



**Makale
(Article)**

Agrega Granülometrisinin Beton Bileşimindeki Teorik Malzeme Miktarları ile Betonun Kompasite ve Porozite Değerleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Selçuk USTA*

*Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, 65080 Van/TÜRKİYE
susta@yyu.edu.tr

Özet

Ülkemizde inşaat sektöründe en çok tercih edilen yapı sistemi, beton ve yapı çeliğinin birlikte kullandığı betonarme yapı sistemidir. Yapı çeliği fabrikalarda üretildiğinden dolayı, çoğunlukla yeterli çekme mukavemeti özelliklerini sağlamaktadır. Beton ise şantiye koşullarında üretilmektedir. Bileşimindeki malzemelerin türü ve özellikleri, iklim koşulları, üretiminde kullanılan teknoloji ve işçilerin bilgi donanımına göre özellikleri farklılıklar göstermektedir. Betonun özelliklerini en çok etkileyen bileşeni hacminin % 60-70'ini oluşturan agregadır. Betonun fiziksel yapısı ne kadar yoğun olursa kompasitesi ve basınç mukavemeti de aynı oranda yüksek olmaktadır. Betonun bileşimindeki malzemelerin miktarlarını, kompasitesini ve porozitesini belirleyen temel unsur, taşıyıcı iskeletini oluşturan agreganın granülometrik özellikleridir. Standartlar doğrultusunda yapılan karışım hesapları ile agreganın taneleri arasındaki boşluk miktarı yani porozite minimum düzeye indirilerek, maksimum kompasiteye sahip beton elde edilebilmektedir. Taneler arasındaki boşluk miktarı azaldıkça, çimento miktarı ve çimentoyu hamur haline getiren su miktarı azalmaktadır. Bu çalışmada, agreganın granülometrisinin beton bileşimindeki malzeme miktarları ile betonun kompasite ve porozite değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Agreganın, beton, granülometri, kompasite, porozite

Investigating Effect of the Aggregate Granulometry on Theoretical Material Quantities in Composition of a Concrete and Also on Compactness and Porosity Values of the Concrete

Abstract

Most frequently preferred construction system in our nation is the reinforced concrete construction system in which concrete and construction steel are used together. Because the construction steel is manufactured in factories, it generally provides the required tensile strength specifications. However, concrete is produced under construction site conditions. Types and features of the ingredients vary depending on climatic conditions, technology in the use and knowledge level of labors. The ingredient, which has the most significant effect on features of a concrete, is aggregate accounting for 60-70% of its volume. The more physical structure of a concrete is dense, the higher its compactness and pressure strength are. The basic factor determining quantities of the ingredients in a concrete's composition, and its compactness and porosity is granulometric features of the aggregate creating its carrying framework. Quantity of gaps between grains of an aggregate, in other words porosity, may be minimized by making mixture calculations according to the standards to produce a concrete having maximum compactness. As the quantity of gaps between grains decreases, quantity of cement and quantity of water used in making cement paste decrease. The object of this study is to determine effect of the aggregate granulometry on theoretical material quantities in a concrete composition and also on compactness and porosity values of the concrete.

Keywords: Aggregate, concrete, granulometry, compactness, porosity

Bu makaleye atıf yapmak için

Usta, S., "Agrega Granülometrisinin Beton Bileşimindeki Teorik Malzeme Miktarları ile Betonun Kompasite ve Porozite Değerleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi" *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2012, 8(1) 1-15

How to cite this article

Usta, S., " Investigating Effect of the Aggregate Granulometry on Theoretical Material Quantities in Composition of a Concrete and Also on Compactness and Porosity Values of the Concrete" *Electronic Journal of Construction Technologies*, 2012, 8 (1) 1-15

1. GİRİŐ

Beton; agrega, imento, su ve gerektiğinde betona bazı ekstra özellikler kazandırmak amacıyla kullanılan katkı maddelerinin en uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik özellik gösteren ve kolayca işlenebilen, kalıba yerleştirildikten sonra birleşimindeki çimentonun su ile hidratasyonu sonucu priz yaparak mukavemet kazanan, homojen, izotrop ve kompozit bir yapı malzemesidir. Beton; bileşimindeki malzemelerin doğada bol miktarlarda bulunması ve bu malzemelerin kolay ve ucuz olarak temin edilebilmeleri, üretiminin kolay olması ve gelişmiş teknoloji kullanımına fazla ihtiyaç duyulmaması, kolayca işlenerek istenilen Őeklin verilebilmesi, sertleştikten sonra mukavemetinin yüksek olması, ahşap ve elik yapı malzemelerine oranla daha ekonomik ve dış etkilere karşı daha dayanıklı olmasından dolayı ülkemizde inşaat sektöründe en çok tercih edilen ve kullanılan yapı malzemesidir.

Sertleşmiş beton hacminin % 60-70'ini agrega hacmi, geriye kalan % 30'unu ise imento hamuru ve hava boşluğu hacmi oluşturmaktadır. Agregaların tek başına bir bağlayıcılık özelliği yoktur. Beton bünyesinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Agrega tanelerini bir arada tutabilmek için bağlayıcı malzeme olarak imento kullanılmaktadır. Çimento hamurunun mukavemeti betonun mukavemetinden daha yüksektir. Fakat betonun sadece imento hamuru ile üretilmesi ekonomik olmamaktadır. Dolayısıyla imento hamuruna dolgu malzemesi olarak agrega ilave edilmektedir. Agreganın imentodan daha kolay temin edilebilmesi ve daha ucuz olması, atmosfer etkilerine, çeşitli kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı çimentodan çok daha fazla dayanıklı olması, ayrıca çimentonun prizi sırasında meydana gelen Őiřme ve rötre gibi hacimsel hareketlerin agregada görülmemesi kullanımını zorunlu kılmaktadır [1]. Agregaların çeşitli özellikleri betonun işlenebilirliğini, mukavemetini ve geirimsizliğini önemli ölçüde etkilemektedir. İstenilen kalite de bir beton elde edebilmek için, beton üretiminde kullanılacak agregaların tane birim hacim ağırlığı (zgl ağırlık), doluluk oranı (Kompasite), boşluk oranı (Porozite), tane dağılımı (Granulometri), aşınma dayanımı vb. zelliklerinin çok iyi incelenerek tespit edilmesi gereklidir [2].

Agregaların tane dağılımları elek analizi deneyi ile belirlenmektedir. Elek analizi deneyi sonuçlarına göre ağırlıklı tane çapı 4 mm'den kk agregalar ince taneli agrega, 4 mm'den büyük agregalar ise iri taneli agrega olarak adlandırılmaktadır. Agregalar doğal olarak temin edilebildikleri gibi, sert kaya ve taş parçalarının konkasör adı verilen taş kırma makineleri ile kırılması sonucunda da elde edilebilmektedirler. Doğal olarak elde edilen agregaların ince taneli olanına kum, iri taneli olanına ise çakıl adı verilmektedir. Yapay olarak elde edilen agregalara mıcır adı verilmektedir. Mıcırın ince taneli olanına kırma kum, iri taneli olanına ise kırma taş adı verilmektedir. Doğal olarak elde edilen agregaların kompasitesi ortalama % 65, yapay olarak elde edilen agregaların kompasitesi ise ortalama % 60 düzeyindedir [1].

Beton retiminde kullanılan karışım agregaları biri iri taneli diğeri ise ince taneli olmak üzere, tane dağılımları farklı en az iki agreganın standartlara uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilmektedir. Agregalar betonun taşıyıcı iskeletini oluşturduklarından dolayı oldukça emlidirler. Beton retiminde kullanılan agreganın tane dağılımının düzgün olması beton karışım hesapları ve kaliteli beton için bir zorunluluktur. Karışım agregası hem standartlarda belirtilen sınırlara uygun olmalı hem de mevcut iri ve ince agregalar ile elde edilebilecek en iyi derecelenmeyi temsil etmelidir. Bu sınırlandırmanın amacı öncelikle maksimum kompasiteye sahip karışım agregası granulometrisini elde etmek, daha sonra bu karışım agregası ile ekonomik ve nitelikli bir beton üretmektir. Karışım agregasının granulometrisi betonun işlenebilirliğini, geirimsizliğini ve basınç mukavemetini etkileyen en önemli faktördür [3].

