

KİREÇTAŞI KÖKENLİ AGREGA İLE ÜRETİLMİŞ BETONLARDA AGREGA KONSANTRASYONUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Adil Orçun KAYA (adilorcunkaya@hotmail.com)

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Hasan YILDIRIM (yildirimhasan63@hotmail.com)

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Beton, ikisi de gevrek malzeme olan çimento hamuru ve agregadan oluşmasına karşın beton yarı gevrek bir malzemedir. Bunun nedeni çimento esaslı matriste dış yüklerden bağımsız olarak oluşan mikroçatlaklardır. Mevcut mikroçatlaklar, gerilme oranı arttıkça artar ve yavaş çatlak yayılması oluşur. Süreksizlik sınırına varıldığında mikroçatlakların önemli ölçüde artmasıyla birlikte poisson oranında belirli bir artış olmaya başlar. Harç içerisinde ilerleyen çatlaklar birleşerek çözülme sınırında sürekli bir çatlak ağı oluşumuna neden olur. Bu çalışmada 3 farklı su/çimento oranında betonlar üretilmiş ve her bir oran için %0, %20, %40, %60 ve %70 konsantrasyonlarında kireçtaşı kökenli agregalar kullanılmıştır. Farklı agrega konsantrasyonunun betonun basınç dayanımı, elastisite modülü, Poisson oranı, süreksizlik ve çözülme sınırları, kırılma şekil değiştirme işi, eğilmede ve yarmada çekme dayanımları ve su emme özellikleri üzerinde etkisi incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Beton, Agregası konsantrasyonu, Kireçtaşı, Mekanik özellikler, İnelastik davranış, Süreksizlik sınırı, Çözülme sınırı.

EFFECTS OF AGGREGATE VOLUME FRACTION TO MECHANICAL PROPERTIES OF LIMESTONE-ORIGIN AGGREGATE USED CONCRETE

Adil Orçun KAYA (adilorcunkaya@hotmail.com)

Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Istanbul, Turkey

Hasan YILDIRIM (yildirimhasan63@hotmail.com)

Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

Cement paste and aggregate, which are main components of concrete, are brittle materials. However, concrete is a semi-brittle material. Reason of this is microcracks in cement based matrix, which are independent from external loads. Microcracks increase with stress level and slow crack propagation occurs. Due to increase on microcracks, Poisson ratio increase significantly at discontinuity limit. After the discontinuity limit, microcracks continues propagate and they form a continuous crack pattern at loosening limit. In this work, concrete mixtures were produced with 0,30-0,40-0,50 W/C ratio and limestone origin aggregate was used as fine and coarse aggregate with 0%, 20%, 40%, 60% and 70% aggregate volume fraction. Effects of aggregate volume fraction on compression strength, modulus of elasticity, Poisson's ratio, discontinuity and loosening limits, fracture-displacement work, flexural and splitting tensile strengths and water absorption properties of concrete with different water/cement ratio values were examined.

Keywords: *Concrete, Aggregate volume fraction, Limestone, Mechanical properties, Inelastic behavior, Discontinuity limit, Loosening limit.*

1. GİRİŞ

Beton yarı gevrek bir malzemedir ve düşük gerilme seviyelerinde gerilme-şekil değiştirme oranı arasındaki lineer ilişki doğrusal olmayan bir ilişkiye döner. Bunun nedeni sadece malzemenin kompozit davranışından kaynaklanmaz; çimento bazlı matrislerde herhangi bir dış yük uygulaması olmadan oluşan mikroçatlaklar ve boşluklardır. Bu çatlaklar ayrışma ve kumadan, ısı farklılıklardan dolayı oluşabilir. Bu çatlakların çoğu agrega-çimento hamuru ara yüzünde yoğunlaşan bağ çatlaklarıdır. Bu çatlaklar tek eksenli basınç altında oluşan gerilme yığılmaları nedeniyle büyümeye başlar. Süreksizlik sınırına varıldığında mikroçatlakların önemli ölçüde artmasıyla, bu gerilmeye kadar neredeyse sabit olan poisson oranında belirgin bir artış olmaya başlar. Süreksizlik sınırından sonra da artmaya devam eden mikroçatlaklar, çözülme sınırına ulaşıldığında beton içerisinde önemli ölçüde gelişerek sürekli ağ oluşturur ve bu seviyeye kadar sürekli azalan beton hacmi artmaya başlar. Bu sınırdan sonra betonun yük taşıması çatlak yüzeyleri arasındaki sürtünme ile sağlanır [1-6].

