yapılan tüm deneyler arasında en yüksek değerleri veren ve dayanım sınıfları C160 olan numuneler için beton basınç dayanımına doğrudan etkide bulunan agregası sertliği ve bu sertlik ile ilişkili Geri Sıçrama Testleri ile Ultrasonik Ses Hızı Deneyleri üzerinde regresyon analizleri yapılmıştır ve grafikler Tablo 10'da sunulmuştur.

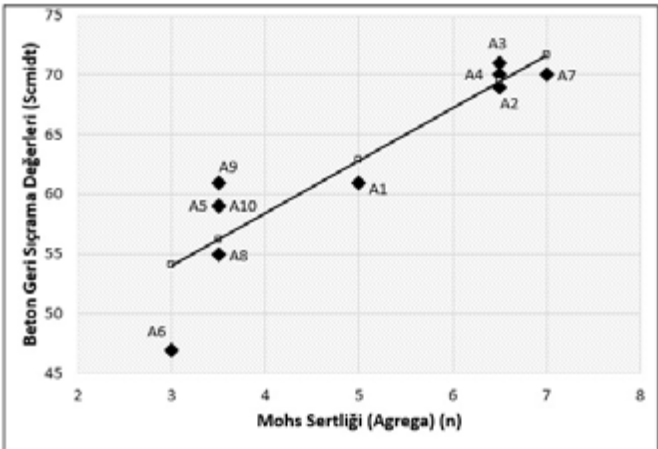
Tablo 10: Regresyon Analizleri a) Beton Basınç Dayanımı - Geri Sıçrama Testi b) Agregası Basınç Dayanımı -Beton Basınç Dayanımı c) Agregası Sertliği - Geri Sıçrama Testi d) Agregası Sertliği - Ultrasonik Darbe Testi



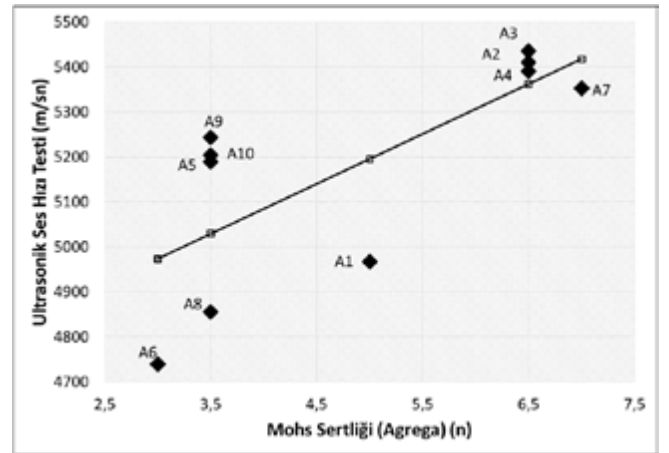
(A)



(B)



(C)



(D)

5. TEŞEKKÜR

Çalışma süresince desteklerini esirgemeyen herkese ve Aksaray Ortaköy, Hasandağı mevki, Ankara Ayaş, Gölbaşı, Güvercinlik mevki, Bursa Orhanlı mevki, Nevşehir Tuzköy mevki, Amasya Suluova mevkisindeki tüm ocaklara teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

1. Turhan, E. Y., "Beton". Ankara Syf, 183, 2003.
2. Yalçın, H., ve Gürü, M., "Çimento ve Beton", Palme Yayıncılık., 2006.
3. Çağlayan, M., Haberveren, S., İpekoğlu, B., ve Kurşun, İ., "Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Örnek Bir Kuruluş: İSTON", 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 1999.
4. Fırat, F.K., ve Ağca, R., "Yüksek Dayanımlı Betonda Kalite Denetimi". Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, (1), 75-89, 2004.
5. Mertol H., "Normal ve Yüksek Dayanımlı Beton Kullanılan Tasarımların Karşılaştırılması", 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi Bildirileri, 2010.
6. TS EN 12504-4: Beton Deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini.
7. TS EN 12504-2 : Yapılarda Beton Deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız Muayene - Geri Sıçrama Sayısının Belirlenmesi.
8. TS EN 197-1-12: Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri.
9. TS EN 13263 - 1 +A1: Silis Dumanı - Betonda Kullanılan - Bölüm 1: Tarifler, Gereker ve Uygunluk Kriterleri.
10. TS EN 15167 - 1 : Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu - Beton, Harç ve Şerbette Kullanım için - Bölüm 1: Tarifler, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri.
11. TS EN 934 - 2 : Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet için- Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme.
12. Mutlu, M. ve Öztekin, M. G. E., "Pompalanabilir C 100/115 Sınıfı Beton Tasarımı".
13. Çakıroğlu, M. A., Terzi, S., Kasap, S., & Çakıroğlu, M. G., "Beton Basınç Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmin Edilmesi". Electronic Journal of Construction Technologies, 6(2), 1-8, 2010.
14. Doğangün, A., "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı: DBYBHY-2007 TS500-2000 ve Deprem Yönetmeliği-2007 'ye Uygun". Birsan Yayınevi, 2008.
15. Ersoy, U., ve Özcebe, G., "Betonarme: Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Türkiye Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap", Evrim Yayınevi, 2001.