Birim hacmi dolduran belli bir miktardaki agreganın, sadece kuru tanelerinin ağırlığı tane birim hacim ağırlık veya özgül ağırlık olarak tanımlanmaktadır. Agregaların zgl ağırlık değerleri kendilerini oluşturan kayaçların mineral içerikleri ile ilgilidir. İçerisinde ağır mineral içerikli kayaç bulunduran agregaların özgül ağırlıkları yüksektir. Özgül ağırlık agreganın kalitesini belirleyen bir ölçüt değildir. Fakat betonun basınç ve çekme mukavemeti değerleri ile yakından ilişkilidir. Betonda ideal kompasitenin sağlanabilmesi için agrega özgül ağırlıklarının 2,55 kg/dm³ değerinden kk olmaması gereklidir [4, 5].

Betonun basınç mukavemetini etkileyen en önemli agrega özelliği kompasitedir. Betonun kompasitesinde meydana gelen % 5, % 10 ve % 20 oranındaki azalmalar ile beton basınç mukavemetinde % 30, % 60 ve % 80 oranında azalma meydana gelmektedir. Standartlara uygun bir betonun kompasite değeri ortalama % 80 düzeyinde olmalıdır [1]. Sıkıştırılmış veya sıkıştırılmamış belli bir miktardaki agreganın kapladığı hacim içerisinde sadece agrega tanelerinin doldurduğu hacim kompasite, agrega taneleri arasında kalan boşlukların toplam hacmi ise porozite olarak ifade edilmektedir. Kompasite ve porozite değerleri agreganın granülometrisine göre değişmektedir. Agrega tane çapı küçüldükçe birim hacmi dolduran tane sayısı ve dolayısıyla bu taneler arasındaki boşluk hacmi de aynı oranda artmaktadır. Başka bir ifadeyle agrega tane çapı küçüldükçe porozite artmakta, kompasite ise azalmaktadır. Agrega tane çapı büyüdükçe birim hacmi dolduran tane sayısı ve dolayısıyla bu taneler arasındaki boşluk hacmi azalmaktadır. Başka bir ifadeyle agrega tane çapı büyüdükçe porozite azalmakta, kompasite ise artmaktadır. Beton üretiminde kullanılan agreganın boşluk oranı ne kadar yüksek olursa, bu boşlukları doldurması gereken imento miktarı da o kadar artmaktadır. Beton üretiminde kullanılan agreganın kompasitesi ne kadar yüksek olursa, bu agrega ile üretilen betonun kompasiteside o kadar yüksek olmaktadır [6].

Beton bileşimindeki iri taneli agregaların yüzey şekli ve yüzey alanı büyüklüğu betonun özellikle mukavemeti üzerinde etkili olmaktadır. Köşeli ve yüzeyi pürüzlü kırma taş türü agregalar, yuvarlak taneli çakıl türü agregalara oranla imento hamuru ile daha kuvvetli bir bağ oluşturmaktadırlar. Ayrıca agrega yüzeyinin gözenekli olması durumunda bu bağ imento taneleri tarafından daha da güçlendirilmektedir. Kırma taş türü agreganın pürüzlü yüzey alanının büyük olması, imento hamurunun temas yüzeyinin de aynı oranda geniş olmasını sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı kırma taş türü agregalar ile üretilen betonların basınç dayanımları çakıl türü agregalar ile üretilen betonlardan daha yüksek olmaktadır. Kırma taş türü agregaların yüzey şekillerinin küp veya küre biçimine yakın olması, beton için elverişli bir durum oluşturmaktadır. Bu şekilde agrega taneleri beton içinde daha iyi yerleşerek, daha az boşluklu bir beton meydana gelmesini sağlarlar [7]. Kırma taş ve çakıl türünden beş farklı iri taneli agrega kullanılarak agrega türünün beton mukavemeti üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada, çakıl içeren betonların en düşük basınç dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise çakılın yüzey yapısı ve şeklinin imento hamuru ile mekanik kenetlenmeye yeterince müsait olmaması gösterilmiştir [8].

Marmara depreminde orta ve ağır hasar görmüş binalardan alınan beton örnekleri üzerinde yapılan bir araştırmada genel olarak sürekli granülometriye uyulmadığı, en büyük agrega boyutunun 8 mm ya da bunun biraz üzerinde olduğu görülmüştür. Aynı araştırmada denenen beş ayrı yapıya ait betonlardan dört tanesinde kum sınırı olarak kabul edilen 4 mm açıklığındaki elekten geçen malzeme miktarının % 65'in üzerinde, bazılarında ise % 91'e varan değerlerde olduğu saptanmıştır [9]. Bu şekilde ince agrega oranı yüksek karışım agregaları ile üretilen betonların boşluk oranı ve dolayısıyla su gereksinimi aşırı derecede yükselmektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak da su/imento oranı artmakta, ince agrega tanelerini sarmak ve aralarındaki boşlukları doldurmak için daha çok çimentoya gerek duyulmaktadır. Depremler sırasında saptanan düşük beton dayanımların nedeni malzemenin betondan çok, düşük kaliteli bir harç olduğu gerçeğidir. Böyle bir malzeme taşıyıcı olmadığı gibi dış etkilere karşı da dayanıklı değildir. Betonun boşluk oranı ve dolayısıyla geçirimsizliği çok yüksek olduğu için donatıyı da koruyamamaktadır.

Bu çalışmada beton üretiminde kullanılan karışım agregasının granülometrisinde meydana gelen değişimlerin beton bileşimindeki teorik malzeme miktarları ile betonun kompasite ve porozite değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda örnek olarak seçilen farklı granülometrik özelliklere sahip iki agrega ile standartlara uygun olarak üretilebilecek en ideal karışım agregası ve bu karışım agregası ile üretilebilecek BS 20 betonu için gerekli teorik malzeme miktarları belirlenmiştir. Daha sonra örnek olarak seçilen agregaların, standartlar dikkate alınmadan yani karışım hesapları yapılmadan rastgele belirlenen oranlarda karıştırılması sonucunda elde edilen karışım agregalarının incelik modülü, özgül ağırlık, kompasite ve porozite değerlerinde granülometriye bağlı olarak meydana gelen değişimler tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu karışım agregaları ile üretilebilecek BS 20 betonları için gerekli teorik malzeme miktarları belirlenerek, karışım agregasının granülometrisine göre malzeme miktarlarında meydana gelen değişimler belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın materyalini, tablo 1 ve tablo 2’de granulometrik özellikleri verilen A₁ ve A₂ agregaları oluşturmuştur. A₁ agregası iri taneli A₂ agregası ise ince taneli agregadır olup, Van ili merkezinde hazır beton sektöründe faaliyet gösteren Doğu Beton firmasından temin edilen mıcır türü agregalardır. Beton karışımı hesaplarında PÇ 325 çimentosu kullanılacağı öngörülmüştür. Çimentonun 28 günlük basınç mukavemeti 32,5 N/mm² olarak alınmıştır [10-11]. A₁ ve A₂ agregalarının tane dağılımını belirlemek amacıyla her iki agregadan TS 707 standardına göre yeterli miktarlarda numuneler alınarak, etüvde 105°C sıcaklıkta kurutulmuşlardır. Daha sonra TS 706, TS 3814 ve TS 3530 standartlarına göre elek analizi deneyleri yapılarak tablo 1 ve tablo 2’de verilen tane dağılımları elde edilmiştir [12-13-14-15].