Betonun basınç altındaki inelastik davranışı ve bu davranışın nedeninin mikroçatlak ve boşlukların yayılımı olduğu ortak görüş olsa da bu inelastik davranış içerisindeki limitler için farklı araştırmacılar tarafından farklı değerler belirlenmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda süreksizlik sınırı çoğunlukla %50-70 olmak üzere %30-90 arasında, çözülme sınırı ise %70-95 bağıl gerilme seviyelerinde değiştiği görülmüştür [3, 5-17].

Özellikle çimento hamuru, betonun basınç altındaki inelastik davranışı üzerinde önemli etkiye sahiptir [12]. Bununla birlikte agreganın özellikleri de betonun kırılma mekaniği üzerinde büyük etkiye sahiptir [18]. Betona basınç yükü uygulandığında çatlak ilerlemesi agrega-çimento hamuru arasındaki bağ çatlaklarından başladığı için agreganın; boyut dağılımı, şekil, yüzey dokusu gibi özellikleri ve beton karışımı içerisindeki hacim konsantrasyonu gibi özellikleri betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini inelastik davranışını etkiler. Chen ve Liu [18], Taşdemir ve Karihaloo [19], Sarısu [20] kireçtaşı ile yaptıkları çalışmalarda agrega konsantrasyonu arttıkça basınç dayanımının önce hızlı bir biçimde düştüğü, sonrasında ise sabit kaldığı, yarmada çekme dayanımı,

elastisite modülü, gerilme şiddeti çarpanını ve kırılma enerjisinin arttığı sonuçlarını varmıştır.

Bu çalışmada, %0, %20, %40, %60 ve %70 konsantrasyonlarında kireçtaşı kökenli agregalar kullanılarak üretilen beton karışımları üzerinde agrega hacim konsantrasyonunun betonun basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı, süreksizlik ve çözülme sınırları, kırılma şekil değiştirme işi ve eğilmede ve yarmada çekme dayanımları üzerinde etkisi incelenmiştir. Bu konuda başka araştırmacılar tarafından yapılan diğer çalışmalara ilave olarak çalışmalarda hamur yapısının ve agrega konsantrasyonun etkilerini birlikte değerlendirmek için karışımlar 0,30-0,40-0,50 olmak üzere 3 farklı su/çimento oranı ile üretilmiştir. Ancak yüksek ayrışma nedeniyle %20 agrega konsantrasyonu için 0,50 su/çimento oranında üretim yapılmamıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzemeler

Bu çalışma için üretilen numunelerin tümünde, bağlayıcı olarak CEM I 42.5 Portland çimentosu, agrega olarak beton üretiminde çok yaygın olarak kullanılan siyah kireçtaşı kullanılmıştır. Agreganın elek analizleri ve özgül ağırlıkları Çizelge 1’de verilmiştir. Beton karışımlarının bazılarında yeterli işlenebilirliği sağlayabilmek için çimento dozajının ağırlıkça %2’sini geçmeyecek şekilde yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan katkı miktarına, karışımın işlenebilirliğine göre karar verilmiş olup kullanılan katkı miktarı karışım suyundan çıkartılmıştır.

Çizelge 1: Agregaların elek analizleri ve özgül ağırlıkları

Agrega Boyutu	Elekten Geçen %								İncelik Modülü	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
	Elek Açıklığı (mm)									
	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5		
Kırmakum	11	18	35	51	84	100	100	100	3,01	2,715
Kırmataş 1	0	0	0	0	3	64	100	100	5,33	2,760
Kırmataş 2	0	0	0	0	0	0	36	100	6,64	2,770
Karışım	6	9	17	26	43	66	84	100	4,50	-

2.2. Karışım Oranları ve Deney Numuneleri

Beton karışım oranları Çizelge 2’de verilmiştir. Beton karışım kodlarında; ilk başta 20A, 40A, 60A ve 70A kodlarıyla betonun agregası konsantrasyonu, ardından 30, 40 ve 50 sayıları ile su/çimento yüzdeleri gösterilmiştir. Agregası içermeyen hamur karışımları ise R harfi ile ifade edilmiş olup bu harf ardından beton karışımı ile aynı şekilde su/çimento oranı gösterilmiştir. Örneğin; 60A40, %60 agregası konsantrasyonuna ve 0,40 su/çimento oranına sahip beton karışımını, R50 ise 0,50 su/çimento oranına sahip hamur karışımını temsil etmektedir. Beton birleşiminin belirlenmesinde mutlak hacim yöntemi kullanılmış olup betonun toplam hacminden agregası ve hava hacimleri çıkartıldıktan sonra seçilen su/çimento oranları kullanılarak karışımların çimento, su ve akışkanlaştırıcı katkı miktarları belirlenmiştir. Bu nedenle aynı agregası konsantrasyonu için su/çimento oranındaki artış ile birlikte çimento miktarı azalmış, su miktarı ise artmıştır.