Tablo 1. İri taneli agregası (A₁) granulometri deneyi sonuçları

Elek açıklığı (mm)	Elekte kalan (gr)	Yığılımlı kalan (gr)	Yığılımlı geçen (gr)	Geçen (%)
32	0	0	3140	100
16	942	942	2198	70
8	716	1658	1482	47,20
4	894	2552	588	18,73
2	523	3075	65	2,07
1	26	3101	39	1,24
0,50	10	3111	29	0,92
0,25	6	3117	23	0,73
Toplama kabı	23	3140		

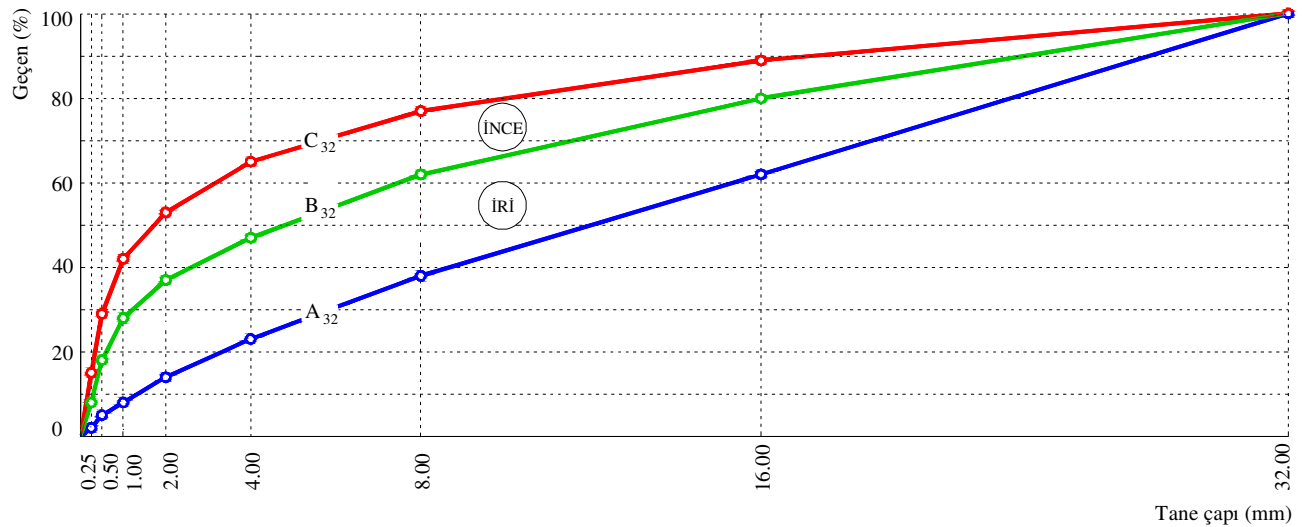
Tablo 2. İnce taneli agregası (A₂) granulometri deneyi sonuçları

Elek açıklığı (mm)	Elekte kalan (gr)	Yığılımlı kalan (gr)	Yığılımlı geçen (gr)	Geçen (%)
32	0	0	2552	100
16	0	0	2552	100
8	0	0	2552	100
4	243	243	2309	90,47
2	862	1105	1447	56,70
1	569	1674	878	34,40
0,50	344	2018	534	20,92
0,25	304	2322	230	9,03
Toplama kabı	230	2552		

A₁ ve A₂ agregaları ile PÇ 325 çimentosundan alınan numuneler üzerinde TS 24, TS 3526 ve TS 3529 standartları doğrultusunda gerekli deneyler ve analizler yapılarak tane birim hacim ağırlığı, porozite ve kompasite değerleri belirlenmiştir [5-11-16]. Agregaların granulometrisi, birim hacim ağırlıkları, boşluk ve doluluk oranları belirlendikten sonra en ideal karışım agregasını elde etmeye yönelik agregası karışım hesapları yapılmıştır. İdeal karışım agregası, porozite ve kompasite değerleri optimum düzeylerde olan agregası olarak tanımlanır. Tablo 3’de verilen A₃₂, B₃₂ ve C₃₂ standart granulometri değerleri dikkate alınarak A₁ ve A₂ agregaları ile üretilebilecek en ideal karışım agregasının oranları belirlenmiştir. Elde edilen karışım agregasının granulometri eğrisinin şekil 1’de verilen A₃₂ ve C₃₂ standart granulometri eğrileri arasında kalması sağlanmıştır [12-13-14-15-17].

Tablo 3. A₃₂, B₃₂ ve C₃₂ standart granulometri değerleri [12-13-14-15-17]

Elek açıklığı (mm)	32	16	8	4	2	1	0,50	0,25
Geçen (%)	A ₃₂	100	62	38	23	14	8	5
	B ₃₂	100	80	62	47	37	28	18
	C ₃₂	100	89	77	65	53	42	29
Kalan (%)	A ₃₂	0	38	62	77	86	92	95
	B ₃₂	0	20	38	53	63	72	82
	C ₃₂	0	11	23	35	47	58	71



Şekil 1. A₃₂, B₃₂ ve C₃₂ standart granülometri eğrileri [12-13-14-15-17]

İdeal agrega karışım oranlarının belirlenmesinde incelik modülü (I) yöntemi kullanılmıştır. A₁ ve A₂ agregaları ile A₃₂ ve C₃₂ standart granülometri değerleri için eşitlik (1) kullanılarak incelik modülü değerleri belirlenmiştir. Elde edilmek istenen ideal karışım agregasının incelik modülü (I_{Karışım}) eşitlik (2) ile hesaplanmıştır. A₁ ve A₂ agregalarının karışım oranları ise, (3) ve (4) numaralı eşitliklerden elde edilen denklemlerin ortak çözümü ile tespit edilmiştir. Karışım agregasının granülometrisinin uygunluğu A₃₂ ve C₃₂ standart granülometri değerleri ile karşılaştırılarak kontrol edilmiştir.

$$I = \frac{\sum(100 - \% \text{ Elekten geçen})}{100} \quad I = \frac{\sum(\% \text{ Elekte kalan})}{100} \quad (1)$$

$$I_{\text{Karışım}} = \frac{I_{A_{32}} + I_{C_{32}}}{2} \quad (2)$$

$$A_1 + A_2 = \% 100 \quad A_1 + A_2 = 1 \quad (3)$$

$$(I_{A_1} \cdot A_1) + (I_{A_2} \cdot A_2) = I_{\text{Karışım}} \quad (4)$$

A₁ ve A₂ agregaları ile üretilebilecek en ideal karışım agregasının oranları belirlendikten sonra, kıyaslama yapmak amacıyla örnek olarak seçilen BS 20 betonu için gerekli olan teorik malzeme miktarları tespit edilmiştir [18]. İlk olarak 1 m³ beton karışımı için gerekli olan su miktarı hacim cinsinden eşitlik (5) ile belirlenmiştir. Suyun birim hacim ağırlığı 1 kg/dm³ olduğundan, dm³ cinsinden hacmi kg cinsinden ağırlığına eşit alınmıştır. Eşitlikteki α, agrega cinsi ve üretilmesi hedeflenen betonun kıvamına göre belirlenen bir katsayı olup, değerleri tablo 4'de verilmiştir. Hesaplamalarda plastik kıvamlı beton ve mıcır için α katsayısı 37 alınmıştır.

$$V_{\text{su}} = (10 - I_{\text{Karışım}}) \cdot \alpha \quad (5)$$

Tablo 4. Agregası cinsi ve beton kıvamına bağlı olarak α katsayısının aldığı değerler [18]

Beton kıvamı	Dere kumu ve çakıl	Dere kumu ve mıcır	Deniz kumu ve mıcır
Kuru	28-30	33	37
Plastik	31-33	37	40
Akıcı	36-40	43	47

Beton karışımı hesaplarında iki farklı beton dayanımı ifadesi ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan birincisi proje dayanımı olarak da adlandırılan karakteristik basınç dayanımı ifadesidir. BS 20 betonu için karakteristik basınç dayanımı 20 N/mm² olarak dikkate alınmaktadır. İkincisi ise hedef basınç dayanımı ifadesidir. Üretim aşaması sırasında betonda basınç dayanımı kaybına neden olabilecek tüm olumsuzluklar dikkate alınarak, karışım hesapları aşamasında betonun proje dayanımı bir miktar arttırılmaktadır. Karışım hesaplarında proje dayanımının arttırılması ile elde edilen hedef basınç dayanımı kullanılmaktadır. Proje dayanımında yapılan arttırma miktarları tablo 5’de verilmiştir. Eşitlik (6) ile belirlenen hedef dayanımı dikkate alınarak, 1 m³ beton karışımı için gerekli olan çimento miktarı ağırlık cinsinden (7) numaralı eşitlikte verilen Graf formülü ile belirlenmiştir. Hacim cinsinden çimento miktarı ise eşitlik (8) ile belirlenmiştir. Beton karışımı hesaplarında PÇ 325 çimentosunun tane birim hacim ağırlığı 3,10 kg/dm³, 28 günlük basınç mukavemeti 32,5 N/mm², BS 20 betonunun proje dayanımında yapılan arttırma miktarı 6 N/mm² ve Graf formülündeki Graf katsayısı (K_G) ise 5 alınmıştır.