Çizelge 2: Beton karışım oranları

Karışım	Karışım Oranı (kg/m ³)						Birim Ağırlık kg/m ³
	Çimento	Su	Katkı	Kırmaçum	Kırmaçtaş 1	Kırmaçtaş 2	
R30	1587	476	-	-	-	-	2063
20A30	1263	379	-	272	138	139	2193
40A30	940	273	9,40	543	276	277	2319
60A30	616	173	12,32	815	414	416	2445
70A30	454	127	9,08	950	483	485	2508
R40	1366	546	-	-	-	-	1912
20A40	1087	43	-	272	138	139	2070

0		5					
40A4	808	32	-	543	276	277	2228
0		3					
60A4	530	20	10,6	815	414	416	2386
0		2					
70A4	391	14	7,82	950	483	485	2465
0		8					
R50	1199	59	-	-	-	-	1798
		9					
40A5	343	16	6,86	543	276	277	2160
0		5					
60A5	465	22	4,65	815	414	416	2342
0		8					
70A5	343	16	6,86	950	483	485	2432
0		5					

Beton üretimleri düşey eksenli cebri karıştırılmalı betoniyerde yapılmış olup her karışımdan 9 adet silindir (15 cm çap ve 30 cm yükseklik) ve 4 adet prizma (10x10x50 cm) numune alınmıştır. 24 saat süresince kalıpta bekletilen numuneler daha sonra 28. gün sonuna kadar 20 ± 2 °C sıcaklığındaki kirece doymun su içerisinde kürlenmiştir.

2.3.Yapılan Deneyler

Basınç dayanımı ve inelastik davranış

Harç başlık yapılmış en az 3 silindir numune üzerinde yatay ve düşey şekil değiştirmeleri ölçmek için birer çerçeve yerleştirilerek basınç deneyi uygulanmıştır. ASTM C469 [21] standardına göre yapılan ölçümler ile %40 bağıl gerilme seviyesindeki elastisite modülü ve poisson oranı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca poisson oranının artış eğilimine başladığı nokta süreksizlik sınırı, azalma eğiliminde olan numune hacminin artmaya başladığı nokta ise çözülme sınırı olarak kaydedilmiştir.

Eğilmede ve yarmada çekme dayanımı

Prizma numuneler üzerinde 40 cm mesnet açıklığında 3 noktalı eğilme deneyi yapılarak eğilmede çekme dayanımı elde edilmiştir. Eğilme deneyi yapılan numunelerden, kırılma olan veya çatlak

oluşan bölgeler dışından 10 cm kenarlı küp numuneler kesilmiş ve bu numuneler arasından seçilen 3'er numune üzerinde yarma deneyi yapılarak yarmada çekme dayanımı belirlenmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1. Basınç Deneyi Sonuçları

Silindir numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi sonucunda belirlenen ortalama basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı ve süreksizlik ve çözülme sınırlarındaki gerilme ve bağıl gerilme değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3: Basınç deneyi sonuçları