Tablo 5. Betonun karakteristik basınç dayanımında yapılan arttırma miktarları [18]

Beton sınıfı	Δf (N/mm ²)
BS 14 - BS 16	4
BS 20 - BS 25 - BS 30	6
> BS 30	8

$$f_c = f_{ck} + \Delta f \quad (6)$$

$$f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} \left(\frac{W_{\text{Çimento}}}{W_{\text{Su}}} \right)^2 \quad f_{ck} + \Delta f = \frac{f_{cc}}{K_G} \left(\frac{W_{\text{Çimento}}}{W_{\text{Su}}} \right)^2 \quad (7)$$

$$\gamma_{\text{Çimento}} = \frac{W_{\text{Çimento}}}{V_{\text{Çimento}}} \quad (8)$$

Beton bileşimindeki su ve çimento miktarları tespit edildikten sonra, (9) numaralı eşitlik ile 1 m³ beton karışımı için gerekli olan toplam agrega miktarı hacim cinsinden tespit edilmiştir. Daha sonra iri taneli (A₁) ve ince taneli (A₂) agregaların ideal karışım agregası içerisindeki oranları dikkate alınarak hacimleri belirlenmiştir. Agreganın ağırlıklarının belirlenmesinde ise eşitlik (10) kullanılmıştır. Beton bünyesindeki teorik hava miktarı, 1000 dm³ beton hacminin %1’i ya da hacim cinsinden ifadeyle 10 dm³ olarak alınmıştır. BS 20 betonu için 1m³ taze beton bileşimini oluşturan agrega, çimento, su ve hava miktarları belirlendikten sonra, (11) ve (12) numaralı eşitlikler ile betonun teorik kompozite ve porozite değerleri tespit edilmiştir. Betonun teorik birim hacim ağırlığının belirlenmesinde ise eşitlik (13) kullanılmıştır.

$$V_{\text{Beton}} = V_{\text{Çimento}} + V_{\text{Su}} + V_{\text{Agrega}} + V_{\text{Hava}} \quad V_{\text{Beton}} = 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 \quad (9)$$

$$\gamma_{\text{Agrega}} = \frac{W_{\text{Agrega}}}{V_{\text{Agrega}}} \quad (10)$$

$$K = \frac{V_{\text{Agrega}} + V_{\text{Çimento}}}{V_{\text{Beton}}} \quad (11)$$

$$P = \frac{V_{\text{Su}} + V_{\text{Hava}}}{V_{\text{Beton}}} \quad (12)$$

$$\gamma_{\text{Beton}} = \frac{W_{\text{Agrega}} + W_{\text{Çimento}} + W_{\text{Su}}}{V_{\text{Beton}}} \quad (13)$$

Eşitliklerde;

- f_c, f_{ck} : Betonun hedef basınc dayanımı ve karakteristik basınc dayanımı (N/mm²)
 Δf : Betonun karakteristik basınc dayanımında yapılan arttırma miktarı (N/mm²)
 f_{cc} : Çimento 28 günlük basınc mukavemeti (N/mm²)
 K_G : Graf katsayısı (4-10 arasında değerler alır)
 $W_{Çimento}, W_{Su}, W_{Agrega}$: Ağırlık cinsinden 1m³ beton bileşimindeki çimento, su ve agrega miktarları (kg)
 $V_{Çimento}, V_{Su}, V_{Agrega}$: Hacim cinsinden 1m³ beton bileşimindeki çimento, su ve agrega miktarları (dm³)
 V_{Hava} : 1m³ beton bileşimindeki hacim cinsinden hava miktarı(dm³)
 $\gamma_{Çimento}, \gamma_{Agrega}, \gamma_{Beton}$: Çimento, agrega ve beton birim hacim ağırlıkları (kg/dm³)
 P, K : Betonun boşluk oranı (Porozite) ve doluluk oranı (Kompasite)

Değerlerini göstermektedir.

A₁ ve A₂ agregaları ile üretilebilecek en ideal karışım agregası ve bu karışım agregası ile üretilebilecek 1m³ hacmindeki BS 20 betonu için gerekli teorik malzeme miktarları belirlendikten sonra araştırmaya řu şekilde devam edilmiştir. A₁ ve A₂ agregaları kullanılarak karışım oranları tablo 6'da verilen ve a-k harfleri ile isimlendirilen karışım agregaları hazırlanmıştır. Bu karışım agregalarının her birinin kompasite ve porozite değerleri belirlenerek, ideal karışım agregasının kompasite ve porozite değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca ve bu karışım agregalarının her biri ile üretilebilecek 1m³ hacmindeki BS 20 betonu için gerekli teorik malzeme miktarları belirlenerek, ideal karışım agregası ile üretilebilecek BS 20 betonu malzeme miktarları ile karşılaştırılmıştır. Karışım agregalarının granülo metrikleri ile beton bileşimindeki malzeme miktarları arasındaki ilişkiler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 6. A₁ ve A₂ agregaları ile üretilen granülo metrikleri standartlara uygun olmayan karışım agregaları

Agrega	Karışım oranları (%)										
	a	b	c	d	e	f	g	h	ı	j	k
A ₁	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
A ₂	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

3. BULGULAR VE TARTIşMA

A₁ ve A₂ agregaları üzerinde yapılan granülo metri analizi sonuçları tablo 7'de, birim hacim ağırlığı deneyi sonuçları ise tablo 8'de verilmiştir. PÇ 325 çimentosunun tane birim hacim ağırlığı değeri 3,10 kg/dm³ olarak belirlenmiştir. Agregaların iri ya da ince ayırımı 4 mm açıklıklı elekteki granülo metrik özellikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Bu elek için belirlenen geçen % değeri % 50'den küçük ise agrega iri taneli, % 50'den büyük ise ince taneli agrega ismini almaktadır. Buna göre; A₁ agregasının iri taneli agrega, A₂ agregasının ise ince taneli agrega olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ince taneli A₂ agregasının porozite değerinin iri taneli A₁ agregasının porozite değerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. A₁ ve A₂ agregalarının granülo metrik özellikleri

Elek açıklığı (mm)		32	16	8	4	2	1	0,50	0,25
Geçen (%)	A ₁	100	70	47,20	18,73	2,07	1,24	0,92	0,73
	A ₂	100	100	100	90,47	56,70	34,40	20,92	9,03
Kalan (%)	A ₁	0	30	52,80	81,27	97,93	98,76	99,08	99,27
	A ₂	0	0	0	9,53	43,30	65,60	79,07	90,99

Tablo 8. A₁ ve A₂ agregalarının porozite, kompasite ve tane birim hacim ağırlığı değerleri

Agrega	P (%)	K (%)	γ_d (kg/dm ³)
A ₁	40,80	59,20	2,82
A ₂	42,50	57,50	2,72

A_1 ve A_2 agregaları ile üretilebilecek en ideal karışım agregasının oranlarını belirlemek amacıyla, ilk olarak A_1 ve A_2 agregaları ile A_{32} ve C_{32} standart granülometri değerlerinin incelik modülleri hesaplanmış ve tablo 9'da verilen sonuçlar elde edilmiştir. Üretilmesi hedeflenen A_K karışım agregasının incelik modülü değeri; A_{32} ve C_{32} standart granülometri değerlerinin incelik modüllerinin aritmetik ortalaması alınarak 4,39 olarak belirlenmiştir. Tablo 9'da verilen incelik modülü değerleri dikkate alınarak yapılan karışım hesaplarının sonuçlarına göre, en ideal karışım agregasının % 56 oranında iri agregası (A_1) ve % 44 oranında ince agregası (A_2) karışımı ile üretilebileceği tespit edilmiştir. Bu oranlara göre oluşturulan A_K karışım agregasının granülometrik özellikleri tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 9. A_1 ve A_2 agregaları ile A_{32} , B_{32} , C_{32} standart granülometri değerlerinin incelik modülleri

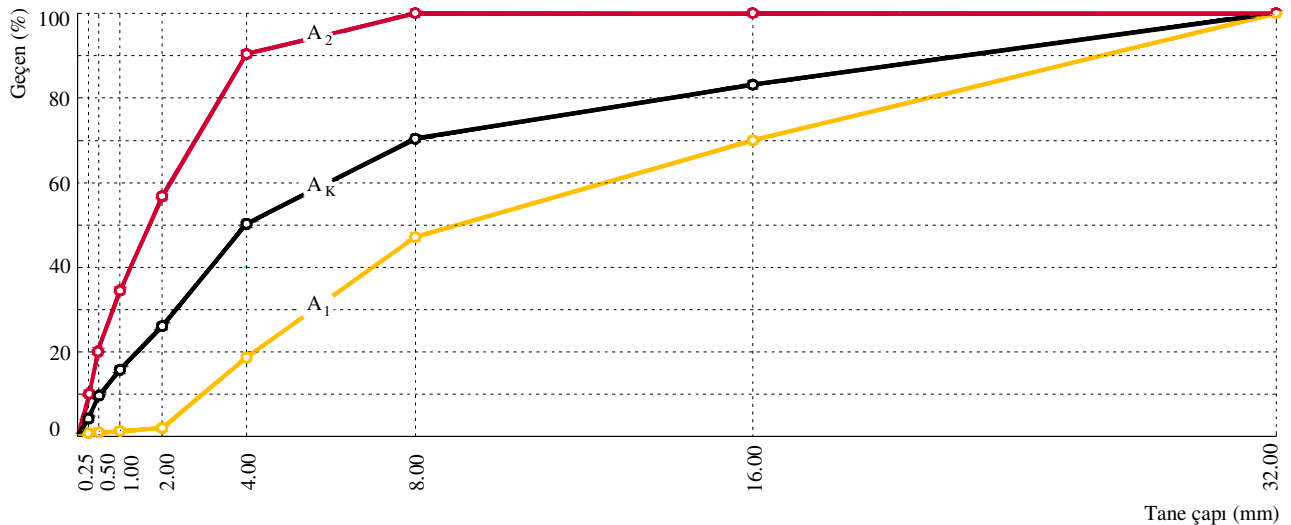
Agrega	A_1	A_2	A_{32}	B_{32}	C_{32}
İncelik modülü	5,59	2,89	5,48	4,20	3,30

İdeal bir karışım agregasının granülometrik olarak aynı anda ve uygun oranlarda hem iri agregası hem de ince agregası özelliği göstermesi istenir. Tablo 10'da araştırma konusu karışım agregası için 4 mm çaplı elekteki granülometrik özellikler incelendiğinde, agreganın yaklaşık olarak hem iri hem de ince agregası özellikleri gösterdiği belirlenmiştir. Bu elekteki Geçen % ve kalan % değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve her ikisinin de yaklaşık olarak % 50 olduğu görülmektedir. İdeal karışım agregasının porozitesi % 41,55, kompasitesi % 58,45 ve tane birim hacim ağırlığı ise $2,78 \text{ kg/dm}^3$ olarak belirlenmiştir.

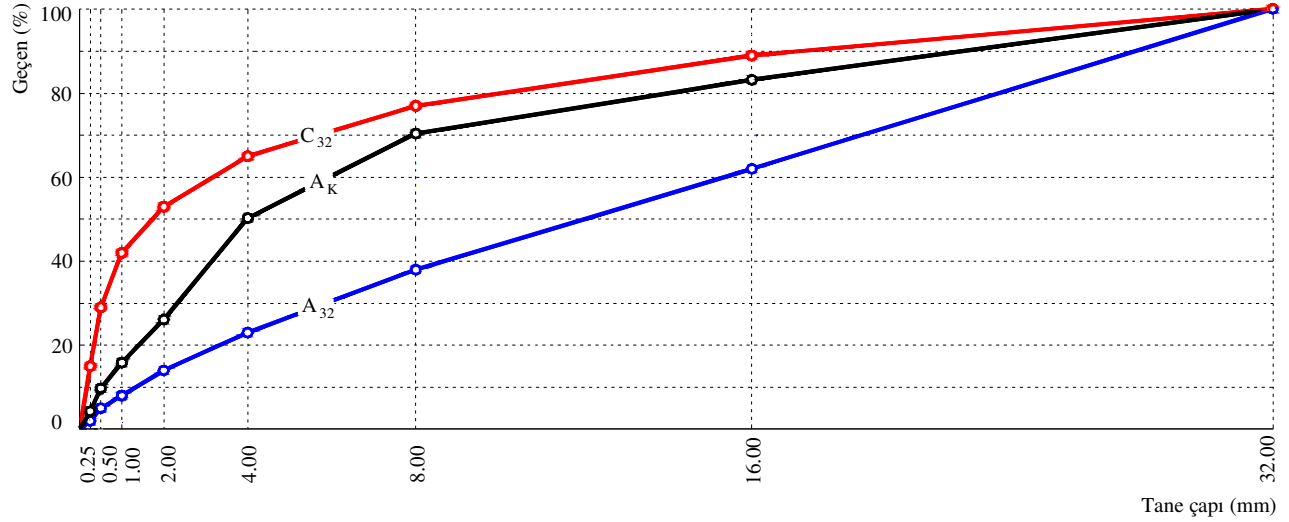
Tablo 10. A_1 ve A_2 agregaları ile üretilebilen en ideal karışım agregasının (A_K) granülometrik özellikleri

Elek açıklığı (mm)	32	16	8	4	2	1	0,50	0,25
Geçen (%)	100	83,20	70,43	50,30	26,11	15,83	9,72	4,37
Kalan (%)	0	16,80	29,57	49,70	73,89	84,17	90,28	95,63

Şekil 2'de karışım agregasının hem iri agregası hem de ince agregası özelliği gösterdiği açıkça görülmektedir. Karışım agregası (A_K) granülometri eğrisi; iri (A_1) ve ince (A_2) agregaların granülometri eğrileri arasında kalan alanı yaklaşık olarak iki eşit parçaya bölmektedir. Şekil 3'de karışım agregası granülometrisinin uygunluğu A_{32} ve C_{32} standart granülometri eğrileri ile karşılaştırılarak gösterilmiştir. Karışım agregasının granülometri eğrisinin C_{32} referans granülometri eğrisine yaklaşması, karışımdaki iri agregası oranının ince agregası oranından daha büyük olduğunun bir göstergesidir. Uygulamalarda beton üretiminde kullanılan karışım agregalarının ortalama olarak % 60 oranında iri agregası, % 40 oranında ince agregadan oluşturulması önerilmektedir. Karışım agregası bünyesindeki ince agregası oranının artırılması porozitenin artmasına, kompasitenin ise aynı oranda azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 2. İri agregası (A_1), ince agregası (A_2) ve ideal karışım agregası (A_K) granülometri eğrileri



Şekil 3. İdeal karışım agregası granülometri eğrisinin standart granülometri eğrileri ile karşılaştırılması

İdeal karışım agregası ile üretilebilecek 1m^3 (1000dm^3) hacmindeki BS 20 betonu için gerekli teorik malzeme miktarları ağırlık ve hacim cinslerinden hesaplanarak sonuçları tablo 11’de verilmiştir. Malzeme miktarları dikkate alınarak BS 20 betonunun teorik kompozitesi % 78,24, teorik porozitesi % 21,76 ve teorik birim hacim ağırlığı ise $2,42\text{kg}/\text{dm}^3$ olarak belirlenmiştir. Teorik olarak toplam beton hacminin yüzdesi cinsinden; 1m^3 beton bünyesindeki iri agregası (A_1) hacmi beton hacminin % 36,32’sini, ince agregası (A_2) hacmi % 28,52’sini, çimento hacmi %13,40’ını, su hacmi % 20,76’sını ve teorik hava hacmi ise % 1’ini oluşturmuştur. BS 20 betonunun ağırlıkça su/çimento oranı 0,50 olarak belirlenmiştir.

Tablo 11. İdeal karışım agregası ile üretilebilecek 1m^3 hacmindeki BS 20 betonunun teorik bileşimi

Malzeme	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Su	207,57	207,57
Çimento	415,14	133,92
İri agregası (A_1)	1024,14	363,17
İnce agregası (A_2)	776,13	285,34
Hava	0	10