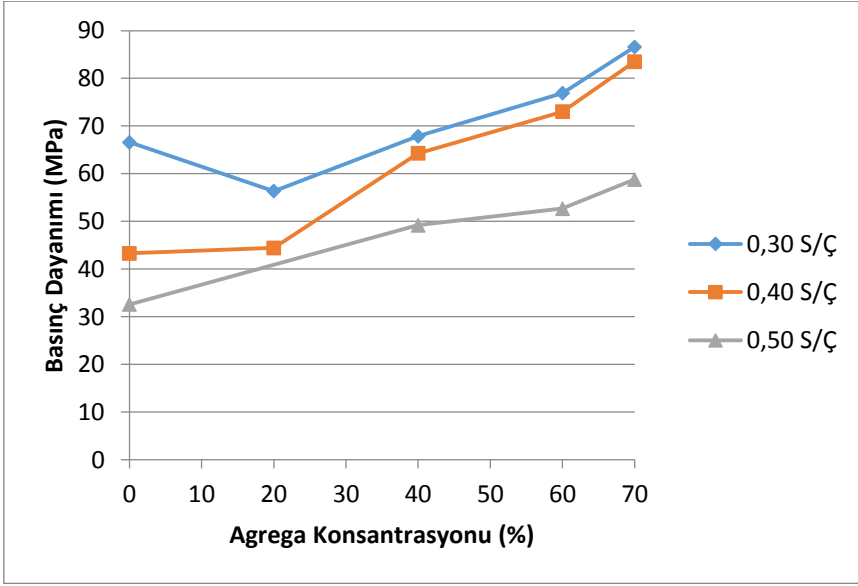
Karışım	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Poisson Oranı	Süreksizlik Sınırı		Çözülme Sınırı	
				Gerilme (N/mm ²)	Bağıl Gerilme (%)	Gerilme (N/mm ²)	Bağıl Gerilme (%)
R30	66,6	22020	0,219	55,3	83	55,3	83
20A30	56,3	27570	0,226	45,0	80	47,1	84
40A30	67,9	31380	0,215	51,3	76	63,8	94
60A30	76,9	39750	0,224	61,1	79	74,2	96
70A30	86,6	41610	0,202	71,0	82	76,1	88
R40	43,3	16110	0,213	33,2	77	33,2	77
20A40	44,4	18440	0,206	30,5	69	35,7	80
40A40	64,3	30960	0,229	40,3	63	51,2	80
60A40	73,0	36030	0,228	48,5	66	63,2	87
70A40	83,5	42890	0,240	58,0	69	70,7	85
R50	32,6	11990	0,181	20,9	64	20,9	64
40A50	49,2	27380	0,208	28,1	57	40,7	83
60A50	52,7	34630	0,235	35,3	67	45,7	87
70A50	58,8	39310	0,228	46,3	79	53,6	91

Basınç Dayanımı

Çizelge 3'teki deney sonuçları ve Şekil 1'de verilen agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı grafiği, daha fazla çimento, daha az su içeren hamura sahip düşük su/çimento (S/Ç) oranlı beton karışımlarının basınç dayanımının daha yüksek olduğunu, düşük

su/çimento oranı arttıkça dayanımın düştüğünü göstermiştir. 0,30 ve 0,40 S/Ç oranlarındaki karışımların basınç dayanımları arasındaki fark agrega konsantrasyonu ile birlikte azalırken 0,50 S/Ç oranına sahip karışımların dayanımı zayıf hamur yapısı nedeniyle diğer iki karışıma oranla yaklaşık %30 daha az çıkmıştır. Daha düşük hamur dayanımına rağmen 0,40 S/Ç oranına sahip karışımların basınç dayanımlarının %40 agrega konsantrasyonundan sonra 0,30 S/Ç oranındaki karışımların dayanımlarına çok yakın olmasının nedeninin daha yüksek işlenebilirlik ve hamura kıyasla daha yüksek basınç dayanımına sahip agreganın beton hacmindeki oranının artarak basınç dayanımı üzerinde hamurdan daha etkili hale gelmesi olduğu düşünülmektedir.

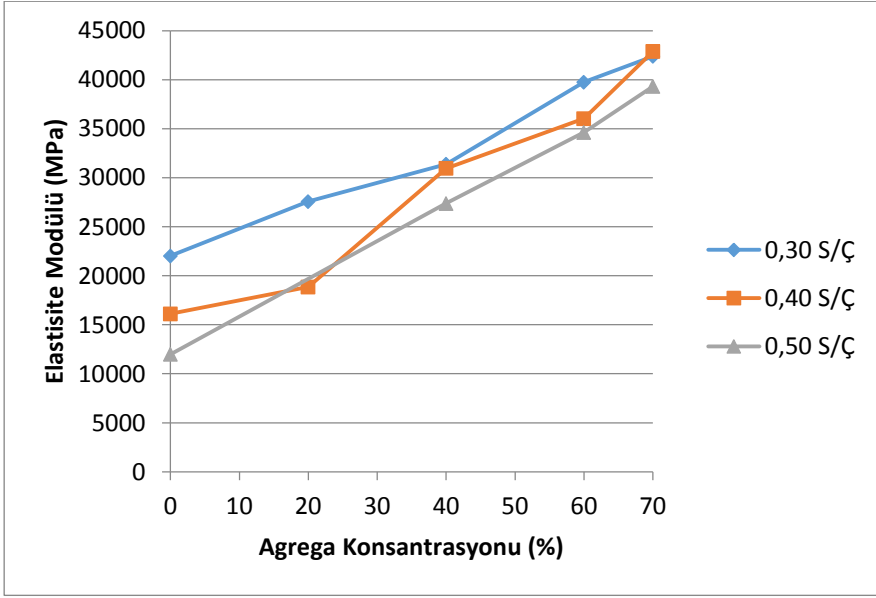
Bunun yanında sonuçlar, 0,30 S/Ç oranındaki hamura agrega eklendiğinde başlangıçta dayanımın düştüğünü göstermiş, %40 agrega konsantrasyonunda aradaki farkın kapandığını ve bu konsantrasyon oranından sonra basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki bu artış eğiliminin nedeni, basınç dayanımı yüksek hamurun içerisine az miktarda eklene agreganın kusur etkisi yaratması ve agrega hacmi arttıkça agregaların beton içerisinde iskelet oluşturması nedeniyle dayanımın üzerinde etkin bileşen haline gelmesi olarak yorumlanabilir. 0,30 S/Ç oranına göre, 0,40 ve 0,50 S/Ç oranındaki hamurların basınç dayanımı daha düşük olduğu için basınç dayanımı yüksek olan agreganın konsantrasyonunun artması bu karışımların basınç dayanımı daha yüksek oranda artırmıştır.



Şekil 1. Agrega konsantrasyonu-basınç dayanımı ilişkisi

Elastisite Modülü

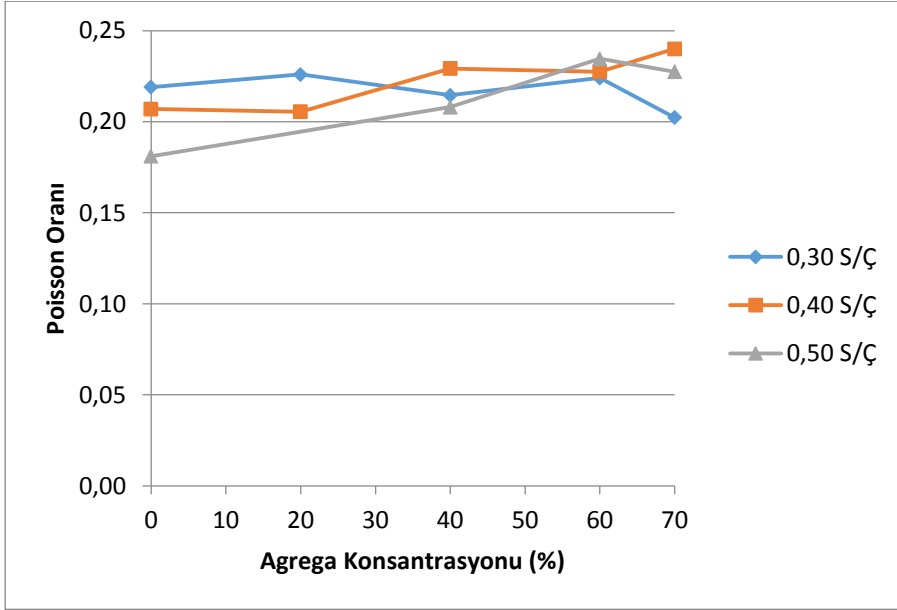
Çizelge 3’te verilen elastisite modülü değerleri ve Şekil 2’de gösterilen agrega konsantrasyonu-elastisite modülü eğrileri elastisite modülünün agrega konsantrasyonu ile birlikte doğrusala yakın şekilde arttığını ve agrega konsantrasyonu arttıkça hamurun etkisi azaldığından farklı S/Ç oranındaki karışımların elastisite modülleri arasındaki farkın azaldığını göstermektedir.



Şekil 2. Agrega konsantrasyonu-elastisite modülü ilişkisi

Poisson Oranı

Karışımların %40 bağıl gerilme seviyesindeki ortalama poisson oranlarının gösterildiği Çizelge 3 ve agregat konsantrasyonu-poisson oranı grafiklerinin verildiği Şekil 3'te poissonun genellikle 0,21-0,23 arasında olduğu görülmektedir. 0,30 S/Ç oranında %60 konsantrasyona kadar poisson oranında belirgin bir değişim olmamasına karşın %70 konsantrasyonda belirgin bir düşüş olmuştur. Bunun agreganın yüksek konsantrasyondan dolayı sürekli bir iskelet oluşturması ve hamurunda diğer karışımlara göre daha yüksek dayanımda olması nedenleriyle yatay deformasyonun zorlaşmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. 0,50 S/Ç oranındaki hamur karışımındaki poisson oranının diğer hamurlara göre daha düşük olmasının nedeni ise yüksek su çimento oranı nedeniyle daha çok boşluk içeren hamurun, yük altında içerisindeki boşlukların ezilmesi nedeniyle düşey şekil değiştirmenin yüksek olmasıdır. %60 konsantrasyona kadar agregat konsantrasyonunun artması ile birlikte hamur hacmi azalmış ve bununla birlikte poisson oranı artmıştır.