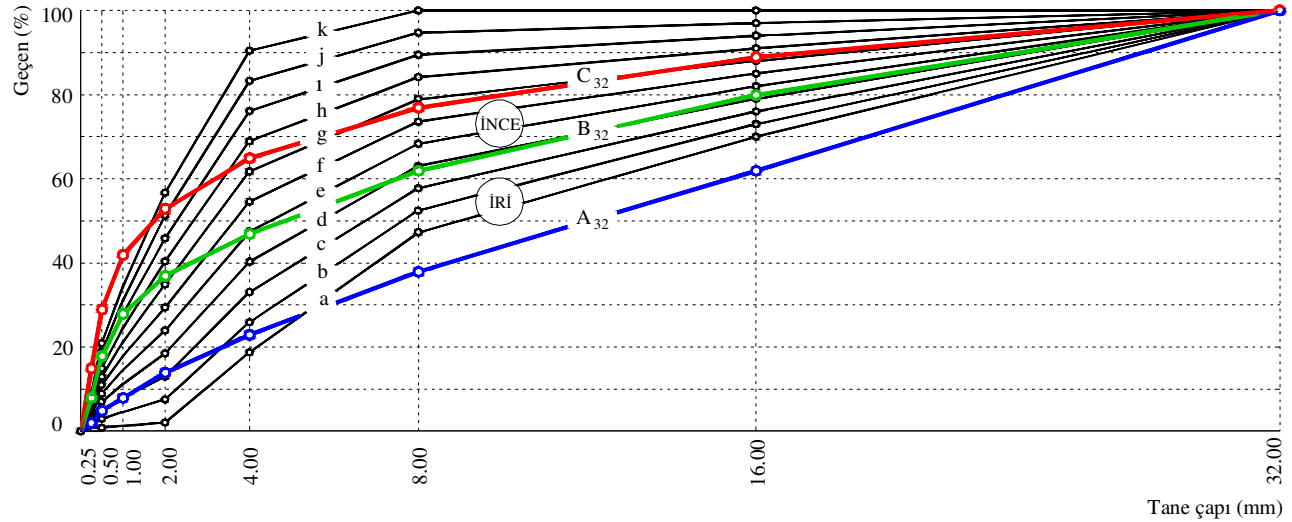
Karışım hesabı yapılmadan, tablo 6’da verilen karışım oranları dikkate alınarak A_1 ve A_2 agregalarının karıştırılması ile elde edilen a-k karışım agregalarının granülometrik özellikleri belirlenerek, sonuçları tablo 12 ve tablo 13’de verilmiştir. Agregaların 4 mm açıklıklı elekteki granülometrik özellikleri incelenerek a, b, c, d, e agregalarının iri agregası özelliği f, g, h, ı, j, k agregalarının ise ince agregası özelliği gösterdikleri tespit edilmiştir. Karışım agregalarının granülometri eğrileri şekil 4’de verilmiştir.

Tablo 12. A_1 ve A_2 agregaları ile üretilen karışım agregalarının granülometrik özellikleri (Geçen %)

Elek açıklığı (mm)	Karışım agregaları										
	a	b	c	d	e	f	g	h	ı	j	k
32	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100
8	47,20	52,48	57,76	63,04	68,32	73,60	78,88	84,16	89,44	94,72	100
4	18,73	25,90	33,08	40,25	47,42	54,59	61,76	68,93	76,10	83,27	90,47
2	2,07	7,53	13,00	18,47	23,94	29,41	34,88	40,35	45,82	51,29	56,70
1	1,24	4,56	7,87	11,19	14,50	17,82	21,13	24,45	27,76	31,08	34,40
0,50	0,92	2,92	4,92	6,92	8,92	10,92	12,92	14,92	16,92	18,92	20,92
0,25	0,73	1,56	2,39	3,22	4,05	4,88	5,71	6,54	7,37	8,20	9,03

Tablo 13. A₁ ve A₂ agregaları ile üretilen karışım agregalarının granülometrik özellikleri (Kalan %)

Elek açıklığı (mm)	Karışım agregaları										
	a	b	c	d	e	f	g	h	ı	j	k
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	0
8	52,80	47,52	42,24	36,96	31,68	26,40	21,12	15,84	10,56	5,28	0
4	81,27	74,10	66,92	59,75	52,58	45,41	38,24	31,07	23,90	16,73	9,53
2	97,93	92,47	87,00	81,57	76,06	70,59	65,12	59,65	54,18	48,71	43,30
1	98,76	95,44	92,13	88,81	85,50	82,18	78,87	75,55	72,24	68,92	65,60
0,50	99,08	97,08	95,08	93,08	91,08	89,08	87,08	85,08	83,08	81,08	79,08
0,25	99,27	98,44	97,61	96,78	95,95	95,12	94,29	93,46	92,63	91,80	90,97

**Şekil 4.** A₁ ve A₂ agregaları ile üretilen karışım agregalarının granülometri eğrileri

Granülometrileri uygun olmayan ve a, b, c, d, e, f, g, h, ı, j, k harfleri ile isimlendirilen karışım agregalarında a'dan k'ya doğru gidildikçe karışım agregasını oluşturan iri agrega (A₁) oranı % 10'luk eşit aralıklarla azalmaktadır. Buna karşılık ince agrega (A₂) oranı ise % 10'luk eşit aralıklarla artmaktadır.

Karışım agregalarının incelik modülü değerleri hesaplanarak sonuçlar tablo 14'de verilmiştir. İncelik modülü değerleri 5,59-2,89 arasında azalarak değişmektedir. Karışım agregasını meydana getiren iri agrega miktarının % 10 azaltılması ve dolayısıyla ince agrega miktarının % 10 artırılması ile incelik modülü değerinde % 4,83-8,54 arasında bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Karışım agregası birleşimindeki iri agrega oranı azaldıkça veya başka bir ifadeyle ince agrega oranı arttıkça incelik modülü değerinin küçüldüğü tespit edilmiştir. Karışım agregası incelik modülü değerinin azalması, bu agrega ile üretilen betonun bileşimindeki su ve çimento miktarlarının artmasına neden olmaktadır.

Tablo 14. A₁ ve A₂ agregaları ile üretilen karışım agregalarının incelik modülü değerleri

Karışım agregası	a	b	c	d	e	f	g	h	ı	j	k
İncelik modülü	5,59	5,32	5,05	4,78	4,51	4,24	3,97	3,70	3,43	3,16	2,89

Karışım agregalarının porozite, kompasite ve tane birim hacim ağırlığı değerleri tablo 15'de verilmiş olup, a'dan k'ya doğru gidildikçe değişimleri şöyledir. Porozite değerleri % 40,80-42,50 arasında % 0,17 fark ile artarak, kompasite değerleri ise % 59,20-57,50 arasında % 0,17 fark ile azalarak değişmektedir.

Tane birim hacim ağırlığı ise 2,82-2,72 kg/dm³ arasında düzenli aralıklarla azalarak değerler almaktadır. Karışım agregasını meydana getiren iri agrega (A₁) miktarının % 10 azaltılması ve buna karşılık ince agrega (A₂) miktarının % 10 artırılması ile ortalama olarak porozite değerinde % 0,40 artma, kompasite değerinde % 0,30 azalma ve tane birim hacim ağırlığında ise ortalama % 0,36 azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Karışım agregasındaki iri agrega oranı azaldıkça veya başka bir ifadeyle ince agrega oranı arttıkça, porozitenin arttığı kompasitesinin ve tane birim hacim ağırlığının ise azaldığı tespit edilmiştir. Beton üretiminde kullanılan karışım agregası yeterli kompasiteye sahip değilse, betonda yeterli kompasiteyi temin edebilmek için çimento miktarının artırılması gereklidir. Beton bileşimindeki malzemelerden özel üretim sonucu elde edilen ve maliyeti en yüksek olan bileşen çimentodur. Çimento miktarının artması beton maliyetinin de artmasına neden olmaktadır. Araştırma konusu karışım agregalarının porozite ve kompasite değerlerinin granülometri ile değişimi şekil 10'da gösterilmiştir.

Tablo 15. Karışım agregalarının porozite, kompasite ve tane birim hacim ağırlığı değerleri

Agrega	P (%)	K (%)	γ_d (kg/dm ³)
a	40,80	59,20	2,82
b	40,97	59,03	2,81
c	41,14	58,86	2,80
d	41,31	58,69	2,79
e	41,48	58,52	2,78
f	41,65	58,35	2,77
g	41,82	58,18	2,76
h	41,99	58,01	2,75
ı	42,16	57,84	2,74
j	42,33	57,67	2,73
k	42,50	57,50	2,72

Karışım agregasının incelik modülü ve hedeflenen beton kıvamı beton karıştırma suyu miktarını belirleyen başlıca unsurlar. Karışım agregası bünyesindeki ince agrega miktarının artırılması veya iri agrega miktarının azaltılması incelik modülü değerinin küçülmesine neden olmaktadır. İncelik modülü küçüldükçe karışım agregasının ortalama tane boyutu da aynı oranda küçülmektedir. Tane boyutundaki küçülme birim hacmi dolduran tane sayısının artmasına, taneler arasındaki boşluk hacminin büyümesine ve dolayısıyla karışım agregasının porozitesinin artmasına neden olmaktadır. Agregata taneleri arasındaki boşluk miktarının artması, bu boşlukları doldurması gereken çimento miktarının ve bu çimentoyu hamur haline getirmesi gereken karıştırma suyu miktarının da aynı oranlarda artmasına neden olmaktadır.