Şekil 3. Agrega konsantrasyonu-poisson oranı ilişkisi

Süreksizlik ve Çözülme Sınırları

Çizelge 3'te verilerden poisson oranının belirgin şekilde artmaya başladığı süreksizlik sınırındaki gerilme ve bağıl gerilme değerleri ile numune hacminin artmaya başladığı çözülme sınırındaki gerilme ve bağıl gerilme değerlerinin hamurlar için aynı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni numune içerisinde çatlakların çevresini saracağı agrega olmaması nedeniyle, çatlakların sürekli ağ oluşturduğu çözülme sınırına kadar poisson oranının değişiminde belirgin bir artış olmamasıdır.

Çizelge 3'te, süreksizlik ve çözülme sınırındaki basınç gerilmesi değişiminin basınç dayanımları ile benzer eğilimde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bu sınırlardaki bağıl basınç gerilmelerine bakıldığında ise süreksizlik sınırındaki bağıl gerilme oranının %40 konsantrasyona kadar düştüğü ardından artmaya başladığı çözülme sınırındaki bağıl gerilme oranının ise genel olarak agrega konsantrasyonu ile birlikte arttığı 70A30 karışımında ise 60A30 karışımına göre bir miktar düştüğü görülmektedir.

Ayrıca sonuçlara süreksizlik sınırındaki bağıl gerilme oranı, S/Ç oranıyla değişen hamur yapısına bağlı olarak %50-85 seviyelerinde, çözülme sınırındaki bağıl gerilme oranı ise daha çok

agrega konsantrasyonuna bağlı olarak %80-95 seviyelerinde olduğunu göstermektedir.

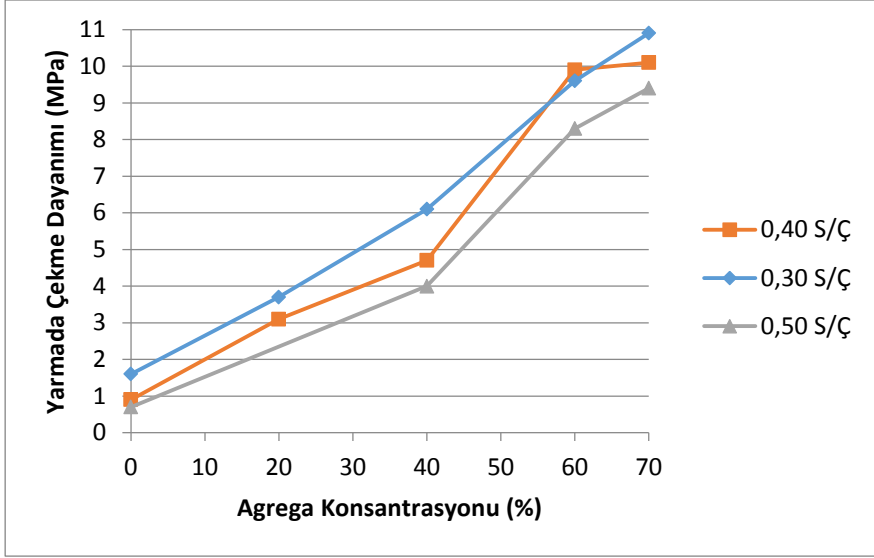
3.2.Eğilme ve Yarma Deneyi Sonuçları

Eğilme ve yarma deneylerinin sonuçları izelge 4'te verilmiş, eğilmede ve yarmada çekme dayanımlarının agrega konsantrasyonuna bağlı değişimleri ise Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir. Bu sonuç ve grafikler eğilmede ve yarmada çekme dayanımlarının hem hamur yapısına hem de agrega konsantrasyonuna bağlı olduğunu ancak agrega konsantrasyonunun bu özellikler üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir. Eğilmede ve yarmada çekme dayanımları agrega konsantrasyonu ile birlikte artmakta olup S/ azalması ile birlikte hamur yapısının iyileşmesi nedeniyle çekme dayanımları bir miktar artmaktadır.

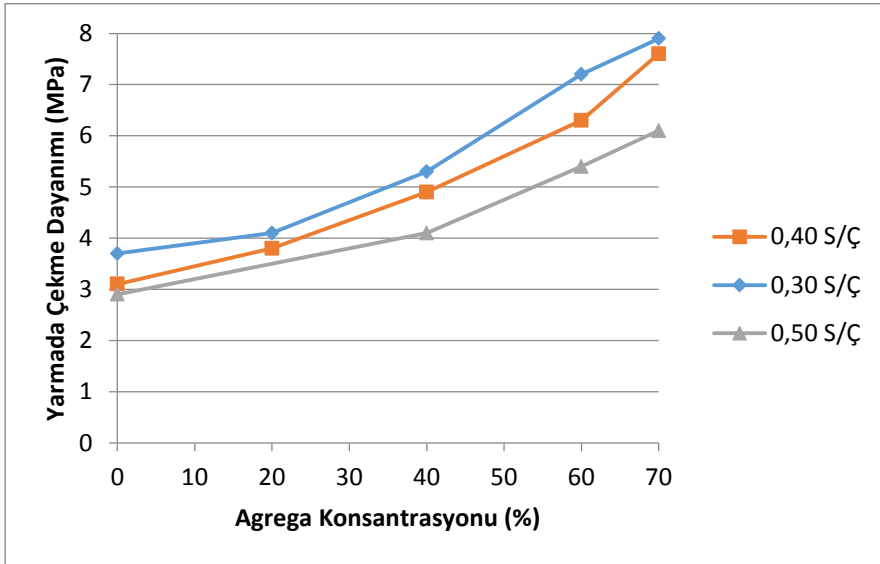
Çizelge 4: Eğilme ve yarma deneyi sonuçları

Karışım	Eğilmede ekme Dayanımı (N/mm ²)	Yarmada ekme Dayanımı (N/mm ²)
R30	1,6	3,7
20A30	3,7	4,1
40A30	6,1	5,3
60A30	9,6	7,2
70A30	10,9	7,9
R40	0,9	3,1
20A40	3,1	3,8
40A40	4,7	4,9
60A40	9,9	6,3
70A40	10,1	7,6
R50	0,7	2,9

40A50	4,0	4,1
60A50	8,3	5,4
70A50	9,4	6,1



Şekil 4. Agrega konsantrasyonu-eğilmelerde çekme dayanımı ilişkisi



Şekil 5. Agrega konsantrasyonu-yarmada çekme dayanımı ilişkisi

4. SONUÇ

1. Basınç dayanımı yüksek olan hamurun içerisine düşük konsantrasyonda agregaya eklendiğinde kusur etkisi yaratması nedeniyle dayanımın düşmesine karşın daha zayıf olan S/Ç oranı yüksek karışımlarda zayıf olan hamura kıyasla dayanımı daha yüksek olan agregaya kusur etkisi yaratmamış ve dayanım agregaya konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır.
2. Düşük S/Ç oranında hamurun dayanımı fazla olmasına karşın yüksek agregaya konsantrasyonlarında düşük S/Ç oranından kaynaklanan işlenebilirlik kaybı nedeniyle düşük ve normal S/Ç oranlarındaki karışımların yüksek agregaya konsantrasyonundaki dayanımları birbirine yakındır. Bununla birlikte yüksek S/Ç oranı, bağlayıcı faz olan hamurun dayanımının düşük olması nedeniyle basınç dayanımı üzerinde etkin bir rol oynamakta ve daha düşük basınç dayanımı elde edilmektedir.
3. Agregaya konsantrasyonu arttıkça elastisite modülü doğrusala yakın şekilde artmakta ve aynı agregaya konsantrasyonunda farklı su S/Ç oranına sahip karışımların elastisite modülleri arasındaki fark azalmaktadır.
4. Kireçtaşı agregaya kullanılan betonlarda poisson oranı genellikle 0,21-0,23 arasındadır. Ancak %70 agregaya konsantrasyonu ve 0,30 S/Ç oranında, agreganın yüksek oranından kaynaklanan sürekliliği ve birleştirici faz olan hamurun yüksek dayanımından dolayı yatay deformasyonun kısıtlanması nedeniyle poisson oranı 0,20 seviyesine düşmektedir.
5. Agregaya konsantrasyonuna bağlı olarak süreksizlik ve çözülme sınırlarındaki gerilme miktarındaki değişim basınç dayanımındaki ile benzerdir.
6. Süreksizlik sınırındaki bağıl gerilme oranı %40 agregaya konsantrasyonuna kadar düşmekte, ardından artmaktadır. Süreksizlik sınırındaki bağıl gerilme oranı S/Ç oranına ve dolayısıyla hamur yapısına bağlı olarak %50-85 seviyelerindedir.
7. Çözülme sınırındaki bağıl gerilme oranının ise genel olarak agregaya konsantrasyonu ile birlikte artmaktadır. Çözülme sınırındaki bağıl gerilme oranı agregaya konsantrasyonu daha baskın olmak üzere konsantrasyon ve hamur yapısına bağlı olarak %80-95 seviyelerindedir.