Granülometrisi uygun olmayan a-k karışım agregaları ile üretilen 1m³ hacmindeki BS 20 betonunun teorik bileşimindeki su, çimento ve agrega miktarları belirlenerek sonuçları tablo 16 ve tablo 17'de verilmiştir. Karışım agregasını meydana getiren iri agrega miktarının sistematik olarak % 10 azaltılması ve dolayısıyla ince agrega miktarının % 10 artırılması sonucunda, beton bileşimindeki karıştırma suyu ve çimento miktarlarının her birinde ortalama olarak % 5 oranında bir artış meydana geldiği belirlenmiştir. Toplam karışım agregası miktarının ise % 2,27-2,88 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Beton hacminin % 60-70'ini oluşturan agregaların granülometrik özellikleri betonun kompasitesini önemli düzeyde etkilemektedir. Betondaki toplam agrega miktarının azaltılması, betonun kompasitesinin azalmasına ve dolayısıyla porozitesinin artmasına neden olmaktadır. Karışım agregasındaki iri agrega miktarının azaltılması ve dolayısıyla ince agrega miktarının artırılması, karışım agregasının kompasitesinin azalmasına buna karşılık porozitesinin artmasına neden olmaktadır. Karışım agregasının porozitesindeki artış, betonun porozitesinin artmasına, betonun porozitesindeki artış da çimento miktarının artmasına neden olmaktadır. Kompasitesi yüksek ya da başka bir ifadeyle porozitesi düşük agregaların beton üretiminde kullanılması ile agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmak için daha az miktarda çimento kullanılması gerekecektir. Böylelikle daha ekonomik bir beton üretilmiş olacaktır.

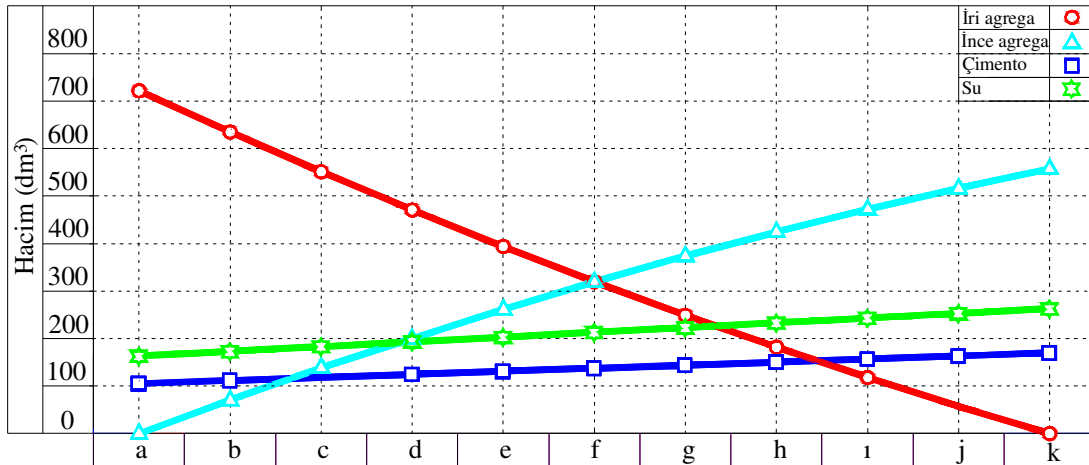
Tablo 16. 1m³ hacmindeki BS 20 betonunun teorik bileşiminde bulunan su ve imento miktarları

Karışım agregası	Su		imento	
	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)
a	163,17	163,17	326,34	105,27
b	173,16	173,16	346,32	111,72
c	183,15	183,15	366,30	118,16
d	193,14	193,14	386,28	124,61
e	203,13	203,13	406,26	131,05
f	213,12	213,12	426,24	137,50
g	223,11	223,11	446,22	143,94
h	233,10	233,10	466,20	150,40
ı	243,09	243,09	486,18	156,83
j	253,08	253,08	506,16	163,28
k	263,07	263,07	526,14	169,72

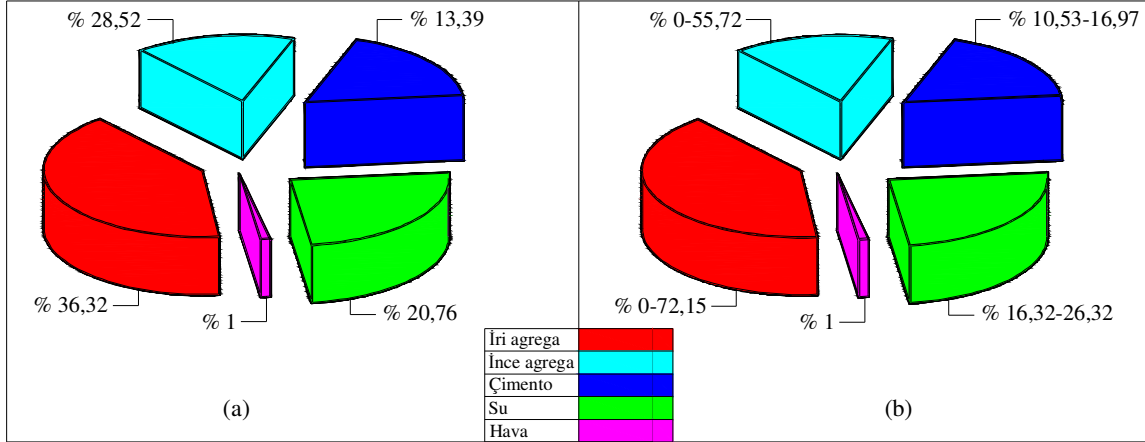
Araştırma konusu a-k karışım agregaları ile üretilen 1m³ hacmindeki BS 20 betonunun teorik bileşimindeki su, imento ve agrega miktarlarının granulometri ile değişimleri Şekil 5’de gösterilmiştir. İri agreganın azaltılması ve dolayısıyla ince agreganın artırılması ile beton bileşimindeki su ve imento miktarlarında aynı oranlarda artma, toplam agrega miktarında ise azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Tablo 17. 1m³ hacmindeki BS 20 betonunun teorik bileşiminde bulunan agrega miktarları

Karışım agregası	A ₁		A ₂		Toplam	
	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)
a	2034,80	721,56	0	0	2034,80	721,56
b	1789,60	634,61	191,80	70,51	1981,40	705,12
c	1553,68	550,95	374,65	137,74	1928,33	688,69
d	1327,04	470,58	548,54	201,67	1875,58	672,25
e	1109,64	393,49	713,54	262,33	1823,18	655,82
f	901,53	319,69	869,56	319,69	1771,35	639,38
g	702,70	249,18	1016,65	373,77	1719,35	622,95
h	513,10	181,95	1154,78	424,55	1667,88	606,50
ı	332,82	118,02	1284,00	472,06	1616,82	590,08
j	161,76	57,36	1404,28	516,28	1566,04	573,64
k	0	0	1515,61	557,21	1515,61	557,21

**Şekil 5.** BS 20 betonunun birleşimindeki agreganın, imento ve su miktarlarının granulometri ile değişimleri

BS 20 betonunun teorik bileşimini oluşturan agrega, imento, su ve hava miktarlarının toplam beton hacminin yuzdesi cinsinden karşılıkları Şekil 6'da gösterilmiştir. İdeal karışım agregası (A_K) ile üretilen BS 20 betonunun teorik birleşimi Şekil 6-a'da, granülometrisi uygun olmayan a-k karışım agregaları ile üretilen BS 20 betonunun teorik bileşimi ise Şekil 6-b'de verilmiştir. İdeal karışım agregası (A_K) ile üretilen betondaki toplam karışım agregası hacmi beton hacminin % 64,84'n oluşturmaktadır. İyi bir betonda, toplam agrega oranı beton hacminin % 60-70'ini oluşturmaldır.

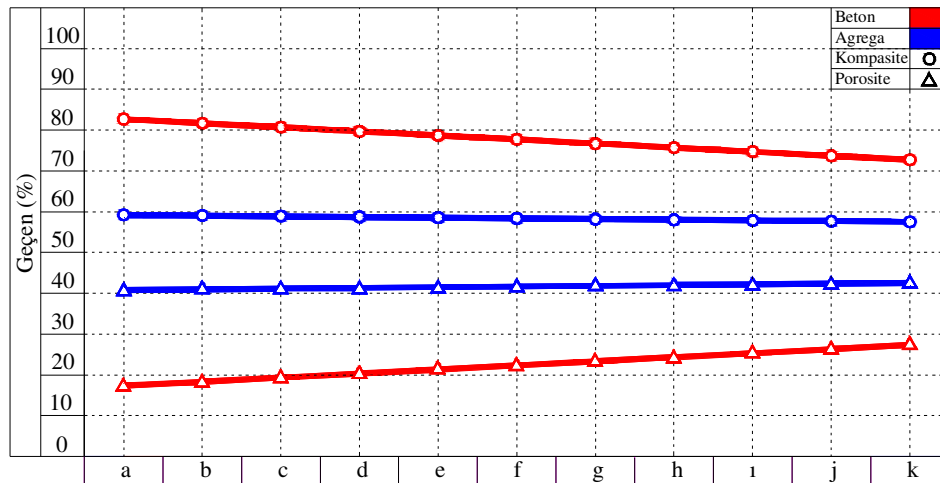


Şekil 6. BS 20 betonunun toplam hacminin yuzdesi cinsinden agrega, imento, su ve hava miktarları

Granülometrisi uygun olamayan a-k karışım agregaları ile üretilen 1m³ hacmindeki BS 20 betonunun porozite ve kompasite değerleri % cinsinden, birim hacim ağırlığı değerleri de kg/dm³ cinsinden hesaplanarak tablo 18'de verilmiştir. Porozite değerleri % 17,32-27,32 arasında % 1 fark ile artarak, kompasite değerleri % 82,69-72,69 arasında % 1 fark ile azalarak değişmektedir. Teorik birim hacim ağırlığı ise 2,524-2,305 kg/dm³ arasında azalarak değerler almaktadır. İri agreganın % 10 arttırılması ve dolayısıyla ince agreganın % 10 azaltılması ile betonun porozitesinde ortalama % 4,67 artma, kompasitesinde % 1,28 azalma ve birim hacim ağırlığında ise % 0,95 azalma olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 18. 1m³ hacmindeki BS 20 betonunun porozite, kompasite ve birim hacim ağırlığı değerleri

Agrega	a	b	c	d	e	f	g	h	ı	j	k
P	17,32	18,32	19,32	20,32	21,32	22,32	23,32	24,32	25,32	26,32	27,32
K	82,69	81,69	80,69	79,69	78,69	77,69	76,69	75,69	74,69	73,69	72,69
γ _{Beton}	2,524	2,500	2,478	2,455	2,433	2,410	2,389	2,367	2,346	2,325	2,305



Şekil 7. Kompasite ve porozite değerlerinin granülometri ile değişimleri

4. SONUÇLAR

Beton hacminin % 60-70'ini oluşturan agregaların çeşitli fiziksel, kimyasal, mekanik ve granulometrik özellikleri betonun plastik halinde işlenebilirliğini, priz yaparak sertleştikten sonra ise geğirimsizliğini ve basınç mukavemetini önemli oranlarda etkilemektedirler. Dolayısıyla betonun taşıyıcı iskeletini ve hacminin büyük bir bölümünü oluşturan agregaların, ilgili standartlar doğrultusunda yapılacak deneyler ile özelliklerinin detaylıca incelenerek tespit edilmesi bir zorunluluk haline gelmektedir.

Agrega özelliklerinin betonun bileşimindeki malzeme miktarları ile kompasite ve porozite değerleri üzerindeki etkileri agrega türüne ve granulometrisine göre farklılıklar göstermektedir. Araştırma konusu BS 20 betonunun bileşimindeki iri agrega miktarının sistematik olarak % 10 azaltılması ve dolayısıyla ince agrega miktarının % 10 artırılması sonucunda su, çimento ve karışım agregası miktarları ile betonun kompasite ve porozite özelliklerinde meydana gelen değişimler ve miktarları tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Granulometrinin betonun bileşimindeki malzeme miktarlarına ve bazı özelliklerine etkileri

Malzeme/Özellik	Değişim	Miktar (%)
Karışım agregası incelik modülü	Azalma	4,83-8,54
Kompasite	Azalma	1,28
Porozite	Artma	4,67
Çimento	Artma	5
Karıştırma suyu	Artma	5
Toplam agrega	Azalma	2,27-2,88
Birim hacim ağırlık	Azalma	0,95

Karışım agregası bünyesindeki iri agrega miktarı azaldıkça ortalama tane boyutu küçülmekte, fakat birim hacmi dolduran tane sayısı artmaktadır. Birim hacimdeki tane sayısının artması taneler arasındaki boşluk miktarının yani porozitenin artmasına ve dolayısıyla kompasitenin azalmasına neden olmaktadır. Karışım agregası bünyesindeki iri agrega miktarı arttııkça ortalama tane boyutu büyümekte, fakat birim hacmi dolduran tane sayısı azalmaktadır. Birim hacimdeki agrega tane sayısının azalması taneler arasındaki boşluk miktarının yani porozitenin azalmasına ve dolayısıyla kompasitenin artmasına neden olmaktadır.

Betonun basınç mukavemetini ve geğirimsizliğini en fazla kompasite özelliği etkilemektedir. Kompasitesi yüksek betonların basınç mukavemetleri de aynı oranda yüksek olmaktadır. Beton üretiminde kullanılan karışım agregasının kompasitesi ne kadar yüksek olursa, agrega taneleri arasındaki boşluk miktarı da o kadar az olacaktır. Dolayısıyla bu boşlukları doldurması gereken çimento miktarı ve bu çimentoyu hamur haline getirmesi gereken karıştırma suyu miktarı da aynı oranda azalacaktır.

Karışım agregasının porozite değerinin yüksek olması bu agrega ile üretilecek betonda kullanılması gereken çimento miktarının artmasına ve dolayısıyla beton maliyetinin de aynı oranda artmasına neden olmaktadır. Beton üretiminde kullanılan çimento ve karıştırma suyu miktarları ortalama agrega tane boyutu ile ters orantılı olacak şekilde değişmektedir. Karışım agregasını oluşturan tanelerin çapları küçüldükçe, taneler arasındaki boşluk miktarı ve dolayısıyla bu boşlukları dolduracak çimento miktarı ile bu çimentoyu hamur haline getirmesi gereken karıştırma suyu miktarı da agrega tane çapındaki küçülme ile ters orantılı olarak şekilde artmaktadır.

Betonun kompasitesini ve porozitesini belirleyen temel unsur, iskeletini oluşturan karışım agregasının granulometrik özellikleridir. Granulometrik özellikleri birbirinden farklı agregalar kullanılarak, en ideal karışım agregasını elde etmeye yönelik yapılan karışım hesapları ile agrega taneleri arasındaki boşluk miktarı (Porozite) minimum düzeye indirilerek, maksimum doluluk (Kompasite) sağlanabilmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Güner, M.S., Süme, V., 2001, “Yapı Malzemesi ve Beton”, Aktif Yayınevi, İstanbul, 336 s.
2. Beyazıt, Ö.L., 1988, “Beton ve Deneyleri”, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara
3. Uğurlu, A., 1989, “Betonda Agregada Granülometrisinin Düzenlenmesi ve Önerilen Bir Yöntem: Fuller Parabolü”, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Bülteni, Sayı: 69
4. Akman, S., 1990, “Yapı Malzemeleri”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 162 s.
5. TS 3526, “Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980
6. Binici, H., Çağatay, İ.H., 2004, “Osmaniye İli Agregalarının Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2004(19), 137-148
7. Postalcioglu, B., 1986, “Beton Cilt 2”, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 404 s.
8. Cetin, A., Carrasquillo, R.L., 1998, “High Performance Concrete, Influence of Coarse Aggregates on Mechanical Properties”, ACI Materials Journal, 1998(95), 252-261
9. Taşdemir, M.A., Özkul, M.H., Atahan, H.N., 1999, “ Türkiye’deki Son Depremler ve Beton”, İnşaat Mühendisleri Odası II. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, 9-19, Adana
10. TS 19, “Portland Çimentoları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1992
11. TS 24, “Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Deneyleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985
12. TS 706, “Beton Agregaları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980
13. TS 707, “Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980
14. TS 3530, “Beton Agregalarında Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini ve Granülametrik Birleşim Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980
15. TS 3814, “Beton Agregalarında Tane Dağılımı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980
16. TS 3529, “Agregalarda Birim Hacim Ağırlık Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980
17. TS 130, “Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978
18. TS 802, “Beton Karışım Hesap Esasları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985