8. Eğilmede ve yarmada çekme dayanımları agrega konsantrasyonu ile birlikte artmakta olup S/Ç azaldıkça, hamur yapısı iyileşme nedeniyle çekme dayanımları bir miktar artmaktadır. Agrega konsantrasyonu, hamur yapısına göre bu özellikler üzerinde daha etkilidir.
9. Sonuçların diğer araştırmacıların çalışmalarına göre farklılık göstermesinin nedeni hamurun betonun özellikleri üzerindeki etkisidir. Agrega betonun özellikleri üzerinde tek belirleyici bileşen olmayıp, hamur yapısı da beton özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Akkaya, Y., Bayramov, F., ve Taşdemir, M.A., Betonun Kırılma Mekanizması Tasarımında Kullanılan Mekanik Özellikler İle Kırılma Parametreleri Arasındaki Bağlılıklar, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 426 - 2003/4, 70-75, 2003.
- [2] Akyüz, S., “Boşluk Oranı ve Geometrisinin Betonun Basınç Dayanımına Etkisi ve Yüksek Dayanımlı Betonda Boşluk Yapısı”, 2. Ulusal Beton Kongresi, 53-66, İstanbul, 1991.
- [3] Neville, A. M. and Brooks, J. J., Concrete Technology, Second Edition, Harlow, England ; New York : Prentice Hall, 2010.
- [4] Young, J. F., Concrete, Englewood Cliffs, N.J., USA : Prentice-Hall, 1981
- [5] Oktar, O. N., Moral, H. ve Akyüz, S., Beton ve Harçların Basınç Altındaki Kısa Süreli Davranışında Çimento Hamuru Yapısı ve Agrega Granülometrisinin Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Teknik Rapor, No 44, 1984.
- [6] Keat, L. B., Fracture of Concrete, Master of Science Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1967.
- [7] Santiago, S. D. and Hilsdorf H. K., Fracture Mechanism Of Concrete Under Compressive Loads, Cement and Concrete Research, 3, 363-388, 1973.
- [8] Slate, O. F. And Meyers, L. B., Deformation of Plain Concrete, Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968.
- [9] Johnston, C. D., Strength and Deformation of Concrete in Uniaxial Tension and Compression, Magazine of Concrete Research, 22, No: 70, 1970.

- [10] Bache, H. H. and Christensen, P. N., Observations on Strength and Fracture in Lightweight and Ordinary Concrete, Proc. and International Conference on the Structure of Concrete and its Behaviour Under Load, 1965.
- [11] Tanigawa, L. and Yamada, K., Size Effect in Compressive Strength of Concrete, Cement and Concrete Research, 8, 1978.
- [12] Hansen, T. C., Theories of the Multi-Phase Materials Applied to Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, Proceedings of an International Conference, London, 1965.
- [13] Oktar, O. N., Bağlayıcı Hamurun Yapısının Betonun Kısa Süreli İnelastik Davranışındaki İşlevi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1977.
- [14] Brandzaeg, A., Failure of a Material Composed of Non-Isotropic Elements, Bruns, 1927.
- [15] Jones, R., A Method of Studying the formation of cracks in a material subjected to stresses, British Journal of Applied Physics, London, 3, No.7, 229-232, 1952.
- [16] L'Hermite, R., Idées Actuelles sur la Technologie du Béton, Documentation Technique du Batiment et des Travaux Publics, Paris, 1955.
- [17] Swamy, R. N. and Rao, C. V. S. K., Fracture Mechanism In Concrete Systems Under Uniaxial Loading, Cement and Concrete Research, 3, 413-427, 1973.
- [18] Chen, B. and Liu., J., Effect Of Aggregate On The Fracture Behavior Of High Strength Concrete Bing Chen, Construction and Building Materials, 18, 585-590, 2004.
- [19] Taşdemir, M. A. and Karihaloo, B. L., Effect of Type and Volume Fraction of Aggregate on the Fracture Properties of Concrete, Fracture Mechanics of Concrete Structures, 123-129, 2001.
- [20] Sarısu, A. F., Betonun Mod I Durumundaki Göçmesine Agregat Konsantrasyonunun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1996.
- [21] ASTM C469/C469 M- 14 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression