



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DEĞİŞİK KAYA BİRİMLERİNDEN ÜRETİLMİŞ SERT
KIRMATAŞIN BETON DAYANIMINA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Maden Müh. Abdullah ALTINTEPE
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof.Dr. Ali KAHRİMAN**

Haziran, 2004

İSTANBUL

ÖNSÖZ

21. yüzyılın başlarında bulunduğumuz bu yıllarda betonun ne kadar hızlı geliştiğini müşahade etmekteyiz. Hiper akışkanlaştırıcılarla kendinden yerleşen betonların, 200 Mpa'nın üzerindeki yüksek dayanımlı betonların seri üretimlerde kullanıldığını görmekteyiz.

Ben de bu çalışmamla sert agreganın beton mukavemetine etkisini araştırdım.

Bu araştırmam sırasında ve yüksek lisans süresince bana yardımlarını esirgemeyen Yük.İnş.Müh. A. Necip KOCATÜRK'e, deneylerde yardımcı olan Hayrullah ÜZÜM'e, agrega temininde yardımcı olan ALTINAYLAR firmasına ve ÇİĞLİ Mozaik'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Ataç BAŞÇETİN'e, Sayın Doç. Dr. Şafak G. ÖZKAN Hocama, Değerli Doç. Dr. N. Enver ÜLGER Hocama, Değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. Güngör TUNCER Hocama ve özellikle de yapmış olduğu yönlendirmeleriyle ve önerileriyle Tez Danışmanım değerli Hocam Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ali KAHRİMAN Bey'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Haziran,2004

Abdullah ALTINTEPE

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
1.GİRİŞ	1
1.2 BETON	2
1.2.1 BETONUN TARİHÇESİ.....	4
1.2.2 BETON TÜRLERİ	5
1.2.3 BETONUN İÇ YAPISI	6
1.2.3.1 Çimento Hamurunun İç Yapısı	6
1.2.3.2 Agregada Çimento Ara Yüzeyinin İç Yapısı	7
1.2.4 Betonun Mekanik Davranışı	10
1.2.5 Betonda Süreksizlikler	12
1.2.6 Betonu Oluşturan Hammaddeler	13
1.2.6.1 Çimento	13
1.2.6.2 Agregada	15
1.2.6.2.1 Agreganın Dayanımı	15
1.2.6.2.2 Agregada Hacim Konsantrasyonu	16
1.2.6.2.3 Agregada Granülometrisi ve Maksimum Tane Boyutu	17
1.2.6.2.4 Agregaların Tane Şekli ve Yüzey Yapısı	18
1.2.6.2.5 Agregada Çimento Hamuru Bağlı.....	19
1.2.6.2.6 İdeal Agregada Standartları	21
1.2.6.3 Su	27
1.2.6.4 Kimyasal Katkılar	27
1.3 AGREGA HAMMADDELERİ VE JEOLJİSİ.....	29
1.3.1 Mağmatik (Püskürük) Kayaçlar	30

1.3.2	Tortul (Sedimanter) Kayaçlar	32
1.3.3	Metamorfik Kayaçlar	32
1.4	FARKLI AGREGA TÜRÜNÜN BETON MUKAVEMETİNE ETKİSİYLE İLGİLİ YAPILMIŞ ARAŞTIRMALAR	33
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	38
2.1.	KULLANILAN MALZEMELER	38
2.1.1	Çimento	38
2.1.2	Karışım Suyu	40
2.1.3	Kimyasal Katkılar	40
2.1.4	Çelik Teller	42
2.1.5	Agrega	42
2.1.5.1	Podima Deniz Kumu	43
2.1.5.2	Granit	45
2.1.5.2	Bazalt	49
2.1.5.3	Andezit	53
2.1.5.4	Gri Kalker	57
2.2.	BETON KARIŞIMLARI	62
2.2.1	Yapılan Kabuller	62
2.2.2	Beton Bileşim Hesabı	62
2.2.3	Beton Üretimi ve Kür Koşulları	69
2.2.4	Basınç Dayanım Deneyleri	69
3.	DENEY SONUÇLARI	70
3.1	TAZE BETON ÖZELLİKLERİ	70
3.2	KARIŞIMLARIN BASINÇ DAYANIMLARI.....	71
4.	SONUÇ	76
5.	KAYNAKLAR.....	79
6.	ÖZGEÇMİŞ	82

TABLO İNDEKSİ

Tablo-1.1	Betonun Tarihsel Gelişimi	4
Tablo-1.2	Beton Türleri	5
Tablo-1.3	Çimento Türleri	14
Tablo-1.4	Agrega Deney Standartları	24
Tablo-1.5	TS Elek Sistemine Göre Beton Kumu ve İri Agregada Granülometrisi	25
Tablo-1.6	Doğal Kırmataş Hammaddelerinin Jeolojik Sınıflandırması	31
Tablo-2.1	Çimento Basınç Dayanımları	39
Tablo-2.2	Çimentonun Kimyasal Analizi.....	39
Tablo-2.3	Şebeke Suyunun Kimyasal Analizi	41
Tablo-2.4	Podima Deniz Kumunun Bileşen/Mineral Kompozisyonu ve Model Oranları	43
Tablo-2.5	Podima Deniz Kumu Fiziksel Özellikleri	44
Tablo-2.6	Podima Deniz Kumunun Tane Boyut Dağılım Tablosu	44
Tablo-2.7	Granitin Fiziksel Özellikleri	47
Tablo-2.8	Kırma Granit Taş Tozu'nun Tane Boyut Dağılım Tablosu	47
Tablo-2.9	Kırmataş No:1 Granit Mıcırın Tane Boyut Dağılım Tablosu	47
Tablo-2.10	Kırmataş No:2 Granit Mıcırın Tane Boyut Dağılım Tablosu	48
Tablo-2.11	Bazalt Fiziksel Özellikleri	50
Tablo-2.12	Kırma Bazalt Taş Tozu'nun tane boyut dağılımı Tablosu	50
Tablo-2.13	Kırmataş No:1 Bazalt Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu	51
Tablo-2.14	Kırmataş No:2 Bazalt Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu	52
Tablo-2.15	Andezitin Fiziksel Özellikleri	54
Tablo-2.16	Kırma Andezit Taş Tozu'nun tane boyut dağılımı Tablosu	54
Tablo-2.17	Kırmataş No:1 Andezit Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu	55
Tablo-2.18	Kırmataş No:2 Andezit Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu	56
Tablo-2.20	Gri Kalkerin Fiziksel Özellikleri	58
Tablo-2.21	Kırma Gri Kalker Taş Tozu'nun tane boyut dağılımı Tablosu	59
Tablo-2.22	Kırmataş No:1 Gri Kalker Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu	60
Tablo-2.23	Kırmataş No:2 Gri Kalker Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu	61
Tablo-2.24	Agregaların Granülometrisi.....	62
Tablo-2.25	Betona Giren Agregaların Karışım Oranları.....	63
Tablo-2.26	Granit Agregalı Beton Karışım Miktarları	65
Tablo-2.27	Bazalt Agregalı Beton Karışım Miktarları	66
Tablo-2.28	Andezit Agregalı Beton Karışım Miktarları	67
Tablo-2.29	Gri Kalker Agregalı Beton Karışım Miktarları	68
Tablo-3.1	C-20 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları	70
Tablo-3.2	C-35 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları	71
Tablo-3.3	C-50 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları	71
Tablo-3.4	C-90 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları	71

SEKİL İNDEKSİ

Şekil-1.1	Geçiş Bölgesinin Mikro Yapısı	8
Şekil-1.2	Çimento Hamuru ile agrega arasındaki ara yüzey bölgesinin şematik görüntüsü	9
Şekil-1.3	Agrega, Çimento Hamuru ve Betonun Basınç Altında Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri	11
Şekil-1.4	Betonun Basınç Altındaki Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi	12
Şekil-1.5	Agrega ile Çimento Hamuru arasındaki Temas Yüzeyi Etkileşimleri.....	20
Şekil-1.6	Betondaki Çatlak Gelişiminin Gösterimi	21
Şekil-1.7	İdeal Beton Kumun Granülometrik Eğrisi	24
Şekil-1.8	İdeal No:1 Mıcırın Granülometrik Eğrisi	26
Şekil-1.9	İdeal No:2 Mıcırın Granülometrik Eğrisi	26
Şekil-1.10	Agrega özellikleri Arasındaki İlişki	33
Şekil-1.11	Kayaç Özellikleriyle Aderans Dayanımı Arasındaki İlişki	34
Şekil-2.1	Uygun Deniz Kumunun Granülometrik Eğrisi	45
Şekil-2.2	Uygun Kırma Taş Tozu'nun Granülometrik Eğrisi	47
Şekil-2.3	Uygun Kırma Taş No:1 Granit Mıcırının Granülometrik Eğrisi	48
Şekil-2.4	Uygun Kırma No:2 Granit Mıcırının Granülometrik Eğrisi	49
Şekil-2.5	Uygun Kırma Bazalt Taş Tozu'nun Granülometrik Eğrisi	51
Şekil-2.6	Uygun Kırma Taş No:1 Bazalt Mıcırının Granülometrik Eğrisi	52
Şekil-2.7	Uygun Kırma Taş No:2 Bazalt Mıcırının Granülometrik Eğrisi	53
Şekil-2.8	Uygun Kırma Andezit Taş Tozu'nun Granülometrik Eğrisi	55
Şekil-2.9	Uygun Kırma Taş No:1 Andezit Mıcırının Granülometrik Eğrisi	56
Şekil-2.10	Uygun Kırma Taş No:2 Andezit Mıcırının Granülometrik Eğrisi	57
Şekil-2.11	Uygun Kırma Gri Kalker Taş Tozu'nun Granülometrik Eğrisi	59
Şekil-2.12	Uygun Kırma Taş No:1 Gri Kalker Mıcırının Granülometrik Eğrisi	60
Şekil-2.13	Uygun Kırma Taş No:2 Gri Kalker Mıcırının Granülometrik Eğrisi	61
Şekil-2.14	Granit Agreganın Beton Karışım Granülometrisi	63
Şekil-2.15	Bazalt Agreganın Beton Karışım Granülometrisi	63
Şekil-2.16	Andezit Agreganın Beton Karışım Granülometrisi.....	64
Şekil-2.17	Gri Kalker Agreganın Beton Karışım Granülometrisi.....	64
Şekil- 3.1	C-20 Basınç Dayanım Grafiği	72
Şekil- 3.2	C-35 Basınç Dayanım Grafiği.....	72
Şekil- 3.3	C-50 Basınç Dayanım Grafiği.....	73
Şekil- 3.4	C-90 Basınç Dayanım Grafiği.....	73
Şekil- 3.5	Granit Agregalı Beton Basınç Dayanım Grafiği	74
Şekil- 3.6	Granit Agregalı Beton Basınç Dayanım Grafiği.....	74
Şekil- 3.7	Granit Agregalı Beton Basınç Dayanım Grafiği.....	75
Şekil- 3.8	Granit Agregalı Beton Basınç Dayanım Grafiği.....	75

DEĞİŞİK KAYA BİRİMLERİNDEN ÜRETİLMİŞ SERT KIRMATAŞIN BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Günümüzdeki beton yapılarında aranan önemli bir özellik betonun dayanımının yüksek olmasıdır. Beton dayanımının yüksek olmasıyla birlikte betonun bir çok mekanik ve fiziksel özelliklerinin de dayanıma bağlı olarak artmaktadır.

Kaliteli bir beton için kendisini % 60-85 oranında oluşturan hammaddelerden agreganın da kaliteli olması istenir. Agreganın kimyasal bileşimi, minerolojik yapısı, özgül ağırlığı, dayanımı, rengi, boşluk yapısı gibi özellikler agreganın elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla da bu kayaçların özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu tez kapsamında farklı 3 sert kayaçtan elde edilmiş agregalarla birlikte normal beton agregası olan kireç taşı esaslı agregalarla deneyler yapılmıştır. Bazalt, granit, andezit ve gri kalker kullanılarak; C-20, C-35, C-50 ve C-90 dayanım sınıflarında ve her bir sınıf içerisinde kimyasal katkı, katkısız ve çelik telli beton numuneleri üretilmiştir. Karışımlarda her bir sınıf için çimento miktarları, agrega granülometrik oranları, katkı oranları, S/Ç oranları ve çelik tel miktarları eşit tutulmuştur.

Üretilmiş olan karışımlardan alınan numunelere 7 ve 28 günlük basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucuna göre normal basınç dayanım sınıflarında farklı sert agrega kullanmış olmanın fazla bir farklılığı olmadığı ancak dayanım sınıfının yükselmesiyle birlikte bazalt agregasıyla üretilen numunelerin özellikle çelik telli numunelerin daha yüksek basınç dayanımlara sahip olduğu görülmüştür.

Research Of The Effect Of Hard Aggregates, Produced From Defferent Rock Units, On Concrete Strength

SUMMARY

One of the important characteristics that concrete expected to meet is strength. With the high concrete strength, lots of mechanical and physical properties of concrete depended to strength, increase.

For a high quality concrete, aggregates, which form 60-85 % of the concrete, have to be in high quality. Aggregates' properties such as chemical compound, mineralogic structure, density, strength, colour, pore structure, depend on the rocks properties that they are obtained from. So these rocks' properties have to be well known.

In this study experiments are hold with limestone based aggregates, which are normal concrete aggregates, and with aggregates obtained from three different tough rocks. By using basalt, granite and andesite, concrete samples in C 20, C 35, C 50 and C 90 classes, and three types in each class; normal, additive used, and steel fibers used, are produced. Cement amounts, aggregate granulometric ratios, additive ratios, w/c ratios and steel fiber amounts are fixed in the mixtures for each class.

Compression strength experiments are performed on 7 day and 28 day old samples taken from prepared mixtures. As the result of these experiments it is seen that, use of different tough aggregates do not have too much difference for normal compression strength classes, however with an increase in the strength class, samples produced with basalt aggregate, especially samples having steel fibers, have higher compression strengths.

DEĞİŞİK KAYA BİRİMLERİNDEN ÜRETİLMİŞ SERT KIRMATAŞIN BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Günümüzdeki beton yapılarında aranan önemli bir özellik betonun dayanımının yüksek olmasıdır. Beton dayanımının yüksek olmasıyla birlikte betonun bir çok mekanik ve fiziksel özelliklerinin de dayanıma bağlı olarak artmaktadır.

Kaliteli bir beton için kendisini % 60-85 oranında oluşturan hammaddelerden agreganın da kaliteli olması istenir. Agreganın kimyasal bileşimi, minerolojik yapısı, özgül ağırlığı, dayanımı, rengi, boşluk yapısı gibi özellikler agreganın elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla da bu kayaçların özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu tez kapsamında farklı 3 sert kayaçtan elde edilmiş agregalarla birlikte normal beton agregası olan kireç taşı esaslı agregalarla deneyler yapılmıştır. Bazalt, granit, andezit ve gri kalker kullanılarak; C-20, C-35, C-50 ve C-90 dayanım sınıflarında ve her bir sınıf içerisinde kimyasal katkı, katkısız ve çelik telli beton numuneleri üretilmiştir. Karışımlarda her bir sınıf için çimento miktarları, agrega granülometrik oranları, katkı oranları, S/Ç oranları ve çelik tel miktarları eşit tutulmuştur.

Üretilmiş olan karışımlardan alınan numunelere 7 ve 28 günlük basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucuna göre normal basınç dayanım sınıflarında farklı sert agrega kullanmış olmanın fazla bir farklılığı olmadığı ancak dayanım sınıfının yükselmesiyle birlikte bazalt agregasıyla üretilen numunelerin özellikle çelik telli numunelerin daha yüksek basınç dayanımlara sahip olduğu görülmüştür.

Research Of The Effect Of Hard Aggregates, Produced From Defferent Rock Units, On Concrete Strength

SUMMARY

One of the important characteristics that concrete expected to meet is strength. With the high concrete strength, lots of mechanical and physical properties of concrete depended to strength, increase.

For a high quality concrete, aggregates, which form 60-85 % of the concrete, have to be in high quality. Aggregates' properties such as chemical compound, mineralogic structure, density, strength, colour, pore structure, depend on the rocks properties that they are obtained from. So these rocks' properties have to be well known.

In this study experiments are hold with limestone based aggregates, which are normal concrete aggregates, and with aggregates obtained from three different tough rocks. By using basalt, granite and andesite, concrete samples in C 20, C 35, C 50 and C 90 classes, and three types in each class; normal, additive used, and steel fibers used, are produced. Cement amounts, aggregate granulometric ratios, additive ratios, w/c ratios and steel fiber amounts are fixed in the mixtures for each class.

Compression strength experiments are performed on 7 day and 28 day old samples taken from prepared mixtures. As the result of these experiments it is seen that, use of different tough aggregates do not have too much difference for normal compression strength classes, however with an increase in the strength class, samples produced with basalt aggregate, especially samples having steel fibers, have higher compression strengths.

Tablo-2.3 Şebeke Suyunun Kimyasal Analizi

Parametre	TSE (TSE 266)	Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)	ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA)	Tasfiye Tesisi Ortalama Kalite Değerleri (Nisan 2004)				
				Büyük Çekmece	İkitelli	Kağıthane	Elmalı	Ömerli
BİRİNCİL STANDARTLAR (BERRAKLIK), NTU								
Bulanıklık	25	5	5	0,3	0,2	0,2	0,5	0,8
BİRİNCİL STANDARTLAR (MİKROBİYOLOJİK), EMS/100 ml								
Koliform Bakteri	<1	0	<1	0	0	0	0	0
BİRİNCİL STANDARTLAR (ORGANİK KİMYASAILAR), mg/l								
Toplam Trihalometanlar	-	460	100	85	75	63	61	65
BİRİNCİL STANDARTLAR (İNORGANİK KİMYASALLAR), mg/l								
Alüminyum	0,2	0,2	1	0,13	0,11	0,1	0,09	0,13
Arsenik	0,05	0,05	0,05	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Baryum	0,3	-	1	0,15	0,03	0,02	0,02	0,02
Kadmiyuin	0,005..	0,005	0,01	0	0	0	0	0
Krom (Toplam)	0,05	0,05	0,05	0,002	0,003	0,004	0,003	0,004
Florür	1,5	1,5	0,7-2,4	0,13	0,06	0,05	0,05	0,04
Kurşun	0,05	0,05	0,05	0	0	0	0,001	0
Civa	0,001	0,001	0,002	<0,0002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Nitrat (NO ₃)	50	50	45	1	1,2	0,6	3,6	3,8
Selenyum	0,01	-	0,01					
Gümüş	0,01	-	0,05	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Antimon	0,001	-	0,006	-	-	-	-	-
Berilyum	-	-	0,004	0	0	0	0	0
Asbest			7 milyon lift/l	-	-	-	-	-
BİRİNCİL STANDARTLAR (RADYOLOJİK) , pCi/L								
Gross Alfa			15	-	-	-	-	-
Gross Beta			50	-	-	-	-	-
İKİNCİL STANDARTLAR (ESTETİK), mg/l								
Klorür	600	250	250	74	38	41	45	47
Renk (Birim)	20	15	15	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Bakır	3	-	1	0,003	0,005	0,007	0,003	0,004
Deterjanlar	0,2	-	0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Demir	0,2	-	0,3	0,008	0,008	0,003	0,01	0,007
Mangan	0,05	0,5	0,05	0,001	0,005	0,002	0,006	0,006
Koku eşik değeri (Birim)		Zararı hissedilmeyecek	3	-	-	-	-	-
pH	6,5-9,2	6,5-8,5	6,5-8,5	7,64	7,27	7,15	7,1	6,73
Sülfat	250	250	250	73	44	40	58	37
Toplam Çözünmüş Madde	1500	1000	500	288	184	176	171	160
Çinko	5	-	5	0,004	0,006	0,022	0,006	0,036
İLAVE PARAMETRELER, mg/l								
Kalsiyum	200	-	-	58	50	45	33	29
Sertlik (CaCO ₃)	-	500	-	197	139	136	118	92
Potasyum	12	-	-	7,1	3,8	3,3	4,8	4,1
Sodyum	175	200	-	59	24,1	24,9	32,4	30,6
Bakiye Klor	0,1-0,5	5	-	1	0,9	1,2	0,5	1,5
Amonyum	0,05-0,5	1,5	-	<0,05	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05

1.GİRİŞ

Beton, günümüzde Türkiye'de ve dünyada en yaygın kullanılan bir yapı malzemesidir. Joseph Aspdin'in 1824 yılında portland çimentosunu bulmasıyla birlikte başlayan ve 1800'lü yılların sonlarına doğru betonarme, 1930'lu yıllarda da öngerilmeli beton yapı sistemlerin geliştirilmeye başlanmasıyla hızlanan süreçte beton vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmuştur. Beton özellikleri sürekli geliştirilmekte, kullanım alanları gittikçe artmakta ve yeni uygulama konuları gündeme gelmektedir.

Beton çimento, agrega, su ve bazen de katkı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit bir malzemedir. Çimento, su ile birleştirildiğinde oluşan çimento hamuru agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevini yapar. Agregası ise betonun iskeletini oluşturan kum, çakıl, kırmataş gibi taneli mineral malzemedir.

Heterojen bir yapıya sahip olan betonun özellikleri kullanılan malzemelerle yakından ilgilidir. Beton hacminin yaklaşık %60 - %85'ini oluşturan agreganın kalitesi oldukça önemlidir. İyi beton elde edebilmek için uygun agrega kullanılması gerektiği, bilinen bir gerçektir. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı, rengi gibi özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Ancak genellikle agreganın tane şekli ve boyutları, yüzey yapısı ve su emmesi gibi özellikleri göz önüne alınır.

Bu çalışmada sert agreganın beton basınç dayanımlarına hangi sınıflarda nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu amaçla C-20, C-35, C-50 ve C-90 beton sınıflarında granit, bazalt, andezit sert agrega olarak kullanılmış ve sonuçları gri kalker agregalı betonlarla karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, düşük ve normal beton sınıflarında sert agreganın beton basınç dayanımlarına etkisinin olmadığı ancak artan çimento hamuru dayanımının sert agrega dayanımına yakın olmasından kaynaklanan sebeple yüksek beton sınıflarında sert agrega kullanmanın beton basınç dayanımına olumlu etkisi görülmüştür.

1.1 BETON

Çimento, iri agrega, ince agrega ve suyun, kimyasal ve mineral katkı da ilâve edilerek veya edilmeden karıştırılmasıyla oluşturulan ve çimentonun hidratasyonu ile gerekli özelliğini kazanan yapı malzemesi veya başka bir ifade ile yapay taştır.

Tüm Betonlarda aranılan üç ana nitelik; taze halde işlenebilme, sertleşmiş halde mekanik dağılım ve dış koşullara karşı dayanıklılıktır.

Taze haldeyken plastik bir kıvama sahip olması betona istenilen herhangi bir şeklin verilmesini sağlar. Diğer bir deyişle, taze beton sertleştiğinde içine konulduğu kalıbın şeklini almış olur. Böylece, kirişler, kolonlar, karmaşık şekilli hiperbolik kabuklar, döşemeler, kazıklar, kütle betonları vb. yapmak mümkün olur. Beton üretiminde büyük ölçüde yerel malzemeler kullanılır. Bu husus maliyetinin diğer yapı malzemelerine oranla düşük olmasındaki en önemli noktalardan biridir. İyi bir beton dayanıklı bir yapı malzemesidir. Uygun bir şekilde tasarlanmış, üretilmiş, yerleştirilmiş, sıkıştırılmış ve bakımı yapılmışsa uzun yıllar her hangi bir bakım, onarım gerektirmeden hizmetini sürdürür. Betonun bir hazır beton santralinde olduğu kadar ülkenin en ücra bir köşesinde de – kalite kontrolüne özen gösterilmek şartı ile – üretmek mümkündür. 1m³ alüminyum, çelik ve cam üretmek için, sırasıyla, yaklaşık 360 GJ, 300 GJ ve 50 GJ enerji harcanırken, aynı miktarda bir beton için yaklaşık 3,5 GJ enerjiye gereksinim vardır. Enerji maliyetindeki hızlı artış göz önünde bulundurulduğunda, betonun bu özelliğinin önemi de anlaşılır. Beton, aynı zamanda, bir çok olanaklara sahip bir malzemedir. İstenilen şekil, renk ve yüzey özelliklerini vererek değişik görüntüler elde etmek mümkündür.[1]

Beton doğası bakımından diğer yapı malzemelerinden ayrılır. Beton yaşayan sistemleri gibi davranır. Zaman içerisinde betonun özellikleri gelişme gösterir. İngilizce’de ”concrete “ olarak bilinen betonun latince kökü büyümek anlamına gelen “concretus” sözcüğüdür. Ayrıca, betonun bir bütün olarak doğası bileşenlerinin tek tek özelliklerinin süperpozisyonu ile elde edilemez. Bu sebeple, beton fiziksel yada teorik olarak bileşenlerine izole edildiğinde betonluk özelliğini kaybeder. Bundan başka, betonun dünyası, insanın dünyası gibi nonlineerdir. Üstüne üstlük bu nonlineeriteler arasında da süreksizlikler mevcuttur. Basit görünümüne rağmen çok komplike bir sistem olan betona, homojen olarak kabul edilebilen

elik, plastik, seramik gibi yapı malzemelerine uygulanabilen analitik modeller uygulanamaz. Dolayısıyla, betonun gelişimi daha çok laboratuvar ve üretim sırasında yerinde yapılan gözlemlere dayanmıştır. Beton teknolojisinde her zaman teori gözlemlere dayandırılarak geliştirilmektedir.

Bir yapı malzemesi olarak betonun avantajları ve dezavantajlarını vardır. Bunlar:

- Yapı Malzemesi olarak betonun üstünlükleri;

- Ekonomiktir.
- İstenilen şekil verilebilir.
- Durabilitesi yüksektir.
- Az bakım gerektirir.
- Yangına yeterli dayanımı vardır.
- Üretimi kolaydır.
- Üretimi sırasında bir enerji ilavesini gerektirmez, ekzotermiktir.
- Ham malzemesi tabiatta boldur.
- Isı ve ses yalıtımı yeterlidir.

- Sakıncaları;

- Yapısı statik bir özellik göstermez. Betonun üç fazından ikisi, imento hamuru ve agrega- imento hamuru geçiş bölgesi , zamanla değişir.
- Belli bir süre içinde, sertleşmeden yerleştirilmelidir.
- Yıkımı zordur.
- İstendiği anda piyasadan stok olarak bulunamaz, üretimi için zaman gerektirir.
- Ağırdır.
- Diğer yapı malzemelerine oranla daha az homojendir.

Yukarıda belirtilen betonun dezavantajları fazla gibi gözükse de, bu dezavantajlardan çoğu çeşitli üretim teknolojileri geliştirilebilir.[2]

1.2.1 Betonun Tarihçesi

İnsanoğlu M:Ö. 3000 yılından itibaren Kireç esaslı bağlayıcı maddeleri yapı malzemesi olarak kullanmaktadır. Modern Portland Çimentosu ise ilk kez 1824 yılında İngiliz J. Aspdin tarafından üretilmiştir. İlk betonarme yapı ancak 1852 yılında yapılmıştır. Dolayısıyla, beton sadece 150 yıldır insanın yaşamına girmiştir. Ancak, bu kısa 150 yıl sonunda en çok kullanılan yapı malzemesi olmuştur.[3]

Tablo-1.1 Betonun Tarihsel Gelişimi

Yıllar	Gelişmeler
1852	İlk Betonarme Yapı (Francois Coignet)
1860	İlk Alman Çimento Standardı
1867	Betonarme için ilk Patent (Joseph Monier)
1880	Almanya ve Avusturya’da Betonarmenin Gelişmesi (Aktiengesellschaft für Beton und Monierbau)
1897	Fransa’da Betonarmenin Gelişmesi (Hennebique) Ponts et Chaussees’de ilk Betonarme dersi (Rabut) Avusturya’da Melan Kemer Sistemi (Emperger)
1900	Beton Mukavemet Formülü (Feret. R)
1906	İlk Alman Betonarme Şartnamesi
1907	Fuller Parabolü (ilk ideal Granülometri)
1913	American Concrete Institute (ACI) Kuruluşu ve ilk American Yönetmelikleri
1918	Agrega Yüzey Alanları Metodu (Edwards ve Young)
1918	Mukavemet Formülü , İncelik Modülü (Abrams)
1919	Çimento İnceliğinin Etkisi (Abrams)
1920’ler	Türkiye’de ilk Betonarme Yapılar
1921	Harç Boşlukları Metodu (Talbot ve Richards)
1926	Bolomey Formülleri ve parabolü
1928	İlk Öngerilmeli Beton Sistemi (Freyssinet, E)
1930	Graf Formülü ve ideal Granülometrisi
1930	Etkili Vibrasyon Uygulanışı
1933	“Particle Interference “ Kavramı (Weymouth)
1939-1949	ACI karışım Hesabı Metodu(ACI- 613)
1940	Magnel Öngerme Sistemi (Metal Ankrajlı)
1943	Alman DIN 1045 Betonarme Yönetmeliği (Elastik)
1948	Vibrasyonla İlgili Temel Araştırma (L’Hermite)
1950	Türkiye’de ilk öngerilme
1953	İlk Türk Betonarme Şartnamesi (Elastik)
1956	American ACI 318 betonarme Standardı (Taş.G)

1957	Betonda İstatistik Kalite Kontrolü (ACI-214)
1962	Türk betonarme Standardı TS 500 (Elastik)
1963	Olasılık Yaklaşımının Taşıma gücüne Uygulanışı
1963	American ACI318 Betonarme Standardı (Taşıma Gücü)
1978	Alman DIN1045 Betonarme Standardı (Taşıma Gücü)
1982	Türk betonarme Standardı TS 500 (Taşıma Gücü)
1980'ler	Ülkemizde Beton Kalitesinde Gelişme , Endüstriyel Beton Üretimi ve Prefabrikasyon

1.2.2 Beton Türleri

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan taşıyıcı malzeme betondur. Betonun kullanım alanının genişliği insan yaratıcılığına uygunluğundan kaynaklanır. Seneler boyunca insanlar gerektiğinde betonun çeşitli özelliklerini geliştirerek betondan optimum faydayı sağlayabilmişlerdir. Bu gün dünyada 28 değişik tipte beton kullanılmaktadır.

Tablo-1.2 Beton Türleri

Sıra No	Türler ve Metotlar (Alfabetik)
1	Ağır Beton
2	Akıtma Beton
3	Brüt Beton (Cephe betonu)
4	Derz Betonu
5	Enjeksiyon Harcı (Ankraj Harcı)
6	Ferrocement
7	Geçirimsiz Beton
8	Genç Beton (Yeşil beton)
9	Hafif Beton
10	Hazır Beton (Endüstriyel Beton)
11	Kalıcı Beton (Dürabilite)
12	Kütle Betonu (Massif Beton)
13	Liflerle donatılı Beton
14	Polimer İçeren Beton
15	Pompa Betonu
16	Prefabrik Beton ve Isıl işlem
17	Prepakt Beton
18	Püskürtme Beton
19	Rötresi Dengelenmiş Beton
20	Sıcakta Beton Dökümü
21	Silindirlenmiş Beton
22	Soğukta Beton Dökümü
23	Su altında Beton Dökümü (Tremi Betonu)
24	Vakum Betonu

25	Yenibaştan Çevrimlenmiş Beton
26	Yol ve Uçak Pisti Betonu
27	Yüksek Mukavemetli Beton
28	Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Beton (Refrakter)

1.2.3. Betonun İç Yapısı

Betonun iç yapısı ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Beton özellikleri iç yapısıyla yakından ilgilidir. Malzemelerin iç yapıları daha iyi anlaşıldıkça beton özelliklerinde büyük gelişmeler sağlanacaktır. İç yapının beton özelliklerine etkisi, betonu oluşturan malzemelerin iç yapıyı nasıl değiştirdikleri, bu malzemeler arasındaki ara yüzeylerin özellikleri anlaşıldıkça istenen şartları sağlayacak malzemeler üretmek daha kolay olacaktır ve böylece çimento esaslı malzemelerin kullanım sahaları genişleyecektir.[4]

1.2.3.1 Çimento Hamurunun İç Yapısı

Çimentolarda 4 ana bileşen vardır; C_2S , C_3S , C_3A ve C_4AF . Çimento ve suyun birleşmesiyle ortaya çıkan ve hidrasyon adı verilen kimyasal reaksiyon sonucunda bu bileşenler hidrate bileşimlere dönüşürler. Kalsiyum silikatların hidrasyon reaksiyonları sonucunda C-S-H (Kalsiyum Silikat Hidrate) ve CH (Kalsiyum Hidroksit) oluşur. Çimentoya bağlayıcılık özeliğini kazandıran madde C-S-H'dır [5].

Çimento hamurunun boşluklu bir iç yapısı vardır. Hidrasyon sonunda oluşan ürünler aralarında çeşitli türde boşluklar oluşur. Bu boşluklar kapiler boşluklar ve jel boşlukları olarak sınıflandırılabilir. Kapiler boşluklar, beton taze halde iken su ile dolu olan ancak sertleşmiş betonda hidrasyon sonucunda oluşan ürünlerle dolmamış boşluklardır. Çimento hamurunun kapiler porozitesi karışımın su/çimento oranına ve hidrasyon derecesine bağlıdır. Hidrasyon derecesi arttıkça hidrasyon ürünleri boşlukları doldurur ve kapiler boşluklar azalır. Su/çimento oranı arttıkça hidrasyon ürünlerinin bu boşlukları doldurması zorlaşır. Çok yüksek su/çimento oranlarında çimento tamamen hidrate olsa bile bu boşlukların tamamen dolması imkansız olur. Jel boşlukları ise hidrasyon ürünleri içinde bulunan, hidrasyonla birlikte sayıları ve toplam hacimleri artan boşluklardır. Jel boşluklarının boyutları kapiler boşluklardan çok daha küçüktür [6].

Bunların yanında, büyüklükleri milimetre boyutunda olan hava boşlukları da betonda mevcuttur. Hava boşlukları betonun yetersiz yerleştirilmesinden veya bazı katkıları kullanıp hava sürüklenmesinden oluşabilir.

1.2.3.2 Agregada Çimento Ara Yüzeyinin İç Yapısı

Beton agregada ile çimento hamurundan oluşan iki fazlı bir kompozit malzeme olarak göz önüne alındığında malzeme özellikleri sadece bileşenlerin özelliklerine bağlı değildir. Heterojen bir malzeme olan betonun dayanımı 3 faktörden etkilenir .

Bunlar :

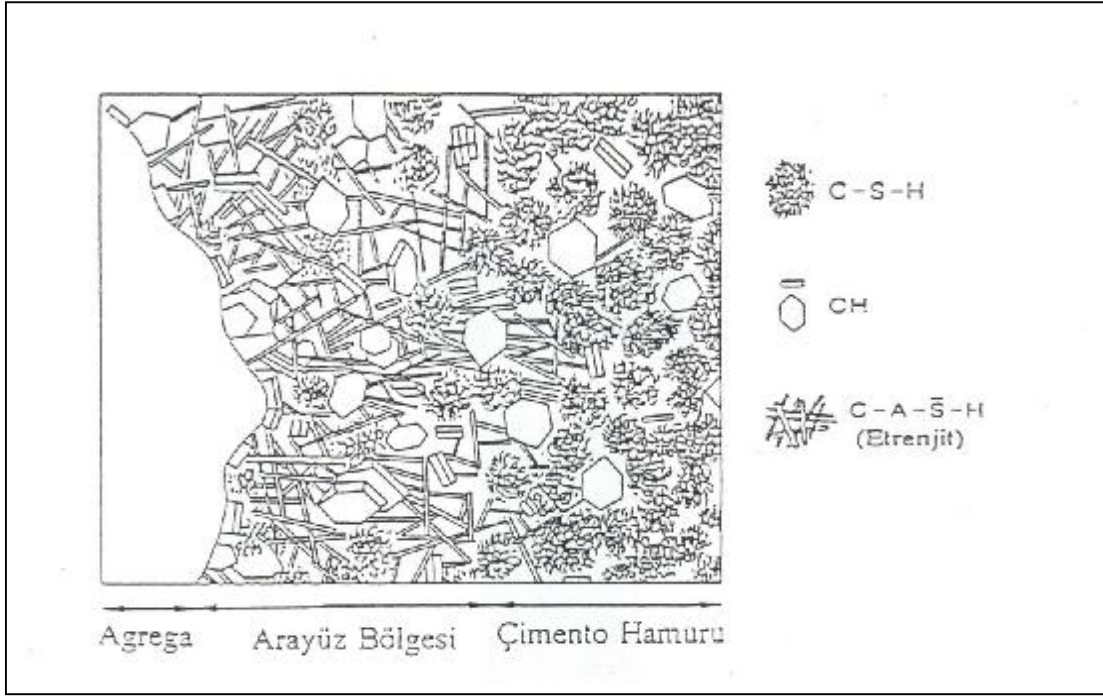
- i) matrisin dayanımı (çimento hamurunun dayanımı),
- ii) agreganın dayanımı
- iii) ara yüzeyinin dayanımı

Bu faktörlerin her birinin çeşitli sınıflardaki betonların dayanımlarında etkileri farklıdır. Ancak agregada-çimento arayüzeyi betondaki en zayıf halka olarak kabul edilmektedir. Çimento hamuru ile agregada arasındaki temas yüzeyi, çimento hamurundan farklılıklar gösterir. Bu ara yüzeyler betonun mekanik davranışında oldukça etkilidir.

İri agreganın hemen yanındaki hidrate olmuş çimento hamurunun iç yapısı agregadan uzaktaki çimento hamurunun iç yapısından farklıdır.

Geçiş bölgesinin iç yapısı şöyledir:

- i) Agregada yüzeyine dik doğrultuda CH filminin birikmesi
- ii) Saç fırçasını andıran uzamış C-S-H tanelerinden oluşan bir film ile örtülmesi
- iii) Agregada yüzeyinde paralel doğrultuda geniş CH kristallerinin birikmesi
- iv) Temas yüzeyinde CH ile dolu hacim formasyonu (Şekil-1.1).



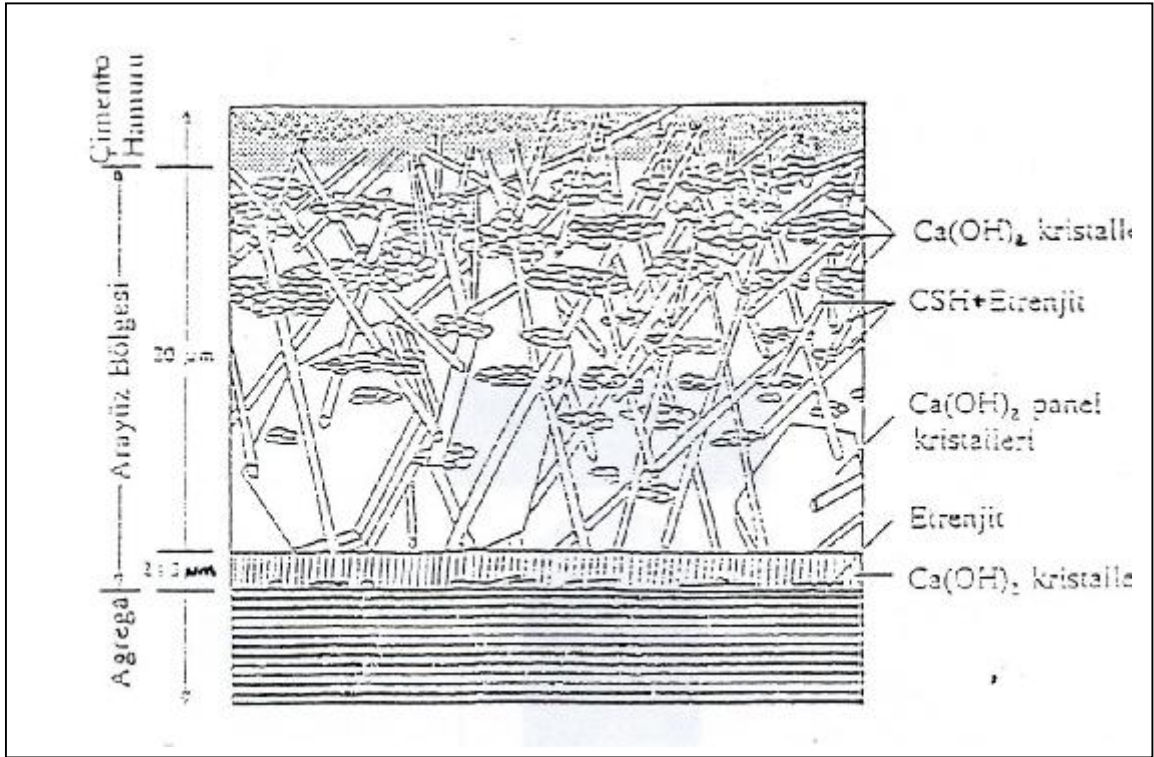
Şekil-1.1 Geçiş Bölgesinin Mikro Yapısı [7]

Başka bir görüşe göre de ara yüzeyin yapısı şu şekildedir.

Çimento su ile karıştırıldıktan birkaç dakika sonra agregaya yüzeyinde etrenjit iğneleri görülür. Agregaya yüzeyine dik doğrultuda CH kristalleri etrenjit iğnelerini kaplar.

CH kristal tabakasının kalınlığı 2-3 mikron kadardır. Bu tabakadan sonra büyük hegzagonal biçimli CH panel kristalleri gelişmeye başlar. Bu panellerin boyutu 10 ile 30 mikron kadardır. Temas bölgesi modelleri Şekil 1.2'de şematik olarak görülmektedir.

Ara yüzeyde su/çimento oranı ve porozite daha yüksektir. Hidratasyon ürünlerinden CH daha büyük kristal taneli ve hacim olarak daha fazladır. Bunların sonucu olarak da arayüz çimento hamuruna göre daha zayıf ve geçirimlidir. Arayüzeyin kalınlığı 10 ile 50 mikron arasında değişir.



Şekil-1.2 Çimento Hamuru ile agrega arasındaki ara yüzey bölgesinin şematik görüntüsü [7]

Temas bölgesi ince olduğu halde betonun önemli bir bölümünü kaplar. Çimento hamuru hacminin %25-%35'ini bu temas yüzeyi oluşturur. Bu sebepten arayüzeyin sertleşmiş beton özellikleri üzerinde önemli etkisi olması doğaldır.

Arayüzeyin boşluklu iç yapısının oluşum sebebiyle ilgili çeşitli görüşler vardır. Karıştırma sırasında, agrega taneleri birkaç mikron kalınlığında su filmiyle kaplanırlar. Hidratasyon başladığında hidratasyon ürünleri su tabakasıyla birleşirler, böylece buradaki su/çimento oranı orijinal su/çimento oranından yüksek olur.

Arayüzeydeki yüksek porozitenin oluşumuyla ilgili olası bir mekanizma da iki faktörün birleşmesiyle ortaya çıkabilir.

Bu Faktörler;

- i) Çeper etkisi: çimento taneleri nispeten büyük agrega tanesi yanında boş bir hacimdeki

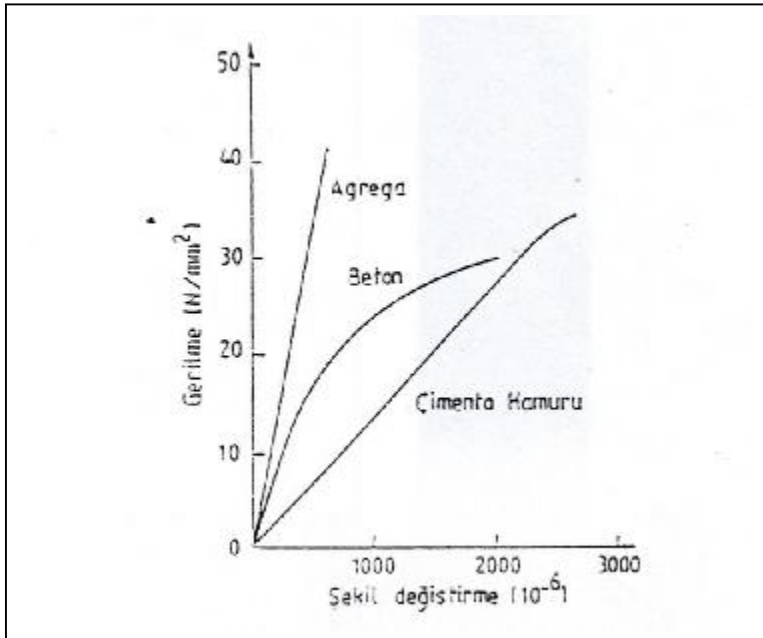
kadar yakın sıkışamazlar.

- ii) Tek taraflı gelişim etkisi: hidratasyon ürünleri sadece çimento tarafından gelir, agrega tarafından gelmez [8]

1.2.4 Betonun Mekanik Davranışı

Betonun dayanımını yitirmesi mikro çatlakların ortaya çıkmasıyla başlar. Agrega-çimento hamuru arayüzeyi betonun basınç altında kısa süreli davranışını önemli ölçüde etkiler. Agrega ve hidrate olmuş çimento hamuruna ayrı ayrı yük uygulandığında gerilme-şekil değiştirme eğrileri hemen hemen lineer elastik bir cisimin davranışına benzer. Ancak Şekil 1.3'de görüldüğü gibi betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi lineer değildir [9].

Betonun lineer olmayan davranışı agrega-çimento hamuru arayüzeyinin varlığını ortaya koyar ve en küçük yükte bile bu temas yüzeyindeki mikro çatlamaı gösterir. Agrega-çimento hamuru arayüzeyindeki bu mikro çatlaklar betondaki bir kusur olarak düşünülebilir.



Şekil-1.3 Agregâ, Çimento Hamuru ve Betonun Basınç Altında Gerilme-Şekil Değıştirme Eğrileri [9]

Araştırmalar, agrega ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyinde çok küçük mikro çatlakların varlığını, bunların yük uygulanmadan önce bile bulunduğunu ortaya çıkarmıştır [10]. Bu mikro çatlakların varlığı birçok teknikle ortaya konmuştur. Betonun genel bir özelliğı olan bu mikro çatlaklar iri agrega ile hidrate olmuş çimento hamurunun özelliklerinin farklı olmasından, kuruma rötresi sebebiyle oluşabilir. Yükleme öncesi mikro çatlaklar betonun düşük çekme mukavemetinden önemli derecede sorumludur. [11]

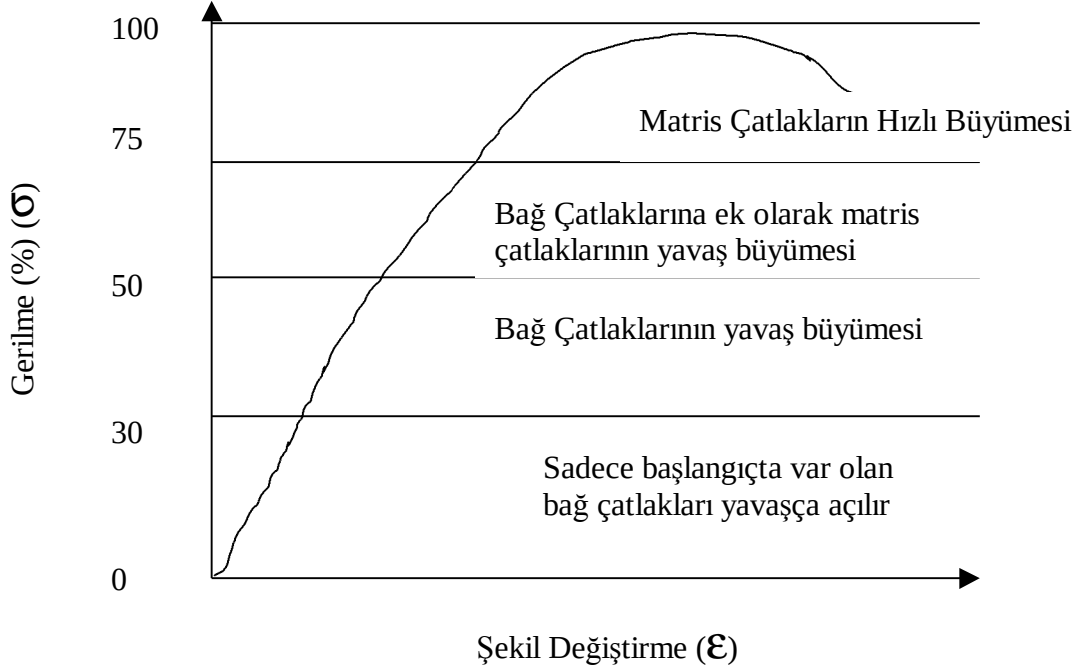
Betona yük uygulandığında basınç dayanımının %30'una kadar mikro çatlaklar yavaşça açılırlar. %30'un üzerinde bu bağ çatlaklarının uzunlukları, genişlikleri ve sayıları artmaya başlar. Bu aşamada çatlakların ilerlemesi yavaştır. Uygulanan gerilme düzeyi basınç dayanımının %50'sine kadar malzemede lineer elastik davranış görülebilir, yani yük kaldırıldığı zaman deformasyon tersinirdir. Gerilmenin basınç dayanımına oranı % 70-%90 olduğu zaman çatlaklar çimento hamuru ile ince agregadan oluşan harç fazı içinde açılmaya başlar ve sayıları önemli ölçüde artar. Bu çatlaklar birleşerek sürekli çatlaklar oluştururlar ve bir çatlak ağı ortaya çıkar. Bu aşamada hızlı çatlak yayılması görülür [12]. Basınç dayanımının %90'ına ulaşıldıktan sonra ise bu bileşik çatlaklarda kararsız yayılış oluşur.

Bir çatlak ağı büyük ölçüde oluştuktan sonra betonun yük taşıma kapasitesi azalır. Şekil-1.4'de mikro çatlamanın şematik olarak bir açıklaması verilmektedir.

1.2.5 Betonda Süreksizlikler

Betonu sadece mukavemetiyle ele almak yeterli olmamaktadır. İlerleyen beton teknolojisinde süreksizlik ve çözülme sınırlarına da önem verilmeye başlandı. Tek eksenli basınç altında betona uygulanan gerilme belli bir değeri aştıktan sonra mikro çatlakların önemli derecede artmaya başladığı daha önce belirtilmişti. Yapılan araştırmalar bu gerilme düzeyine kadar

yaklaşık olarak sabit kalan veya azalan poisson oranının bundan sonra önemli derecede artarak değiştiğini göstermektedir. Bu gerilme değerine süreksizlik sınırı denilmektedir. Süreksizlik sınırı iç yapıdaki mikro çatlakların büyümeye başladığı gerilme düzeyidir.



Şekil-1.4 Betonun Basınç Altındaki Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi [11]

Uygulanan yük arttırıldığında mikro çatlaklar artıp bir çatlak ağı oluşturdukları gerilme düzeyine kadar devamlı küçülerek değişen hacim bundan sonra artma yönünde değişim göstermektedir. Bu gerilme düzeyine de çözülme sınırı adı verilmektedir. Çözülme sınırı iç yapıdaki mikro çatlakların yük artmadığı halde kendiliklerinden tüm iç yapıya yayıldıkları gerilme değeri olarak tarif edilmektedir.

Çözülme sınırının altındaki bir gerilmeye kadar beton yüklenir ve gerilme sabit olarak tutulursa bu ana kadar meydana gelmiş bulunan çatlaklarda bir ilerleme görülmez. Buna karşı çözülme sınırına kadar yüklenmiş bir betonda yük tutulmaya devam edilirse çatlaklar zamanla kendiliğinden ilerler ve sonunda beton dayanımını tamamen kaybeder. Bu bakımdan çözülme sınırına gerçek basınç dayanımı da denilmektedir [12]. Bazı araştırmacılara göre süreksizlik sınırı yorulma mukavemetine, çözülme sınırı ise sünme mukavemetine karşı gelmektedir [13].

1.2.6 Betonun Oluşturan Hammaddeler

Beton ince agreg, iri agreg, çimento ve sudan oluşmaktadır. Bu dört malzeme betonun iki bileşenini meydana getirmektedir. Çimento ve su birlikte çimento hamurunu; ince ve iri agregalar da agreg bileşenini oluşturmaktadır. Bunların yanı sıra, betonda bir miktarda hava bulunmaktadır. Ayrıca, gerektiğinde, betonun belirli özelliklerini değiştirmek (örneğin, piriz süresini kısaltmak veya uzatmak, işlenebilirliği artırmak, su gereksinimini azaltmak, v.b.) amacıyla, çeşitli mineral ve kimyasal katkıları da kullanılmaktadır [14].

1.2.6.1 Çimento

Çimento, su ve agreg ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden biridir. Çimento su ile reaksiyon sonucu hem havada hem de su altında katılaştıkları ve sertleştikleri için bağlayıcılar olarak sınıflandırılmaktadır.

Yalnızca portland çimentosu klinker ve alçı taşının birlikte öğütülmesi sonucu elde edilmektedir. Öğütme sırasında portland çimentosu ve alçı taşına belirli miktardaki katkı maddeleri eklenirse farklı tiplerdeki katkı çimentolar elde edilmektedir. Bu katkı kullanımı, enerji ve hammadde kaynaklarının daha az kullanılması bakımından, ekonomik açıdan önemli olmakla beraber kullanıldığı yerlerde, sülfatlı, klorürlü vs. ortamlardaki zararlı etkilere dayanıklılık açısından önem taşımaktadır. Mesela sülfat etkisine karşı dayanıklı beton yapmak amacıyla yüksek fırın cürufu veya puzolanlı ya da sülfata dayanıklı portland çimento ($C_3A < 5\%$) kullanılmalı, baraj inşaatları gibi kütle betonlarında hidrasyon ısısının düşüklüğü ve maruz kalacağı su etkisine karşı dayanıklılık açısından cürufu ve puzolanik çimentolar gibi katkı çimentolar tercih edilmelidir. Tablo-1.3'de Türkiye'de üretilen ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından standartları çıkarılmış Çimento türleri verilmiştir [15].

Tablo-1.3 Çimento Türleri

Çimento Türü	Tanımlama Kodları 28 Günlük Basınç Dayanımına Göre	TS Numaraları
Portland Çimentoları	PÇ 32,5	TS 19
	PÇ 42,5	
	PÇ 52,5	
Cürüflu Çimentolar	CÇ 32,5	TS 20
	CÇ 42,5	
Beyaz Portland Çimentoları	BPÇ 32,5	TS 21
	BPÇ 42,5	
Harç Çimentosu	HÇ 16	TS 22
Traslı Çimento	TÇ 32,5	TS 26
Uçucu Küllü Çimento	UKÇ 32,5	TS 640
Super Sülfat Çimentosu	SSÇ 32,5	TS 809
Erken Dayanımı Yüksek Çimento	EYÇ 52,5	TS 3646
Katkılı Çimento	KÇ 32,5	TS 10156
Sülfatlara Dayanıklı Çimento	SDÇ 32,5	TS 10157
Portland Cürüflu Çimento	PCÇ/A, PCÇ/B	TS 12139
Portland Kalkerli Çimento	PLÇ/A, PLÇ/B	TS 12140
Portland Silika Füme Çimento	PSFÇ	TS 12141
Kompoze Çimento	KZÇ/A, KZÇ/B	TS 12142
Portland Kompoze Çimento	PKÇ 32,5	TS 12143
	PKÇ 42,5	
	PKÇ 52,5	
Puzolanik Çimento	PZÇ/A, PZÇ/B	TS 12144

1.2.6.2 Agrega

Beton üretimindeki ilk aşama, kullanılacak malzemelerin uygun seçimidir. Beton hacminin yaklaşık dörtte üçünü oluşturan agreganın özellikleri hem taze betonun hem de sertleşmiş betonun birçok özelliğini etkiler. Bu sebepten, beton yapımından önce agreganın fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri saptanmalıdır. Agregaları birçok şekilde sınıflandırmak mümkündür [16]. Agregaların hammaddesi olan kayalar jeolojik bakımdan magmatik, tortul ve metamorfik olarak sınıflandırılabilir [17]. Petrografik ve Minerolojik bakımdan da agregalar özellikler içeren birkaç gruba ayrılabilir. Kalsiyum karbonatlı kayaların çimento

hamuru ile aderansı iyidir. Kalsiyum sülfatlı kayaçlar ise etrenjit oluşumuna yol açtıkları için betonda kullanılmaları uygun değildir. Suyla birleştiğinde hacim sabitliğini koruyamayan agregalar da betonda hasar yapabilir. Alkali-agrega reaksiyonuna yol açabilecek reaktif silis içeren agregalar da kullanılmamalıdır.

1.2.6.2.1 Agreganın Dayanımı

Agreganın dayanımı ve elastisite modülü elde edildiği kayacın mineral bileşimi, kristal boyutları, çimento bağlayıcı miktarı, yüzey yapısı gibi jeolojik özelliklerine bağlıdır. Düşük dayanım, iç yapı bileşen tanelerin zayıflığı veya bunların yeterince birbirlerine bağlanamaması sonucu olabilir. Agreganın dayanımını bulmak için agreganın elde edildiği kayaçtan düzgün şekilli numuneler çıkartmak gerekir. Kayaçlar, tek eksenli basınç dayanımlarına göre çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere 5 grup olarak sınıflandırılabilir. Ancak aynı tür bir kayacın basınç dayanımlarında 330 MPa'a varan değişiklikler görülmüştür.

Normal dayanımlı betonda sadece agreganın etkisi oldukça azdır. Agreganın granülometrisi halen en önemli etkenlerden bir tanesidir ve agreganın şekli, yüzey yapısı, zararlı maddelerin bulunması ortaya çıkacak betonun özellikleri üzerinde etkilidir. Agreganın dayanımı, hafif betonların dayanımının kullanılan agreganın dayanımından büyük olması örneğinden bilindiği gibi, betonun dayanımını her zaman sınırlayan bir faktör değildir.

Normal dayanımlı betonun dayanımını kontrol eden, hidrate olmuş çimento hamuru ve agreganın çimento hamuru ara yüzeyidir. Yüksek performanslı betonda ise durum daha değişiktir. Çimento hamuru-agrega temas yüzeyinin kuvvetli olması sonucu hamurdan agregaya gerilme transferi olur. Kırılmış yüksek dayanımlı beton numuneleri incelendiğinde çatlağın agreganın içinden geçtiği görülebilir. Böyle durumlarda agreganın tanelerinin dayanımı betonun basınç dayanımını sınırlayan bir faktör olabilir.

1.2.6.2.2 Agregada Hacim Konsantrasyonu

Birden fazla faz içeren bir malzemenin mekanik davranışı her fazın özelliklerine bağlı olduğu gibi bu fazların malzeme içinde bulunuş oranlarıyla da ilgilidir [18]. Agregada hacmi arttıkça taze betondaki işlenebilirlik azalmaktadır. Betonun birim ağırlığı ve elastisite modülü ise normal agregalı betonlarda artmakta, hafif agregalı betonlarda ise azalmaktadır. Agregada hacim konsantrasyonu arttıkça hafif ve çakıl agregalı betonlarda basınç dayanımı azalmakta, kırmataş agregalı betonlarda ise önce azalmakta fakat belli bir konsantrasyonda minimumdan geçtikten sonra artmaktadır.

Bazı hallerde önemli miktar su agregada tarafından emilebilir ve efektif su/çimento oranı azalır. Ayrıca yüksek agregada içeriği daha az rötreye ve terlemeye yol açarak agregada-çimento hamuru bağına daha az zarar verir [11].

Agregada içeriği az olan betonlarda toplam su içeriği daha azdır. Bunun sonucu olarak betonda olumsuz etki yapan boşluklar azalır.

1.2.6.2.3 Agregada Granülometrisi ve Maksimum Tane Boyutu

Agregada granülometrisi taze haldeki betonda işlenebilme, sertleşmiş betonda mekanik dayanım, kompasite, geçirimsizlik, durabilite, rötre gibi özellikleri üzerinde etkilidir. Agregada granülometrisi doluluk oranını arttıracak şekilde az boşluklu olmalıdır. Tek bir tane büyüklüğü kullanılması durumunda sağlanabilecek doluluk belli bir değerden fazla olamaz [19]. Aradaki boşlukları doldurmak için daha küçük taneler gereklidir. Ancak tane boyutları küçüldükçe toplam yüzey alanı artar ve bunun sonucu su ihtiyacı fazla olur. Agregada granülometrisinin hangi değerler arasında olması gerektiği TS 706 EN 12620'de belirtilmiştir.

Agreganın maksimum tane boyutu da beton özelliklerini etkileyen bir faktördür. Maksimum tane çapının belirlenmesindeki ilk faktör betonun kullanılacağı yerdeki beton kalıp boyutları ve donatı sıklığıdır. Normal dayanımlı betonda verilen bir kıvam için maksimum agregada

boyutunun arttırılmasıyla, örneğin 12 mm'den 25 mm'ye çıkarılmasıyla su ihtiyacında azalma sağlanabilir. Ancak Yüksek dayanımlı betonlarda maksimum tane çapının arttırılmasıyla sağlanan dayanım artışı, yan etkilerle kaybedilen dayanım kadar çok olmayabilir.

Maksimum tane boyutunun arttırılmasıyla agregada çimento hamuru arasındaki arayüzeyi büyütür ve daha heterojen bir yapı oluşturur. Bunun sonucunda ise mikro çatlamlar artar.

Çeşitli kayaç çeşitlerinden elde edilen iri agregalarda, küçük taneler büyük tanelere göre daha sağlamdır. Bunun sebebi tane boyutunun küçülmesiyle birlikte agregada tanesi içindeki büyük boşlukların, mikro çatlaklar gibi iç kusurların, yumuşak mineral içeren kısımların azalmış olmasıdır. Ayrıca genellikle kırma agregada kullanıldığı için kırılma işlemi sırasında iri agregada çatlak vb. kusurlar oluşabilir bu ise agregayı zayıflatır [7].

1.2.6.2.4 Agregaların Tane Şekli ve Yüzey Yapısı

Agrega tanelerinin olabildiği kadar küre veya küpe yakın olması istenir. Böylece agregada yığını daha iyi bir biçimde yerleşir, taneler arası boşluk minimuma iner. Verilen bir kıvam için daha az suya ihtiyaç olur. Biçimsiz yani küreden büyük oranda farklı geometriye sahip taneler kütle içinde kenetlenir, işlenebilme azalır. Kayacın yapısı ve kırma işlemleri agregada tanelerinin şeklini etkiler. Agregalar tane şekillerine göre yuvarlak, düzensiz, köşeli, yassı veya uzun olarak sınıflandırılabilir .

Agreganın yüzey yapısı çimento hamuru ile agregada arasındaki bağı ve karışımın su ihtiyacını etkiler. Agregada tanesi ile çimento hamuru arasındaki mekanik aderansa en kuvvetli etki yapan faktör agregaların yüzey pürüzlülüğüdür. Pürüzlülük fazla ise çimento hamuru ile agregada taneleri arasında temas yüzeyi geniş olur. Yüzeydeki girinti ve çıkıntılara çimento hamurunun girmesi bu iki farklı malzemenin birbirinden ayrılmasını güçleştirir ve mekanik kenetlenme artar. Kırmataşın mekanik kenetlenmesi çakıldan daha yüksektir. Pürüzsüz yüzeye sahip agregaların su ihtiyacı daha az olmasına karşın çimento hamuru ile arasındaki aderans fazla

yüksek olmaz ve bunun sonucu dayanım düşük çıkar. Agregaların yüzey yapısı camsı, düzgün, taneli, pürüzlü, kristalli ve çok boşluklu olarak sınıflandırılabilir. Agreganın yüzey durumu kayacın sertliğine, tane büyüklüğüne, boşluk ve yüzey yapılarına, agrega üzerine etkiyen kuvvetlerin yüzeyi düzgünleştirmesi veya pürüzlendirmesine göre değişir.

Agregadaki ince madde miktarı agrega-çimento bağı zayıflatır. İnce madde miktarının çok olması aynı zamanda betonun karma suyu ihtiyacını artırır, taze betonun işlenebilmesini azaltır. Yıkanmış agrega ile elde edilen beton basınç dayanımı, yıkanmamışa göre % 12'lere varan artışlar gösterir.

Agreganın tane şekli ve yüzey yapısı betonun basınç dayanımından çok eğilme dayanımı üzerinde etkilidir ve bu etkiler yüksek belirgindir [7].

1.2.6.2.5 Agregada Çimento Hamuru Bağı

Agrega ve çimento hamuru arasındaki bağın Üç farklı mekanizmaya bağlı olduğu kabul edilmektedir. Şekil-1.5'da bu mekanizmalar şematik olarak gösterilmiştir.

- Fiziksel Etkileşim

Yüzeyi çok iyi parlatılmış agregalar için matris ile kimyasal etkileşim yoksa, matris kuvvetli olsa da bağ kuvveti ihmal edilebilir. Agregada matris ara yüzeyi sistemde en zayıf halka haline gelir. (Şekil-1.5-a)

- Fiziko-Kimyasal Kenetlenme

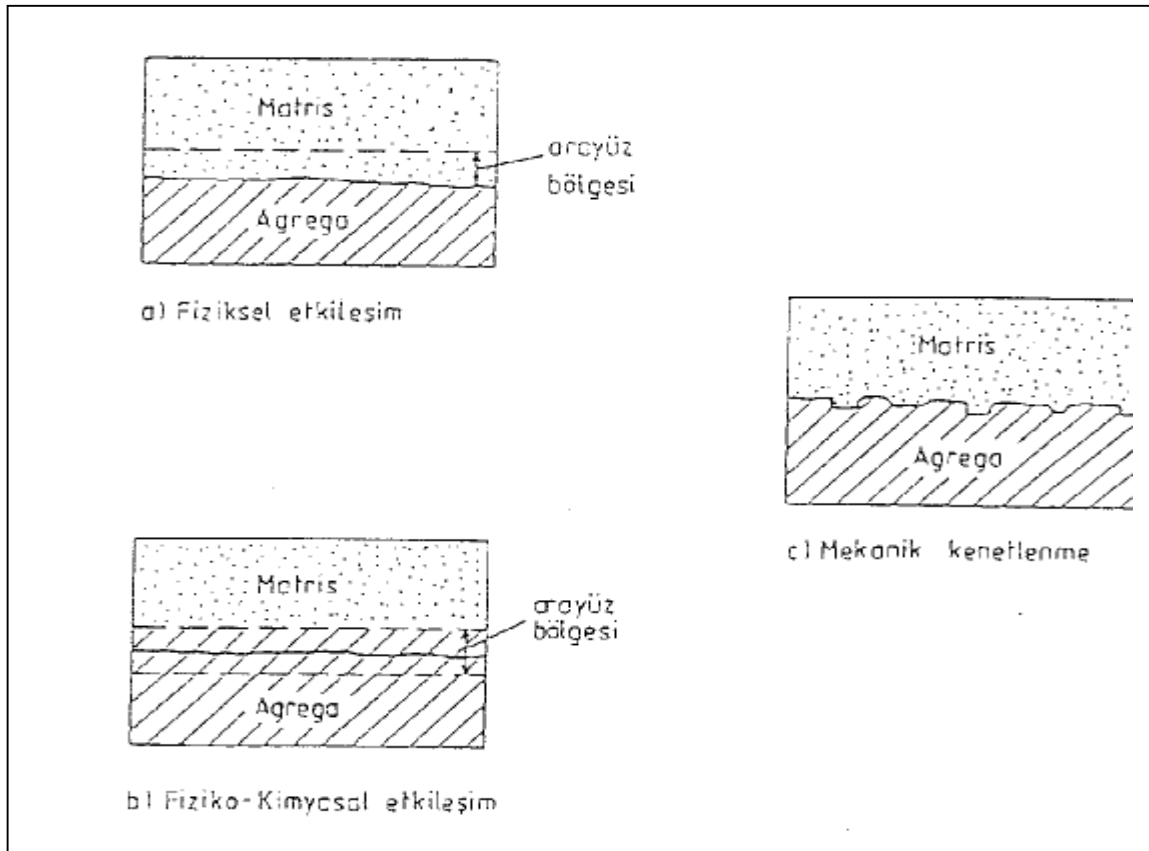
Çimento hamuru matris ile kimyasal etkileşime sahip agregalarda çimento hamuru matrisi ile agrega arasında kuvvetli bir bağ gelişebilir. (Şekil-1.5-b)

- Mekanik Kenetlenme

Bu tip aderans agregaya yüzeyinin pürüzlülüğü ve temas yüzeyindeki kusurlar ile ilgilidir. Boşluklu agregalar veya yüzeyi pürüzlü agregalarda çimento hamuru veya çimentonun hidratasyon ürünleri agregaya yüzeyindeki boşluklara girebilir, Bunlar agregaya ile matrisi birbirlerine bağlayan çoklu kancalar gibi davranırlar, Pürüzlülük ne kadar çoksa ve kusurlar ne kadar az ise kenetlenme o kadar büyük olur. Ayrıca çimento taneleri ne kadar ince olursa bunlar agregaya yüzeylerine o kadar iyi yerleşeceklerinden mekanik aderans o derece artar (Şekil-1.5-c)

Agreganın çimento ile olan bağı agreganın yüzey özelliklerinde olduğu kadar agreganın fiziksel, kimyasal özellikleriyle, mineralojik bileşimiyle ve tane yüzeyinin elektrostatik durumuyla da ilgilidir.

Agreganın mekanik dayanımı, iç yapısı, kimyasal reaksiyonları bağ dayanımına etki eden önemli faktörlerdir.

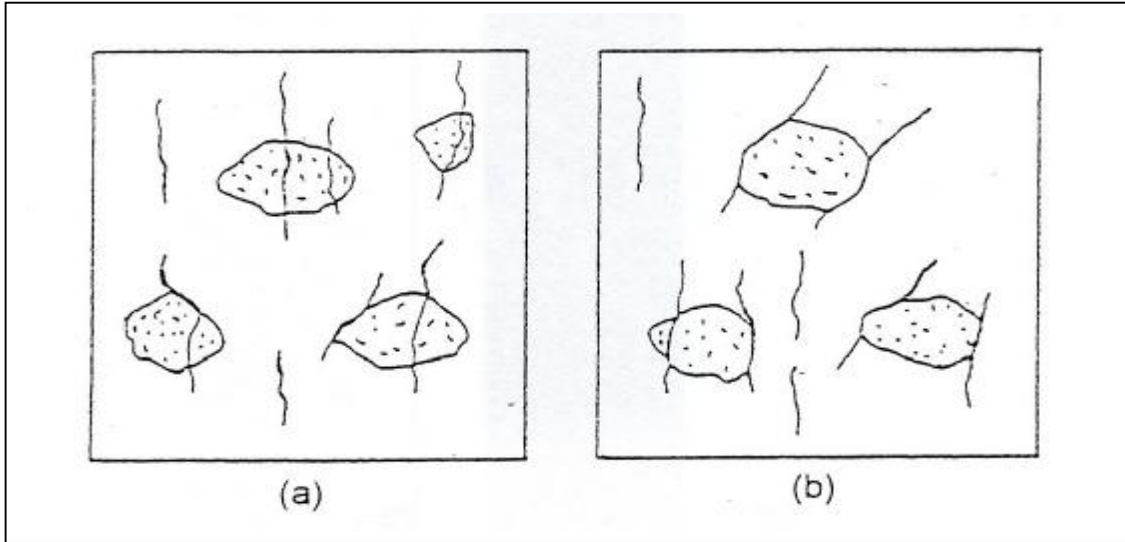


Şekil-1.5 Agregaya ile Çimento Hamuru arasındaki Temas Yüzeyi Etkileşimleri [12]

Betonda atıl bileşen olduğu ve kimyasal reaksiyona girmediği kabul edilen agreg a slında gerçekten atıl değildir ve bazen kimyasal özellikleri de beton performanslı üzerinde etkilidir .

Normal dayanımlı bir betonun kırılma yüzeyleri incelendiğinde çok sayıda yerlerinden sökülüş agreg a tanesi, az sayıda da kırılmış agreg a görülür. Bu durum çimento-agrega arayüzündeki bağın zayıflığına işaret eder. Düşük veya normal dayanımlı bir betonda kırılmış agreg a tanelerinin çokluğu agreg a dayanımının çok az olduğunu gösterir.

Yüksek dayanımlı betonda ise çatlaklar agreg a içinden geçer, kırılmış agreg a taneleri daha fazladır.Şekil-1.6' de yüksek ve normal dayanımlı betonlardaki çatlak oluşumları gösterilmektedir.



Şekil-1.6 Betondaki Çatlak Gelişiminin Gösterimi

a- Yüksek Mukavemetli Betonda b- Normal Mukavemetli Betonda

1.2.6.2.6 İdeal Agreg a Standartları

Agregalar kullanım yeri ve amacına göre, granülo metrik bileşim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 EN 12620 standardının gereklerini yerine getirmelidir. Ayrıca, suyun etkisi altında yumuşamamalı,

dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.

Agrega tanelerinin şekli, olabildiği kadar küresel ve kübik olmalıdır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3' den büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı 8 mm'nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50'den çok olmamalıdır.

Agrega taneleri, istenen özellikli bir betonun yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Betonun yapımında kullanılacak agregalar için (darbe ile dayanıklılık tayini deneyinde) %30'dan, diğer agregalar için ağırlıkça %45'den az kayıp bulunmuş ise agregaya yeterli olarak kabul edilmektedir.

Bir agreganın dona dayanıklılığı öngörülen kullanma amacı için yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı dolayısıyla çoğunlukla çok az miktarda dona duyarlı taneleri içerirler. Sürekli donma ve çözülme olmayan yörelerde bu özellik aranmamaktadır .

Zararlı Maddeler; betonun pirizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını veya doluluğunu (kompasitesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılıp ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkiyen maddeler; yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalardır.

Yıkanabilir maddeler; agregada ince halde dağılmış, toprak halinde veya agregaya tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur.

Humuslu ve diğer organik maddeler; ince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zarar verebilirler. Taneli halde bulunduklarında ise renk değişimine veya şişerek betonun yüzeyinde patlamalara neden olabilirler.

Kükürtlü bileşikler cinslerine, agregaya içindeki miktarlarına ve yapının içinde bulunduğu ortam

koşullarına bağlı olarak, betonda zararlı değişikliklere neden olabilirler. Burada kükürtlü bileşiğin cinsi ve dağılışı önemlidir. Örneğin iyi sıkıştırılmamış betonlarda, hava akımı ve rutubet vasıtasıyla oksitlenen sülfürler ve sülfatlar (alkali sülfatlar jips, anhidrit gibi) zararlı olabilir. Sülfatlar betondaki kireç ve alüminyum bileşikleriyle reaksiyona girerler ve zamanla büyüyen kristaller meydana getirerek betonun parçalanmasına neden olurlar.

Çeliğe zarar veren maddeler; donatılı betonda kullanılacak agregalarda, donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye sokan, örneğin Nitratlar, Klorürler gibi tuzlar zararlı miktarda bulunmamalıdır.

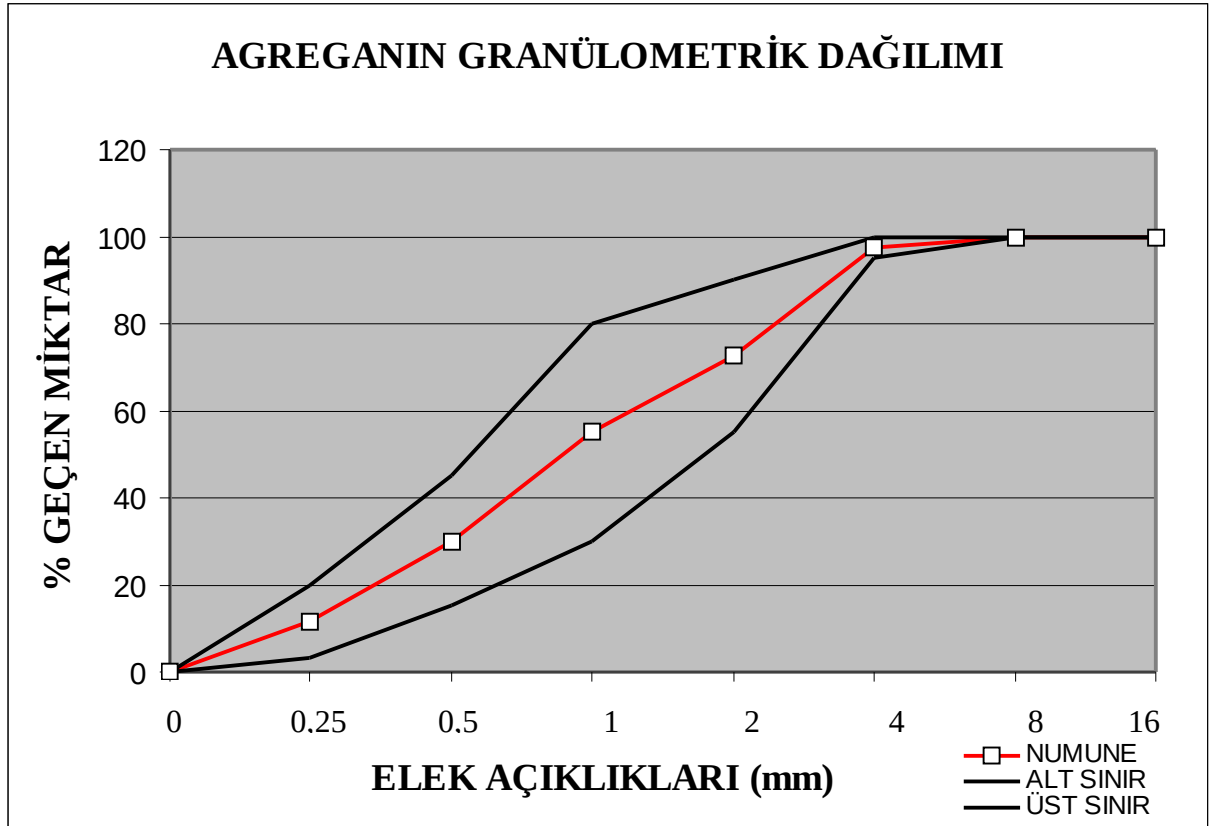
Agregalar içinde kömür ağırlıkça en çok % 1 ve su alınca şişen tabakalaşan maddeler ağırlıkça en çok %0,25 olmalıdır. Deneyle saptanan yumuşak taneler ise ağırlıkça en çok %3 olmalıdır.

Tablo-1.4'de beton kumları ve iri agregalar için yukarıda tanımlanan standart değerler verilmektedir.

Beton yapımında kullanılan agregaların belli bir tane boyutu dağılımına sahip olmalıdır. Yani eleme sonunda elekten geçen malzeme yüzdeleri Tablo-1.5'de verilen değerlere uygun olmalıdır. Amca Şekil-1.7, Şekil-1.8 ve Şekil-1.9 agregaların granülometrik dağılım eğrileri verilmiştir [20].

Tablo-1.5 TS Elek Sistemine Göre Beton Kumu ve İri Agrega Granülometrisi

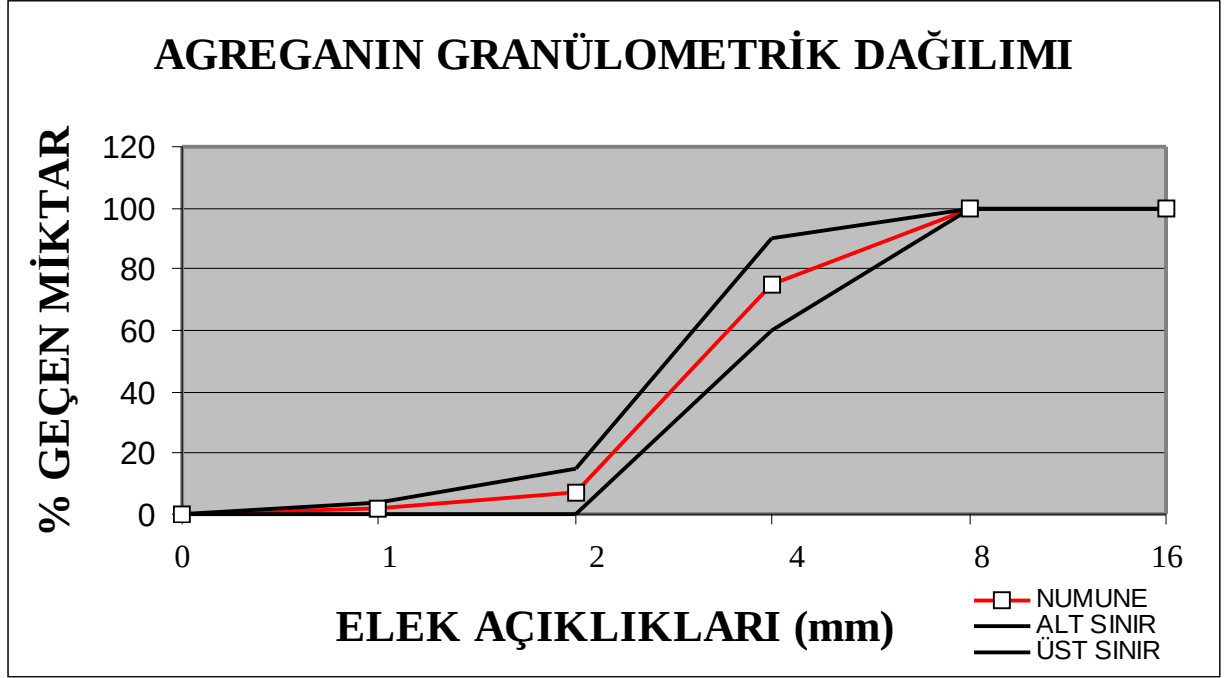
Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Malzeme Miktarı (%)		
	Kum	No:1 Mıcır	No:2 Mıcır
40	-	100	100
31,5	-	100	100
16	-	100	78
8	100	100	8
4	98	75	2
2	73	2	0
1	55	-	-
0,5	30	-	-
0,25	12	-	-



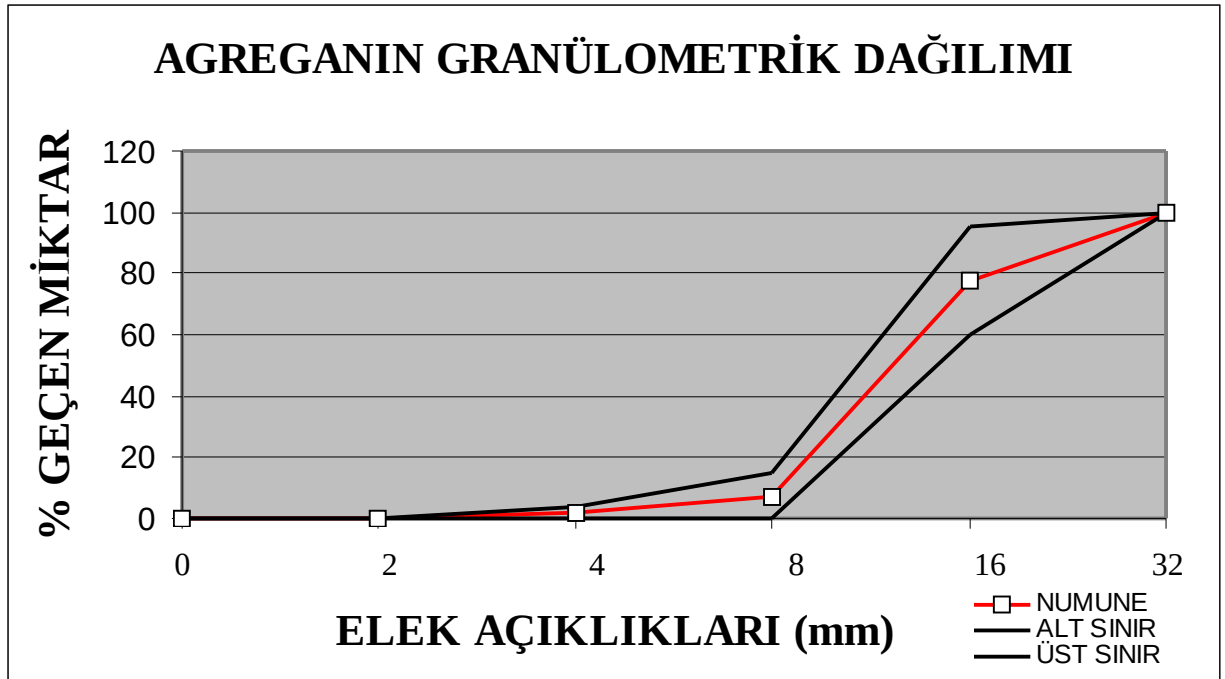
Şekil-1.7 İdeal Beton Kumunun Granülometrik Eğrisi

Tablo-1.4 Agregada Deney Standartları

Standartlar	Kum	İri Agregada
Gevşek Birim Ağırlık (TS 3529)	Min. 1350 kg/m ³	Min 1250 kg/m ³
Özgül Ağırlık (TS 3526)	Min 2550kg/m ³	Min 2600 kg/m ³
Deniz Hayvanı Kabuğu İçeriği	Kompasitenin 0,49 değerinden küçük olması durumunda uygundur.	
Organik Madde (TS 3673)	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan numunenin rengi standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır.	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan numunenin rengi standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır
Çamurlu madde miktarı (TS 3527)	Çökeltme deneyi sonunda çamurlu madde miktarı hacimce %5' den küçük olmalıdır.	63 micron' den daha ince kil, silt veya Taş unu gibi malzemelerin miktarı, yıkama deneyine göre %1,5 değerini aşmamalıdır.
Su Emme Miktarı (TS 3526)	Max. %2	Max. %2
Dona Dayanıklılık	Standart Na ₂ S04 çözeltisi ile yapılan dona dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok %15 olmalıdır.	Standart Na ₂ S04 çözeltisi ile yapılan dona dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok % 15 olmalıdır
Alkaliye Duyarlı Taneler	Çimentoda eşdeğer alkali oksit değeri %0,6'dan büyükse kumda, alkaliye duyarlı taneler ağırlıkça %0,5'den az olmalıdır.	-
Biçimsiz Tane Miktarı (TS3814)	-	Max. % 40'ı aşmamalıdır.
Aşınma Miktarı (TS 3694)	-	Bilyalı tamburda yapılan aşınma deneyi sonunda tayin edilen malzeme kaybı 500 devir sonunda en çok %50 olmalıdır.



Şekil-1.8 İdeal No:1 Mıcırın Granülometrik Eğrisi



Şekil-1.9 İdeal No:2 Mıcırın Granülometrik Eğrisi

1.2.6.3 Su

İçilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanılmaya uygun olmaktadır. Birtakım ön deneyler yapılmak şartıyla, içilemeyen sularla da kaliteli beton üretilebilmektedir. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilmektedir. Karışım suyu ve beton imalâtından çıkan tekrar kullanılacak suyun pr EN 1008: 1997'ye uygunluğu gösterilmelidir.

Beton üretiminde kullanılacak karışım suyunun en önemli görevleri; kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek ve çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlamaktır [21].

1.2.6.4 Kimyasal Katkılar

Betonun birtakım özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton içerisindeki çimento miktarı baz alınarak belli oranlarda katılan organik veya inorganik kökenli kimyasal bileşikler katkı maddesi olarak adlandırılırlar. Katkı maddeleri çoğunlukla beton karışım suyuna katılır. Gereğinden fazla kullanıldığında aksi etkiler oluşturabileceği gibi yine gereğinden az kullanıldığı takdirde hiçbir faydası olmayabilir.

Kurallarına uygun üretilen betonların da katkı maddeleri ile uyumu önceden yapılan deneylerle belirlenmelidir. [21]

Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeleri aşağıda belirtildiği şekilde gruplandırılır.[21]

a) Betonun işlenebilir özelliğini arttırıcı katkı maddeleri(Akışkanlaştırıcı katkılar);

Bu guruba giren katkılar çoğunlukla çimento ağırlığının %0.2 -0.5 arası oranlarda kullanılır. Taze betonun işlenebilirliğini arttıran bu katkılar aynı zamanda beton karma suyu ihtiyacını azalttıklarından betonun dayanımını da arttıırırlar.

b)Süper akışkanlaştırıcılar ;

Daha çok yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan bu katkılarla betonun su/çimento oranını 0.25'lere düşürmek olanaklıdır. Ancak süper akışkanlaştırıcılar normal akışkanlaştırıcılara kıyasla %1-%3 gibi çok daha yüksek dozajlarda kullanılır.

c)Priz süresini değiştiren katkılar;

Taze betonun priz adı verilen sertleşme sürecinin bazı koşullarda hızlandırılması veya geciktirilmesi istenir. Özellikle yaz aylarında, uzun taşıma mesafelerinde priz geciktiriciler, kış aylarında ise priz hızlandırıcılar kullanılır.

d)Hava sürükleyici katkı maddeleri ;

Soğuk iklim koşullarında donma-çözülme tehlikesine karşı koruyan bu maddeler, aynı zamanda betonun işlenebilirliğini arttıırırlar.

e)Antifrizler ;

Bu tip katkılar beton içindeki suyun donma sıcaklığını düşürerek suyun donmasını ve betonun çatlamasını engeller. Ancak soğuk hava şartlarında betona sadece antifriz katkı ilave edilmesi kesin çözüm olmayıp döküm yerinde betonun korunması için özel önlemlerin alınması gereklidir.

f) Hiper Akışkanlaştırıcılar;

Yeni nesil akışkanlaştırıcılardır. % 20-25 oranlarına kadar su kesme özellikleri vardır. Elektrostatik dağılma mekanizmasıyla Çimento partiküllerini harekete geçirir. Bu özellikleriyle de büyük ölçüde su içeriği azaltılmış ancak yüksek akışkan bir beton elde edilir.

g) Diğer katkılar ;

Hafif beton, geçirimsiz beton, rötreyi önleyici, aderansı artırıcı, renklendirici vb...değişik katkı maddeleri vardır. Uçucu kül, silis dumanı gibi puzolanik özelliklere sahip mineral malzemeler de bir yerde katkı maddesi sayılabilir [2].

1.3 AGREGA HAMMADDELERİ VE JEOLJİSİ

Agregalar tabii kum ve çakıl ocaklarından veya kayaların parçalanmasıyla meydana gelen taş ocaklarından elde edilmektedir.

Yapı malzemesi olarak kullanılan, doğal agregaların bileşimi kayaç ve minerallerdir. Mineraller kimyasal bileşimleri tanımlanmış, özel kristal yapısına sahip doğal oluşumlardır. Kayaçlar ise bu minerallerin bir araya gelmesiyle oluşmuşlardır.

Doğal agregalar başlıca; kırılabilir taşlar, hafif agregalar, kum-çakıl, olarak üç grupta sınıflandırılırlar .

Doğal agregalar olarak tanımlanan kırmataşları meydana getiren kayaçlar, kökenlerine göre magmatik (püskürük), sedimanter (tortul) ve metamorfik (başkalaşım) olmak üzere 3 temel grupta toplanmaktadır. Bu kütleler derinlerde, erime, kristalleşme, çeşitli atmosfer etkileri ile dağılma, çökme, basınç, ısı ve kimyasal faktörlerle başkalaşıma uğrayarak bir diğerine dönüşebilmektedir. Kırmataş olarak kullanılan kayaçlar Tablo-1.6'daki gibi sınıflandırılmıştır.

1.3.1 Mağmatik (Püskürük) Kayaçlar

Bu kayaçlar, mağmanın yer içinde veya yeryüzü ile yeryüzüne yakın derinliklerde soğuyarak katılaşmasıyla oluşan homojen ve izotrop yapıli taşlardır.

Mağmanın yer kabuğu derinliklerinde soğumasıyla meydana gelmiş kayaçlara Plütonik (Derinlik) Kayaçları denir. Mağma derinlerde yavaş yavaş soğuduğundan iri ve tam kristallidir. Plütonik kayaçlar 1 mm' den daha büyük tane boyutuna sahip minerallerden oluşmuşlardır. Plütonik kayaçlar, genellikle çatlaklıdır. Ancak taze, ayrışmamış oldukları zaman kırılmaya ve basınca karşı dayanıklıdır. Örnek: Granit, Siyenit, Gabro, Diorit.

Magmanın litosferin yüzey ve yüzeyine çok yakın kısımlarında çok hızlı olarak soğumasıyla meydana gelmiş Kayaçlara Volkanik Kayaçlar denir. Yarı kristalli mağmatik kayaçlardır. Hızlı soğuma nedeniyle camsı veya yarı camsı bir hamur içinde dağılmış halde kristaller olarak oluşmuşlardır. Volkanik kayaçlar 1 mm'den daha küçük tane boyuna sahip minerallerden oluşmuşlardır. Örnek: Kuvarslı porfir, Diabaz, Melafir, Perlit, Trakit, Andezit, Bazalt.

Magmanın yer kabuğunun yüzeye yakın kısımlarında, çatlak ve yarıkları içinde soğuyup katılaşmasıyla oluşmuş kayaçlara Damar Kayaçlar denir. Magmanın soğuma hızı volkanik kayaçlarınkinden daha yavaştır. Görünüş ve yapı bakımından hem plütonitlere hem de volkanitlere benzerler. Damar taşlarının hamur maddesi genellikle mikrokristaller halindedir. Örnek: Granir porfir, Siyenit porfir, Gabro porfir, Diyorit porfir.

Mağmatik (püskürük) kayaçların çoğu sert, dayanıklı ve yoğun olduklarından çok iyi agrega malzemesidirler. Tüfler ve lavlar gaz kabarcıklarından dolayı poröz olmaktadır. Bunlar bu nedenden dolayı çoğu zaman düşük mukavemetli, hafif ve yüksek absorbsiyonludurlar. Hafif Beton haricindeki Beton agregası olarak kullanılması uygun değildir.

Tablo-1.6 Doğal Kırmataş Hammaddelerinin Jeolojik Sınıflandırması [22]

Grup	Genel Sınıflama	Kayaç	Özgül Ağırlık (Gr/cm ³)
Mağmatik	Plütonik	Granit	2,60
		Siyenit	2,70
		Diyorit	2,80
		Gabro	2,90
		Peridotit	2,90
	Volkanik	Riyolit	2,60
		Trakit	2,60
		Andezit	2,60
		Bazalt	2,80
		Diyabaz	2,90
Sedimanter	Kimyasal (Karbonatlı)	Dolomit	2,70
		Kireçtaşı	2,60
	Kırıntılı (Silisli)	Konglomera, Kumtaşı, Kuvarsit, Arkoz, Kiltaşı, ŞeyI, Arjilit, Çört, Grovak	2,60
Metamorfik	Foliasyonlu	Amfibolit	3,00
		Şist	2,80
		Gnays	2,70
		Sleyt, Fillit	2,70
	Foliasyonsuz	Mermer	2,70
		Kuvarsit	2,80

1.3.2 Tortul (Sedimanter) Kayaçlar

Mağmatik ve Metamorfik kayaçların çeşitli atmosferik ve tektonik olaylar sonucu parçalanarak tabakalar halinde tortullaşması ile meydana gelmiş, heterojen boşluklu ve fosil yapıli kayaçlardır. Tabakaların yönü ve bağlayıcının cinsi mukavemeti ve su geçirirnililiği etkileyen faktörlerdir. Bağlayıcının silis esaslı olması mukavemeti artırmaktadır.

Kum taşları ve kalkerler, kayacı ufalanabilir ve yumuşak hale getiren kili de içerebilirler. Kil miktarının artması ile bunlar kumlu veya kalkerli şeyler sınıfına girmektedirler. Şeyler yumuşak, zayıf ve absortiv olması nedeniyle genellikle iyi agrega malzemesi değildir. İnce tabakalar halinde oluşan şeyler düz ve kalın dilimli biçimde parçalanarak kum ve çakıl haline gelmektedirler. Konglomeralarda işlenme ve aşınma esnasında daha küçük parçalara ayrılmaya elverişli oldukları için agrega olarak uygun değildir.

1. 3. 3. Metamorfik Kayaçlar

Püskürük ve tortul kayaçların sıcaklık, basınç ve gerilme etkisi altında kalarak yeni karakterler kazanması ile meydana gelen kayaçlara metamorfik kayaçlar denilmektedir. Metamorfik kayaçlar yeni yapı ve yeni mineralojik bileşim gösterirler.

Metamorfik kayaçlar özellikleri bakımından çok değişiklik gösterirler. Mermer ve kuvarsitler genellikle masif, yoğun, sağlam ve dayanıklıdır. Gnayslar genel olarak çok sağlam ve dayanıklı olmakla beraber şistlerin istenmeyen özelliklerini de ihtiva edebilirler. Şistler ince levhalardan oluştuklarından dilimler halinde ayrışır, genel olarak, büyük miktarda mikali mineraller ihtiva ederler. Bunlar ise beton agregasında istenen mukavemeti azaltır. Diğer taraftan bazı şistler de agrega olarak elverişlidirler. Arduvazlar ince levhalı olduklarından agrega olarak kullanılamazlar [22].

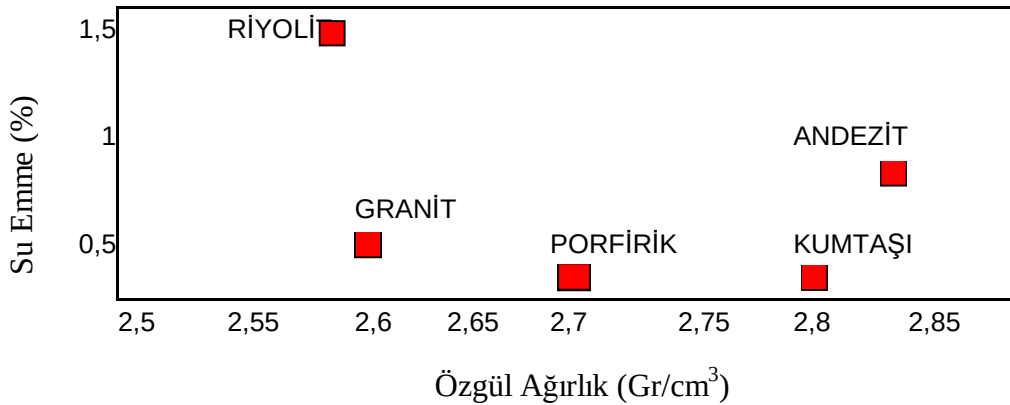
1.4 FARKLI AGREGA TÜRÜNÜN BETON MUKAVEMETİNE ETKİSİYLE İLGİLİ YAPILMIŞ ARAŞTIRMALAR

Mineralojik sınıflandırma agregâ özelliklerinin belirlenmesinde yardımcı olur ancak agregânın beton içindeki performansını belirlemede temel alınamaz çünkü genel olarak agregada bulunması istenen veya istenmeyen mineraller yoktur [9].

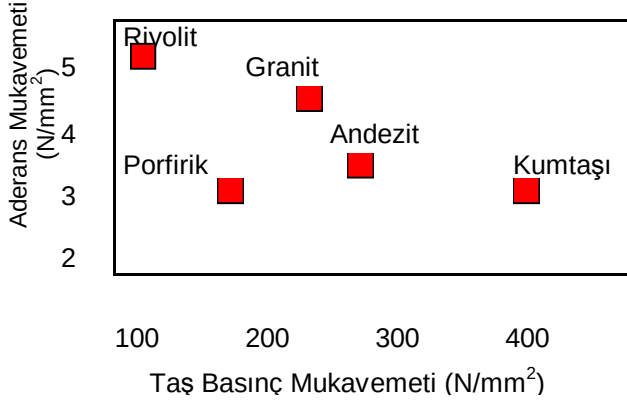
Agrega türü ve özelliklerinin betonun eğilme ve basınç dayanımını inceleyen Kaplan [23] 13 farklı agregâ kullanarak 3'er farklı beton karışımı üretmiştir. Aynı karışım oranları kullanımasına rağmen eğilme dayanımında % 40'a, basınç dayanımında ise %30'lara varan değişimler elde etmiştir. Agregânın şekli, yüzey yapısı ve elastisite modülü gibi özelliklerinin betonun mekanik davranışında etkili olduğunu ve dayanım arttıkça bu özelliklerin daha önem kazandığını ortaya koydu.

Kawakami [24] 5 tür agregâ kullanarak betonlar üretmiştir. Şekil-1.10'da bu agregâ özellikleri arasındaki ilişkiler verilmiştir.

Bu taşlarla üretilmiş model numunelerle yapılan deneylerden elde edilen çimento hamuru ile aderans değerlerinin taşların basınç dayanımı ve elastisite modülüne göre değişimleri ise Şekil-1.11'da gösterilmektedir.



Şekil-1.10 Agregâ özellikleri Arasındaki İlişki [24]



Şekil-1.11 Kayaç Özellikleriyle Aderans Dayanımı Arasındaki İlişki [24]

Bu şekillerin incelenmesinden şu sonuçlar çıkartılabilir: Su emmesi yüksek taşların çimento hamuru ile aderansı, dışa açık boşluklarında hidratasyon ürünlerinin gelişmesine bağlı olarak yüksektir. Taşın basınç mukavemeti ve elastisite modülü arttıkça aderans mukavemeti azalmaktadır. Rijitliği düşük ve su emmesi yüksek agregaların kullanılmasıyla aderans mukavemetindeki şekil değiştirmelerin artabileceği buna karşılık betonun basınç mukavemetinin azalacağı beklenebilir.

Alexsander ve Milne [25] dört farklı tipte agrega ve portland çimentosu ile bazı puzolanlar kullanarak yaptıkları çalışmada betonun mekanik davranışını çeşitli yaşlarda incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, verilen bir su/çimento oranı için agrega türüne göre basınç dayanımı 20 MPa kadar değişebilmektedir. Araştırmacıların buldukları sonuçlara göre özgül ağırlıkları nisbeten yüksek olan dolomit ve andezit agregalarıyla portland çimentosu kullanılarak yapılan betonların rijitlikleri daha fazladır. Granit ve kuvarsit ile yapılan betonların elastisite modülleri ise daha düşük bulunmuştur. Farklı türdeki agrega ve bağlayıcının geçiş bölgenin yapısını etkilediği bunun ise beton özelliklerinde etkili olduğunu, bu etkinin aynı zamanda yaşa bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Giaccio [26] bazalt, granit ve kireçtaşı kullanarak yüksek mukavemetli betonlar üzerinde yaptıkları çalışmada daha yüksek rijitliğe sahip agregaların daha düşük dayanıma yol açmadığını, agrega-çimento hamuru bağ dayanımının eğilme durumunda basınca göre daha önemli hale geldiğini, yüksek dayanımlı betonlarda agrega özelliklerini etkisinin arttığını savunmuşlardır. Araştırmacılar, ürettikleri numunelerde süreksizlik ve çözülme sınırlarını da

incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre çözülme sınırının kullanılan agregâ türünden etkilendiğini, süreksizlik sınırının ise agregâ türünden bağımsız olarak neredeyse sabit olduğunu ileri sürmüşlerdir. Yüksek dayanımlı betonlarda matris dayanımının agregâ dayanımına yakın olmasından dolayı çatlakların agregâ içinden geçme olasılıklarının artacağı ve normal betona göre kırılma mekanizmasının değişeceğini belirtmişlerdir.

Tighiouart [27] ise dört tür agregâ kullanarak su/çimento oranları 0,22 ve 0,27 olan iki seri yüksek dayanımlı ve su/çimento oranları 0,50 olan bir seri normal dayanımlı beton üretmiş, bu betonların mekanik ve elastik özelliklerini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre yüksek dayanımlı betonlarda basınç dayanımı %24, elastisite modülleri ise % 50 kadar farklılık göstermiştir. Su/çimento oranına bağlı olan çimento hamuru dayanımının, betonların yükleme ve boşaltılmasıyla elde edilen histerisiz eğrilerinin kalınlığını etkilediğini, bu eğrilerin şekillerinin ise iri agregâ tarafından kontrol edildiğini belirtmişlerdir.

Çetin ve Carrasquillo [28] agregâ türü ve hacim konsantrasyonunun etkilerini inceledikleri çalışmada özgül ağırlıkları $2,5 \text{ gr/cm}^3$ ile $3,14 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişen 5 tür agregâ kullanarak 0,28 su/çimento oranında betonlar üretmişlerdir. Çakıl içeren betonlar tüm üretim tiplerinde en düşük basınç dayanımlarını göstermiştir.

Bu durum çakılın şekil ve yüzey yapısına bağlı olarak iyi mekanik kenetlenmenin olmamasına bağlanmıştır. Çimento hamuruna göre önemli derecede sert olan agregaların yüksek gerilme seviyelerinde agregâ-çimento hamuru arayüzeyinde gerilme yığılmaları oluşturduğu ve arayüz bölgesinde mikro çatlaklara yol açtığı savunulmuş, buna kanıt olarak da çatlakların bu agregaların çevresinden ilerlerken, daha yumuşak agregâ içeren betonlarda çatlakların agregâ tanesinin içinden geçmesi gösterilmiştir. Bulunan sonuçlara göre, daha küçük agregâ içeren betonlar daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşmışlardır.

Lindgard ve Smeplass [29] yaptıkları çalışmalarda, 0,30 ve 0,40 su/çimento oranları ile değişik dozajlarda silis dumanı içeren numunelerde 6 tür agregâ kullanmışlardır. Araştırmacılar agregâ dayanımının yüksek dayanımlı betonlardaki etkisinin, bağlayıcının etkisine göre daha sınırlı olduğunu savunmuşlardır. Sağlam ve rijit bir agreganın temas yüzeyinde daha yüksek gerilme yığılmalarına yol açarak daha düşük bağlayıcı gerilmelerinde

kırılma olacağını belirtmişlerdir. Bu hipoteze karşın, basınç altında gerilme - şekil değiştirme diyagramının azalan kısmının agrega tipiyle fazla etkilenmediğini iddia etmişlerdir. Değişik agrega türlerinin elastisite modülleri arasındaki fark ise betonun elastisite modülüne yansımıştır. Kuvarslı diyorit dışındaki agregalarla yapılan betonlarda, kayacın elastisite modülünün artmasıyla betonun elastisite modülü de artmaktadır. Kuvarslı diyoritin elastisite modülü yüksek olduğu halde betonun elastisite modülü diğerlerine oranla bir miktar düşük bulunmuştur.

Gutierrez ve Canovas [30] yüksek dayanımlı betonlar için malzeme seçimi ve karışım oranları için bazı öneriler getirmişlerdir. 6 farklı agrega kullandıkları çalışmalarında agreganın beton kıvam ve dayanımına etkilerini incelemişlerdir. Betonun kıvamını en çok etkileyen temel agrega özeliği su emmesidir. Agreganın su emmesi işlenebilmeyi azaltır. Agregaların su emmelerinin yakın olması durumunda işlenebilmeyi etkileyen diğer faktörler ise tane şekli, granülometri, maksimum tane boyutu gibi özelliklerdir. Araştırmacılar mekanik özellikleri birbirlerine yakın iki tip agregadan, kireçtaşı ile üretilen betonun daha iyi sonuç verdiğini görmüşler, bunun nedeni olarak da kireçtaşı agregasının çimento hamuru ile arasındaki iyi epitaksi bağı göstermişlerdir.

Taşdemir ve arkadaşları [31] tarafından yapılan çalışmada iki tip kalker kullanılmış, beyaz kalker içeren betonlar gri kalkere göre daha yüksek dayanımlar göstermiştir.

Beyaz kalker içeren betonların daha yüksek dayanım göstermesi beyaz kalkerin elastik olarak daha uyumlu olmasına ve agrega-matris arayüzünde daha üniform gerilme dağılımları oluşturmaya bağlanmıştır. Beyaz kalker gri kalkerden daha çok su emmektedir. Hidratasyon sırasında bu su arayüzeyde kullanılmakta bunun sonucunda ise agrega-çimento hamuru arasındaki bağın iyileşmesi ile birlikte beton dayanımı da artmaktadır. Beyaz kalkerin mineralojisi de bu sonuçlarda etkili olabilir.

Özturan ve Çeçen [32] bazalt, kalker ve çakıl kullandıkları çalışmalarında, en yüksek dayanıma, düşük beton sınıfında kalker içeren betonun, yüksek beton sınıfında ise bazalt içeren betonun ulaştığını gördüler. Çakıl ise her sınıfla en düşük dayanımları vermiştir. Beton karışım oranlarını değiştirmeden, sadece daha yüksek dayanımlı çimento kullanarak çakılla da yüksek dayanıma ulaşmaya çalışmışlar, bağlayıcı kalitesini artırmanın çakıl içeren betonun

eğilme ve yarma dayanımlarını yaklaşık % 30 yükselttiğini ancak basınç dayanımını pek etkilemediğini görmüşlerdir. Bu sonuçlara dayanarak yüksek dayanımlı betonlarda çekme mukavemetinin temel olarak harçtan, basınç dayanımının ise agreganın yüzey özellikleri ve dayanımından etkilendiği sonucuna varmışlardır.

De Larrard ve Belloc da [33] beton sınıfına göre agrega tercihi yapılabileceğini normal ve yüksek dayanımlı betonlarda agrega kaynaklarının değiştirilerek daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini belirttiler.

Tokyay [34] dere çakılı, granit, diabaz ve kireçtaşı kullanarak yüksek dayanımlı betonlar üretmiştir. Basınç dayanımı en düşük kayaç olan kireçtaşı ile yapılan betonlar en yüksek dayanıma ulaşmıştır. En düşük dayanım ise dere çakılıyla yapılan betonlarda görülmüştür.

Şengül [7] bazalt, beyaz kalker, gri kalker ve kumtaşı kullanarak C-18 ile C-90 arasında 6 sınıf beton üretmiştir. Bu denemeler sonucunda düşük beton sınıflarında beyaz kalker kullanılan betonun daha yüksek değerlerde kırıldığı görülmüştür. Ancak yüksek beton sınıflarında bazalt ile üretilmiş betonların daha yüksek değerlerde kırıldığı görülmüştür. Denemelerde en düşük değerleri kumtaşı ile yapılan betonlar vermiştir.

Koç [22] bazalt, gri kalker ve beyaz kalker kullanarak yaptığı C-20 ve C-35 Beton sınıflarındaki denemelerinde elde ettiği sonuçlara göre her iki sınıf da da bazaltın diğer kalkerlere göre yüksek değerlerde kırıldığını ortaya koymaktadır. Beton sınıfı arttıkça bazalt ile kalkerler arasındaki beton mukavemet değer aralığının da arttığını ortaya koymaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Günümüzde özellikle deprem ortamlarında beton mukavemetinin önemli bir derecede betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi ve beton performansının daha yükseklere çıkartılması amacıyla uygun malzemelerin kullanılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında İzmir Bergama Graniti ve Bazaltı, Eskişehir Andeziti, Gebze Gri kalker ve Podima Deniz kumu kullanılarak C-20, C-35, C-50 ve C-90 sınıflarında beton üretilmiştir.

Çimento hamurunun agrega kalitesine ve basınç dayanımına etkisini ortaya koyabilmek amacıyla da her bir beton sınıfında üretilen betonların üç ayrı açıdan incelenmiştir. Her bir beton sınıfı için Kimyasal katkı kullanılmadan, Kimyasal katkı kullanılarak ve Çelik Teller kullanılarak beton karışımları gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışma bölümünde kullanılan hammaddelerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri incelenmiş, buna uygun beton karışımları teşkil edilerek basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2.1. KULLANILAN MALZEMELER

2.1.1 Çimento

Bütün üretimlerde Nuh Çimento Fabrikasının üretimi olan PÇ 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimento üzerinde TS 24'e göre yapılan deneylerin sonuçları aşağıda verilmektedir.

Fiziksel Özellikler

Blaine Özgül Yüzeyi (m^2/Kg): 3570

90 mikronluk elekte kalan (%): 0,2

45 mikronluk elekte kalan (%): 6,2

Özgül ağırlık (Gr/cm^3): 3,19

Le Chatelier halkalarının

toplam açılması (mm): 2
 Priz Başlangıcı: 2 saat 30 dakika
 Priz Sonu: 3 saat 9 dakika

Mekanik Özellikler

Rilem-Cembureau Metodu ile bulunan Basınç Dayanımları Tablo-2.1’de verilmiştir.

Tablo-2.1 Çimento Basınç Dayanımları

Basınç Dayanımları, N/mm ²		
2 Gün	7 Gün	28 Gün
28,6	40,1	50,2

Kimyasal Özellikler

Tablo-2.2 Çimentonun Kimyasal Analizi

SiO ₂	% 20,03
Al ₂ O ₃	% 5,06
Fe ₂ O ₃	% 3,60
CaO	% 63.24
MgO	% 1,42
SO ₃	% 2,74
K ₂ O	% 0,78
Na ₂ O	% 0,27
Cl	% 0,04
TiO ₂	% 0,31
Kızdırma kaybı	% 1,14

Kullanılan Çimento PC 42,5 TS 19 Standardına uygundur.

2.1.2 Karışım Suyu

Karışımlarda şebeke suyu kullanılmıştır. Şebeke suyunun kimyasal analizi Tablo-2.3’de gösterilmiştir.

2.1.3 Kimyasal Katkılar

C-20 ve C-35 beton sınıflarında Chryso firmasına ait Chryso Fluid AG süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Chryso Fluid AG, çimentonun % 0,8-3 oranında kullanılabilir. Denemelerde Kimyasal katkı oranı % 1 olarak alınmıştır. % 10-20 arasında bir su kesme özelliğine sahiptir.

Görünüm: Sıvı

Renk: Kahverengi

Yoğunluk: $1,20 \pm 0,01$

pH: 8 ± 1

Katı Madde: % 40 ± 1

C-50 ve C-90 beton sınıflarında ise yine Chryso firmasına ait Premia 190 Hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Premia 190 geleneksel süper akışkanlaştırıcı katkı malzemelerine göre değişik bir kimyasal yapıya sahiptir. Uzun kenar zincirli karboksilik eter polimerlerden oluşur. Karıştırma işleminin başlangıcında, geleneksel süper akışkanlaştırıcılarda olduğu gibi, elektrostatik dağılma mekanizmasını harekete geçirir. Bu işlemle su içeriği büyük ölçüde azalan bir akışkan beton elde edilir. Ancak polimer omurgasına bağlı yan zincirler çimento partiküllerinin dağılma ve yayılma yeteneğini büyük ölçüde stabilize eden sterik bir engel oluşturur. Denemelerde Premia 190 çimentonun %0,8 oranında kullanılmıştır.

Görünüm: Sıvı
 Renk: Sıtlı gri yeşil
 Yoğunluk: $1,055 \pm 0,01$
 pH: 8 ± 2

Katı Madde: % $26 \pm 1,3$

Na O eşdeğeri: < %1,5

Klorür içeriğı: < %0,1

Katkılar ASTM C 494 Tip F standardına uygundur.

2.1.4 Çelik Teller

Beksa firmasının Bekaert patentıyla üretmiş olduğı çelik tellerden 80 tipi kullanılmıştır. Boy/çap oranına göre sınıflandırılmış 80/60 tipi ve diğ er tip çelik teller, başka firmaların üretmiş olduğı çelik tellerde en farklı yönü, beton içerisinde daha homojen bir karışım sağlayabilmek amacıyla tek sıra halinde tutkalla birbirine yapıştırılmış olmasıdır.

Deneme karışımların bütün beton sınıflarında m^3 'de 20 Kg olacak şekilde Dramix adlı çelik teller kullanılmıştır.

Uzunluk: 60

Çap: 0,75

Çekme dayanımı: 1050 N/mm^2

Çelik teller ASTM A820 sınıfına uygundur.

2.1.5 Agreg a

Denemelerde kullanılan agregalar Kum, No:1 Mıcır, No:2 Mıcır ve Taş Tozlarıdır. Tüm denemelerde aynı kum kullanılmıştır. İzmir Bergama Graniti ve Bazaltı, Eskişehir Andezit'i, Gebze Gri Kalkeri ve Podima Kumu denemelerde Agreg a olarak kullanılmıştır.

2.1.5.1 Podima Deniz Kumu

Kum taneleri, tane bazında renksiz, mat-donuk beyaz, bej, beyaz, gri, koyu gri ve siyahımsı renklerde. Tanelerin yuvarlaklıkları; yuvarlaktan-köşeliye kadar tüm tipleri içerir, küresellikleri ise düşük-orta derecededir. Malzeme asit ile muamelede (%10 HCl) şiddetli reaksiyon göstermiştir.

Malzemenin bileşen/mineral kompozisyonu ve bunların modal oranları Tablo-2.4'de verilmiştir.

Tablo-2.4 Podima Deniz Kumunun Bileşen/Mineral Kompozisyonu ve Modal Oranları

Mineral/Bileşen	% Oran
Kuvars	73-80
Feldspat	6-8
Karbonat Minerali (Kalsit+ Aragonit)+ Kavkı parçası	10-12
Piroksen+ Amfibol	3-4
Olivin+Epidot	0,5
Turma1İN	1
Gröna	1
Manyetik mineral	0,5'den az

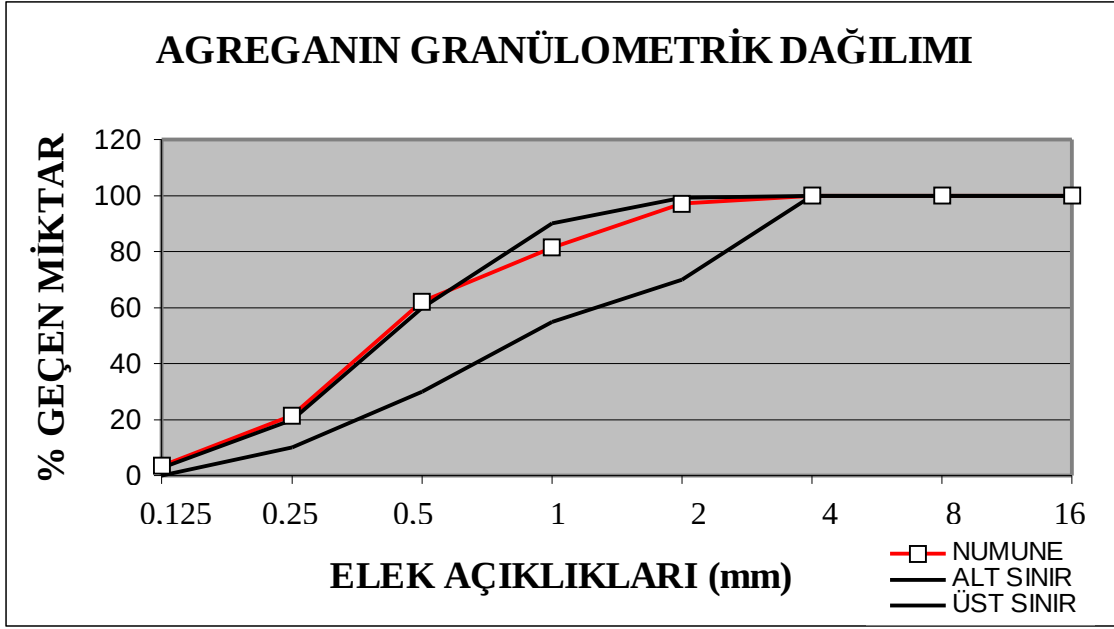
Beton karışımlarında 0-4 mm boyutunda podima kökenli deniz kumu kullanılmıştır. Bu kum üzerinde yapılan özgül ağırlık, gevşek birim ağırlık, organik madde tayini, çamurlu madde ve su emme deney sonuçları Tablo-2.5'da verilmiştir. Granülometrik bileşimi TS 706 EN-12620'de belirtilen elek sistemine göre belirlenmiştir. Malzemenin boyut dağılımı Tablo-2.6'de, İdeal Deniz Kumu elek aralık eğrisi Şekil-2.1'de gösterilmiştir.

Tablo-2.5 Podima Deniz Kumu Fiziksel Özellikleri

Kum Fiziksel Özellikler	Deney Sonuçları
	Kum
Gevşek Birim Ağırlık (Kg/m ³)	1397
Özgül Ağırlık (Kg/m ³)	2615
Çökeltme Yoluyla İnce Madde Oranı (Ağırlıkça %)	2,4
Yıkama Yoluyla İnce Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	1,02
Su Emme Organik Madde (%)	0,80
Organik Madde (Renk Skalası)	Renksiz
İncelik Modülü	1,39

Tablo-2.6 Podima Deniz Kumunun Tane Boyut Dağılım Tablosu

Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	%Geçen	% Geçen
16	0,00	0,00	0,00	0	100	-
8	1,90	1,90	0,10	0	100	100
4	1,40	3,30	0,17	0	100	100
2	56,70	60,00	3,00	3	97	70-99
1	317,10	377,10	18,86	19	81	55-90
0,5	386,70	763,80	38,19	38	62	30-60
0,25	811,80	1.575,60	78,78	79	21	Eki.20
0,125	350,10	1.925,70	96,29	96	4	0-3
TAVA	74,30	2.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	2.000,00					



Şekil-2.1 Deniz Kumunun Granülometrik Eğrisi

2.1.5.2 Granit

İzmir Bergama Graniti ince ve sık kristalli bir yapıya sahiptir. Türkiye'deki klasik gri görünümündedir.

Kimyasal	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
Analiz	% 63,8	% 14,8	% 1,3	% 2,7	% ,8	% 2,3	% 2,7	% 5	% 1,1

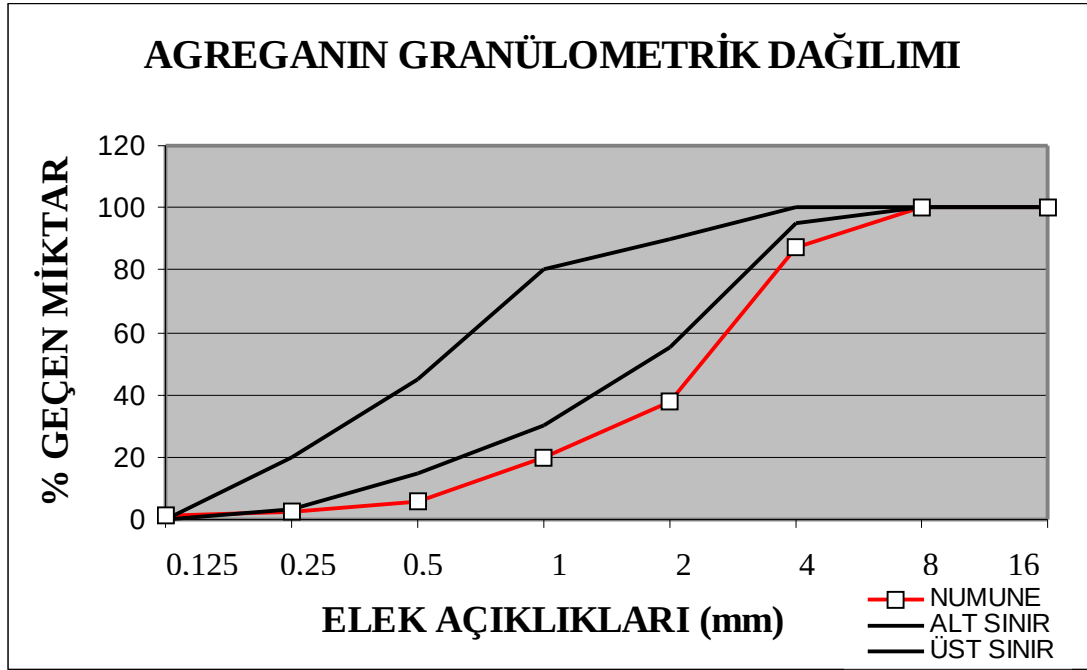
Granit agregasıyla ilgili Fiziksel Özellikleri Tablo-2.7'de, Kırma Granit Taş Tozu'nun tane boyut dağılımı Tablo-2.8'de, Kırma Granit Taş Tozu'nun Granülometrik Eğrisi Şekil-2.2'de, Kırmataş No:1 Granit Mıcırının tane boyut dağılımı Tablo-2.9'da, Kırmataş No:1 Granit Mıcırının Granülometrik Eğrisi Şekil-2.3'de, Kırmataş No:2 Granit Mıcırının tane boyut dağılımı Tablo-2.10'da, Kırmataş No:2 Granit Mıcırının Granülometrik Eğrisi Şekil-2.4'de gösterilmiştir.

Tablo-2.7 Granitin Fiziksel Özellikleri

Granit Fiziksel Özellikler	Deney Sonuçları		
	NO:1 Mıdır	NO:2 Mıdır	Taş Tozu
Gevşek Birim Ağırlık (Kg/m ³)	1395	1368	1402
Özgül Ağırlık (Kg/m ³)	2682	2663	2691
Yıkama Yoluyla İnce Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	0,42	0,36	0,82
Su Emme (%)	0,74	0,56	1,09
Basınç Dayanımı (Kgf/cm ²)	2219		

Tablo-2.8 Kırma Granit Taş Tozu'nun Tane Boyut Dağılım Tablosu

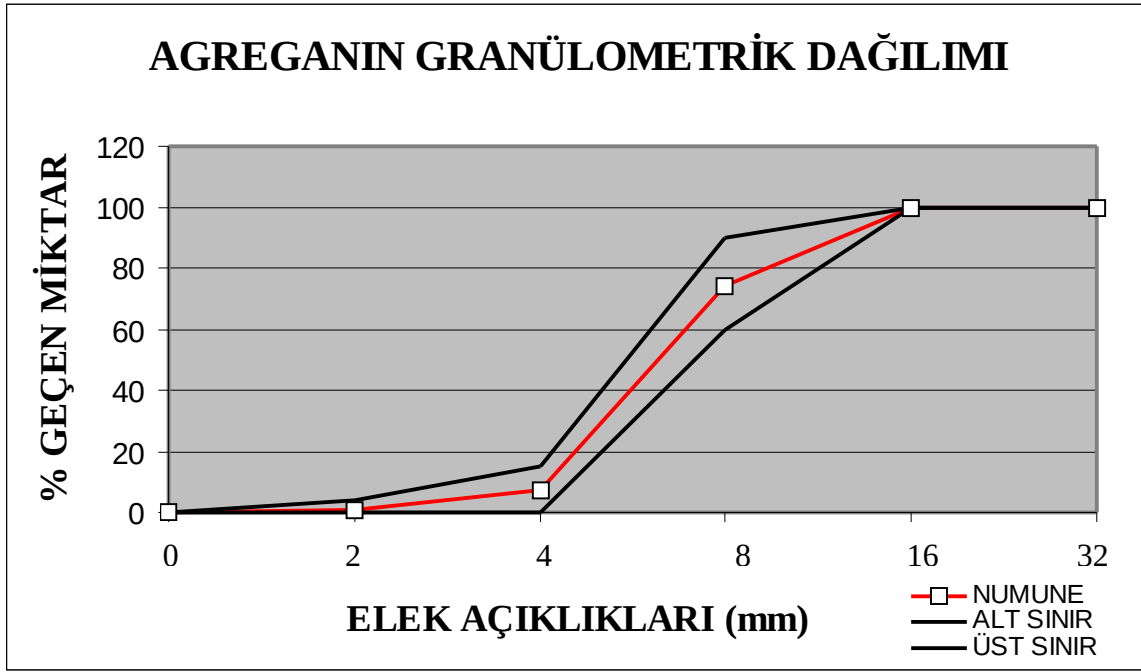
Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	%Geçen	% Geçen
16	0,00	0,00	0,00	0	100	-
8	0,00	0,00	0,00	0	100	100
4	256,10	256,10	12,81	13	87	90-100
2	985,20	1.241,30	62,07	62	38	55-90
1	364,20	1.605,50	80,28	80	20	35-75
0,5	278,20	1.883,70	94,19	94	6	15-40
0,25	62,90	1.946,60	97,33	97	3	8-20
0,125	26,87	1.973,47	98,67	99	1	-
TAVA	26,53	2.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	2.000,00					



Şekil-2.2 Kırmataş Taş Tozu'nun Granülometrik Eğrisi

Tablo-2.9 Kırmataş No:1 Granit Mıcırın Tane Boyut Dağılım Tablosu

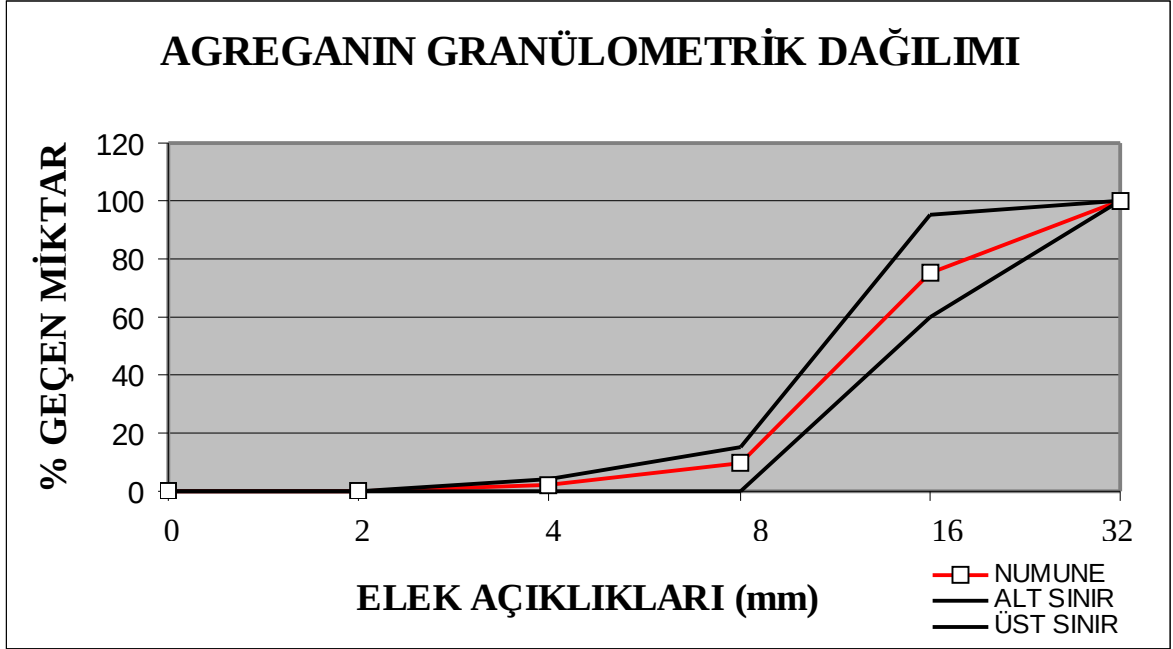
Elekt Açıklığı (mm)	Her Elektte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elekt Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elekt Aralığı
				% Kalan	%Geçen	
31,5	0,00	0,00	0,00	0	100	-
16	0,00	0,00	0,00	0	100	95-100
8	1.037,40	1.037,40	25,94	26	74	50-90
4	2.678,60	3.716,00	92,90	93	7	0-15
2	268,40	3.984,40	99,61	100	0	0-4
TAVA	15,60	4.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	4.000,00					



Şekil-2.3 Kırmataş No:1 Granit Mıcırının Granülometrik Eğrisi

Tablo-2.10 Kırmataş No:2 Granit Mıcırın Tane Boyut Dağılım Tablosu

Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	%Geçen	% Geçen
40	0,00	0,00	0,00	0	100	-
31,5	0,00	0,00	0,00	0	100	100
16	989,20	989,20	24,73	25	75	60-95
8	2.625,40	3.614,60	90,37	90	10	0-15
4	307,60	3.922,20	98,06	98	2	0-4
2	69,10	3.991,30	99,78	100	0	-
TAVA	8,70	4.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	4.000,00					



Şekil-2.4 Kırma No:2 Granit Mıcırının Granülometrik Eğrisi

2.1.5.2 Bazalt

Bazalt makroskopik yönden koyu gri-siyah renkli, ince taneli masif yapıda zor kırılan özellikli olup, mikroskop altında ise; iri taneli olivin, piroksen, plajiolklas kristalleri ile bunları çevreleyen ince kristall mikrolitli girift doku altında matriks gözlenir.

Kimyasal	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO	MgO	CaO
Analiz	% 43,6	% 1,26	% 8,13	% 0,05	%36,48	% 0,88

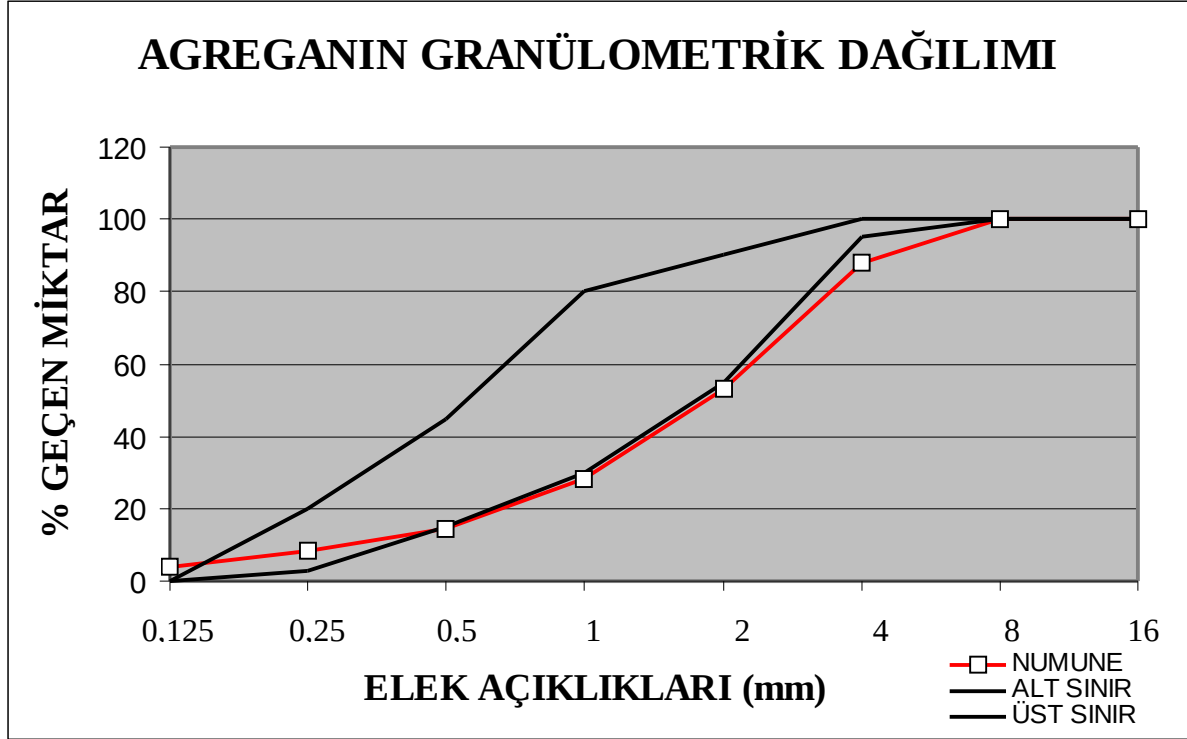
Bazalt agregasıyla ilgili Fiziksel Özellikleri Tablo-2.11’de, Kırma Bazalt Taş Tozu’nun tane boyut dağılımı Tablo-2.12’de, Kırma Bazalt Taş Tozu’nun Granülometrik Eğrisi Şekil-2.5’de, Kırmataş No:1 Bazalt Mıcırının tane boyut dağılımı Tablo-2.13’de, Kırmataş No:1 Bazalt Mıcırının Granülometrik Eğrisi Şekil-2.6’de, Kırmataş No:2 Bazalt Mıcırının tane boyut dağılımı Tablo-2.14’de, Kırmataş No:2 Bazalt Mıcırının Granülometrik Eğrisi Şekil-2.7’de gösterilmiştir.

Tablo-2.11 Bazalt Fiziksel Özellikleri

Bazalt Fiziksel Özellikler	Deney Sonuçları		
	NO:1 Mıcır	NO:2 Mıcır	Taş Tozu
Gevşek Birim Ağırlık (Kg/m ³)	1421	1359	1474
Özgül Ağırlık (Kg/m ³)	2685	2624	2704
Yıkama Yoluyla İnce Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	0,52	0,21	1,57
Su Emme (%)	0,42	0,37	0,60
Basınç Dayanımı (Kgf/cm ²)	2452		

Tablo-2.12 Kırma Bazalt Taş Tozu'nun tane boyut dağılımı Tablosu

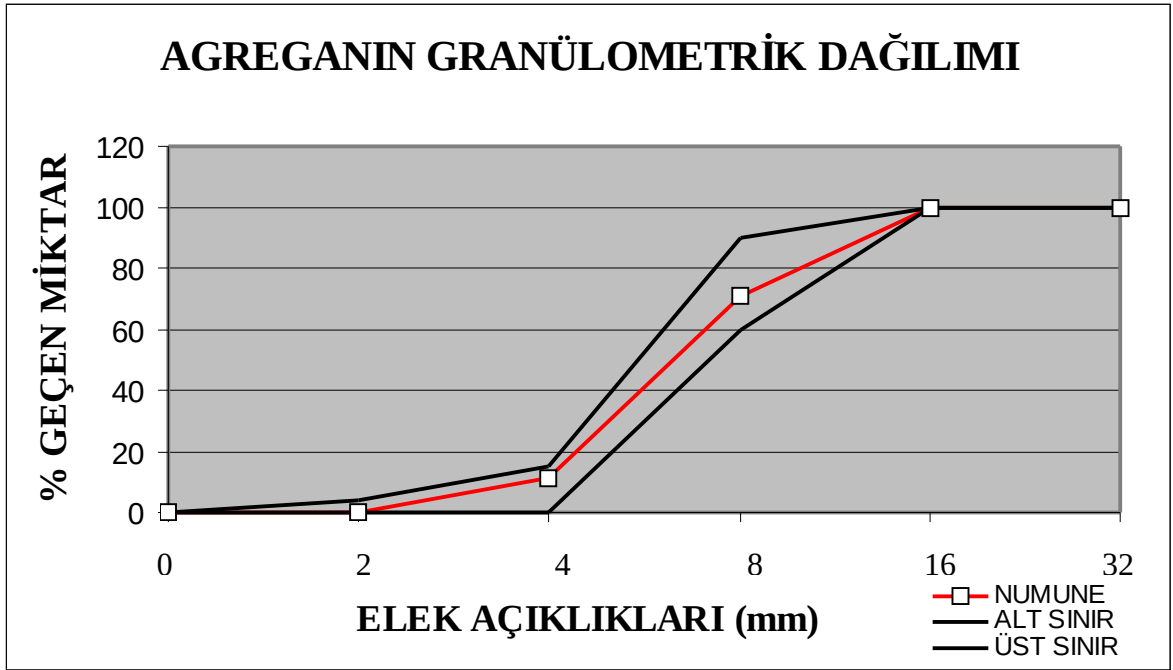
Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	%Geçen	% Geçen
16	0,00	0,00	0,00	0	100	-
8	0,00	0,00	0,00	0	100	100
4	236,40	236,40	11,82	12	88	90-100
2	698,40	934,80	46,74	47	53	55-90
1	502,10	1.436,90	71,85	72	28	35-75
0,5	271,20	1.708,10	85,41	85	15	15-40
0,25	126,30	1.834,40	91,72	92	8	8-20
0,125	87,10	1.921,50	96,08	96	4	-
TAVA	78,50	2.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	2.000,00					



Şekil-2.5 Kırmaz Bazalt Taş Tozu'nun Granülometrik Eğrisi

Tablo-2.13 Kırmataş No:1 Bazalt Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu

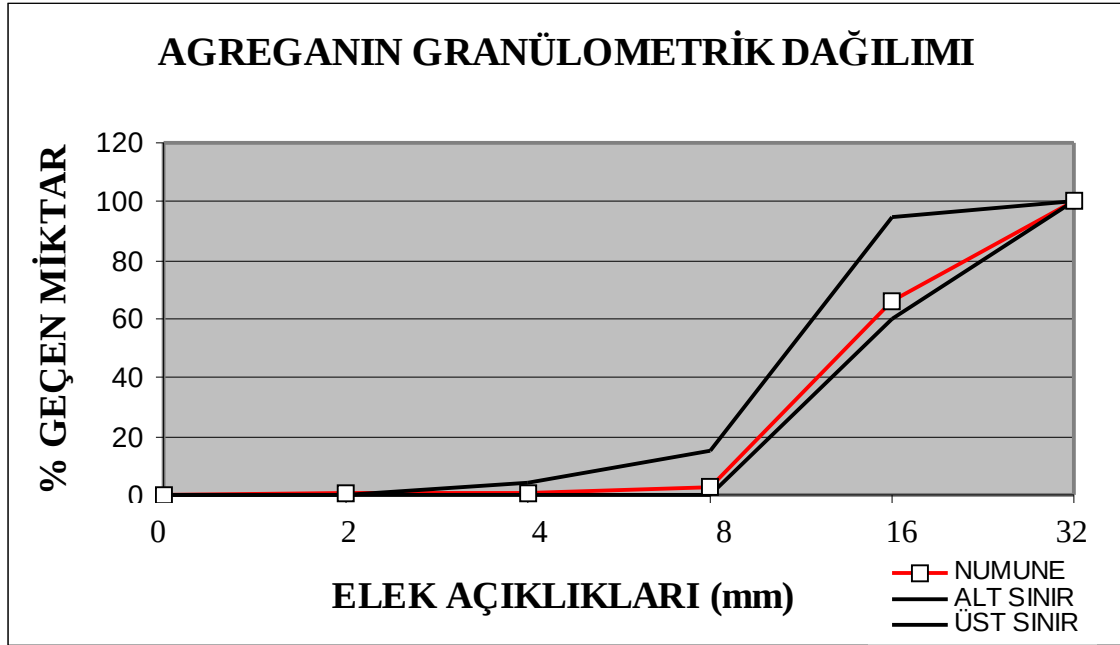
Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	%Geçen	
31,5	0,00	0,00	0,00	0	100	-
16	0,00	0,00	0,00	0	100	95-100
8	1.168,00	1.168,00	29,20	29	71	50-90
4	2.383,60	3.551,60	88,79	89	11	0-15
2	437,40	3.989,00	99,73	100	0	0-4
TAVA	11,00	4.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	4.000,00					



Şekil-2.6 Kırmataş No:1 Bazalt Mıcırının Granülometrik Eğrisi

Tablo-2.14 Kırmataş No:2 Bazalt Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu

Elekt Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elekt Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elekt Aralığı
				% Kalan	% Geçen	
40	0,00	0,00	0,00	0	100	-
31,5	0,00	0,00	0,00	0	100	100
16	1.356,40	1.356,40	33,91	34	66	60-95
8	2.539,00	3.895,40	97,39	97	3	0-15
4	72,20	3.967,60	99,19	99	1	0-4
2	11,20	3.978,80	99,47	99	1	-
TAVA	21,20	4.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	4.000,00					



Şekil-2.7 Kırmataş No:2 Bazalt Mıcırının Granülometrik Eğrisi

2.1.5.3 Andezit

Andezit Dioritin yüzey taşıdır. Diorit magmasının derinde kristallenmiş, yüzeye çıkıp lav olarak akan ise andezittir. Kütle olarak camsı doku hakim olup içerisinde az miktarda piroksen, hornblend ve biyotit gibi mafik minerallerin ve plajyoklasların kristalleri bulunur.

Kimyasal	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO	MgO	CaO	N ₂ O	H ₂ O
Analiz	% 52,1	% 16,4	% 3,7	% 6	% 4,1	% 7,3	% 3,7	% 1,1

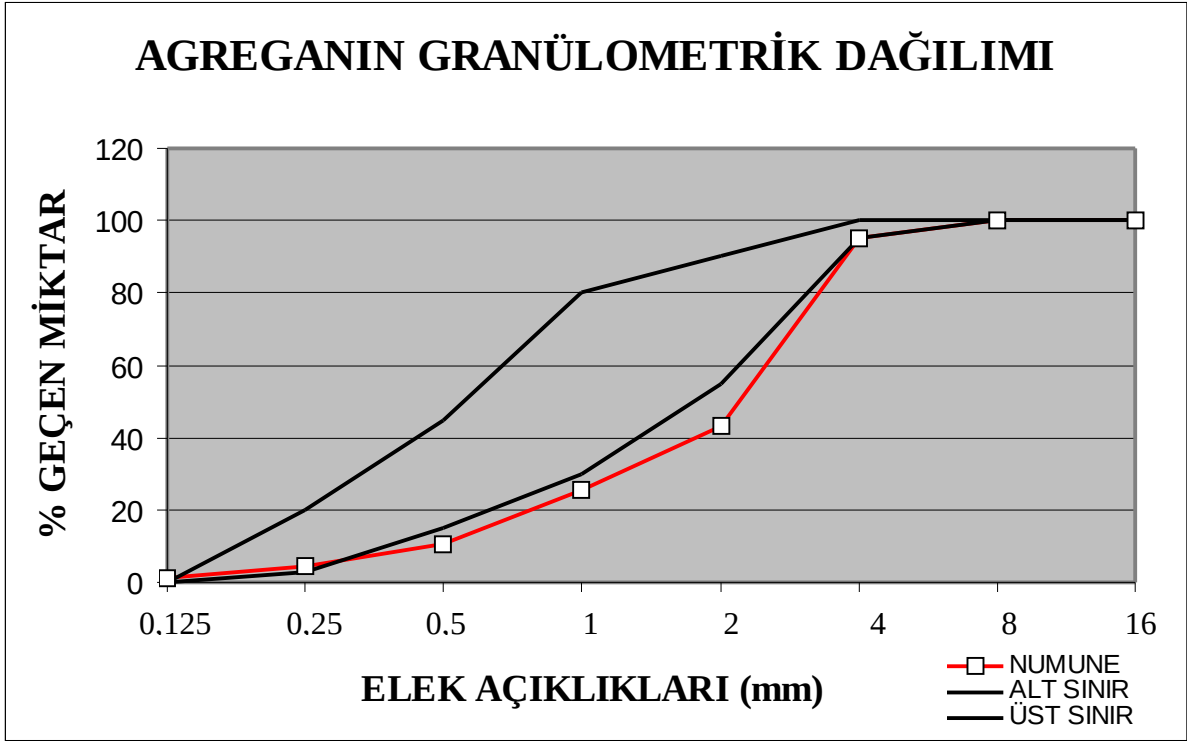
Andezit agregasıyla ilgili Fiziksel Özellikleri Tablo-2.15’de, Kıрма Andezit Taş Tozu’nun tane boyut dağılımı Tablo-2.16’de, Kıрма Andezit Taş Tozu’nun Granülometrik Eğrisi Şekil-2.8’de, Kırmataş No:1 Andezit Mıcırının tane boyut dağılımı Tablo-2.17’de, Kırmataş No:1 Andezit Mıcırının Granülometrik Eğrisi Şekil-2.9’da, Kırmataş No:2 Andezit Mıcırının tane boyut dağılımı Tablo-2.18’de, Kırmataş No:2 Andezit Mıcırının Granülometrik Eğrisi Şekil-2.10’da gösterilmiştir.

Tablo-2.15 Andezitin Fiziksel Özellikleri

Andezit Fiziksel Özellikler	Deney Sonuçları		
	NO:1 Mıdır	NO:2 Mıdır	Taş Tozu
Gevşek Birim Ağırlık (Kg/m ³)	1396	1361	1429
Özgül Ağırlık (Kg/m ³)	2629	2607	2667
Yıkama Yoluyla İnce Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	0,61	0,25	0,92
Su Emme (%)	3,01	2,90	3,54
Basınç Dayanımı (Kg/cm ²)	1973		

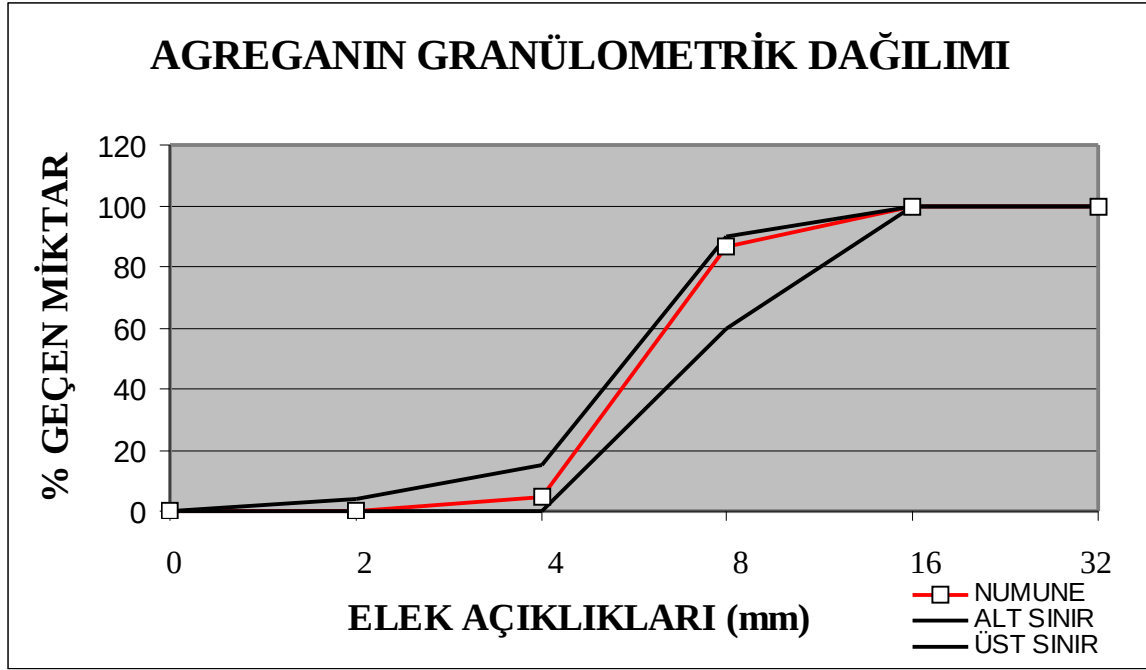
Tablo-2.16 Kırma Andezit Taş Tozu'nun tane boyut dağılımı Tablosu

Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	%Geçen	% Geçen
16	0,00	0,00	0,00	0	100	-
8	0,00	0,00	0,00	0	100	100
4	96,10	96,10	4,81	5	95	90-100
2	1.036,70	1.132,80	56,64	57	43	55-90
1	356,70	1.489,50	74,48	74	26	35-75
0,5	296,10	1.785,60	89,28	89	11	15-40
0,25	128,70	1.914,30	95,72	96	4	8-20
0,125	67,10	1.981,40	99,07	99	1	-
TAVA	18,60	2.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	2.000,00					



Tablo-2.17 Kırmataş No:1 Andezit Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu

Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	% Geçen	% Geçen
31,5	0,00	0,00	0,00	0	100	-
16	0,00	0,00	0,00	0	100	95-100
8	528,30	528,30	13,21	13	87	50-90
4	3.292,90	3.821,20	95,53	96	4	0-15
2	170,00	3.991,20	99,78	100	0	0-4
TAVA	8,80	4.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	4.000,00					



Şekil-2.9 Kırmataş No:1 Andezit Mıcırının Granülometrik Eğrisi

Tablo-2.18 Kırmataş No:2 Andezit Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu

Elekt Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elekt Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elekt Aralığı
				% Kalan	% Geçen	% Geçen
40	0,00	0,00	0,00	0	100	-
31,5	0,00	0,00	0,00	0	100	100
16	682,80	682,80	17,07	17	83	60-95
8	2.945,70	3.628,50	90,71	91	9	0-15
4	296,10	3.924,60	98,12	98	2	0-4
2	69,90	3.994,50	99,86	100	0	-
TAVA	5,50	4.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	4.000,00					



Şekil-2.10 Kırmataş No:2 Andezit Mıcırının Granülometrik Eğrisi

2.1.5.4 Gri Kalker

Gri renkli, masif, ince taneli, ince beyaz damarlı yapıya sahiptir. Karbonat kayaç gurubuna aittir.

Tablo-2.19 Gri Kalkerin Mineral Bileşim Tablosu

Mineral/Bileşen	% Oran
Kalsit	3-5
Kalsit Oolitler veya kriptokristalen (mikritik)	85-90
Kuvars (ikincil)	1-2
Opak	1
Fosil kavkı	5-10

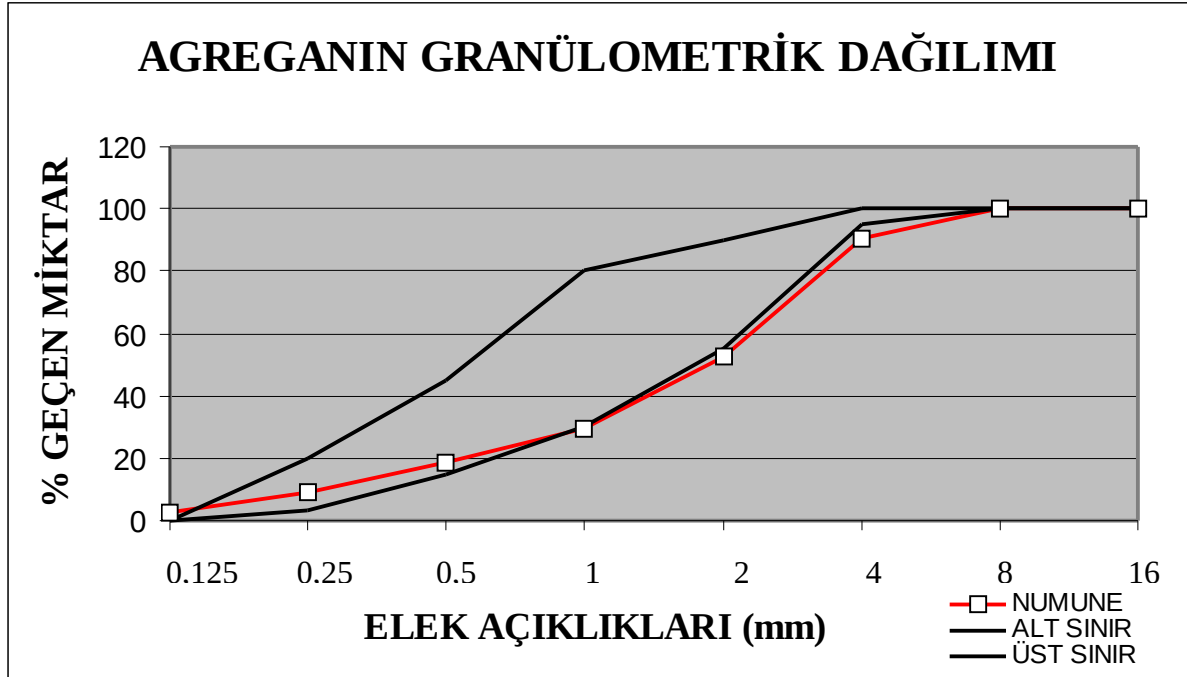
Gri Kalker agregasıyla ilgili Mineral Bileşim Tablosu Tablo-2.19’de, Fiziksel Özellikleri Tablo-2.20’de, Kırma Gri Kalker Taş Tozu’nun tane boyut dağılımı Tablo-2.21’de, Kırma Gri Kalker Taş Tozu’nun Granülometrik Eğrisi Şekil-2.11’de, Kırmataş No:1 Gri Kalker Mıcırının tane boyut dağılımı Tablo-2.22’de, Kırmataş No:1 Gri Kalker Mıcırının Granülometrik Eğrisi Şekil-2.12’de, Kırmataş No:2 Gri Kalker Mıcırının tane boyut dağılımı Tablo-2.23’de, Kırmataş No:2 Gri Kalker Mıcırının Granülometrik Eğrisi Şekil-2.13’de gösterilmiştir.

Tablo-2.20 Gri Kalkerin Fiziksel Özellikleri

Gri Kalker Fiziksel Özellikler	Deney Sonuçları		
	NO:1 Mıcır	NO:2 Mıcır	Taş Tozu
Gevşek Birim Ağırlık (Kg/m ³)	1328	1297	1382
Özgül Ağırlık (Kg/m ³)	2678	2702	2704
Yıkama Yoluyla İnce Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	0,30	0,63	2,49
Su Emme (%)	0,53	0,80	0,95
Basınç Dayanımı (Kgf/cm ²)	153		

Tablo-2.21 Kırma Gri Kalker Taş Tozu'nun tane boyut dağılımı Tablosu

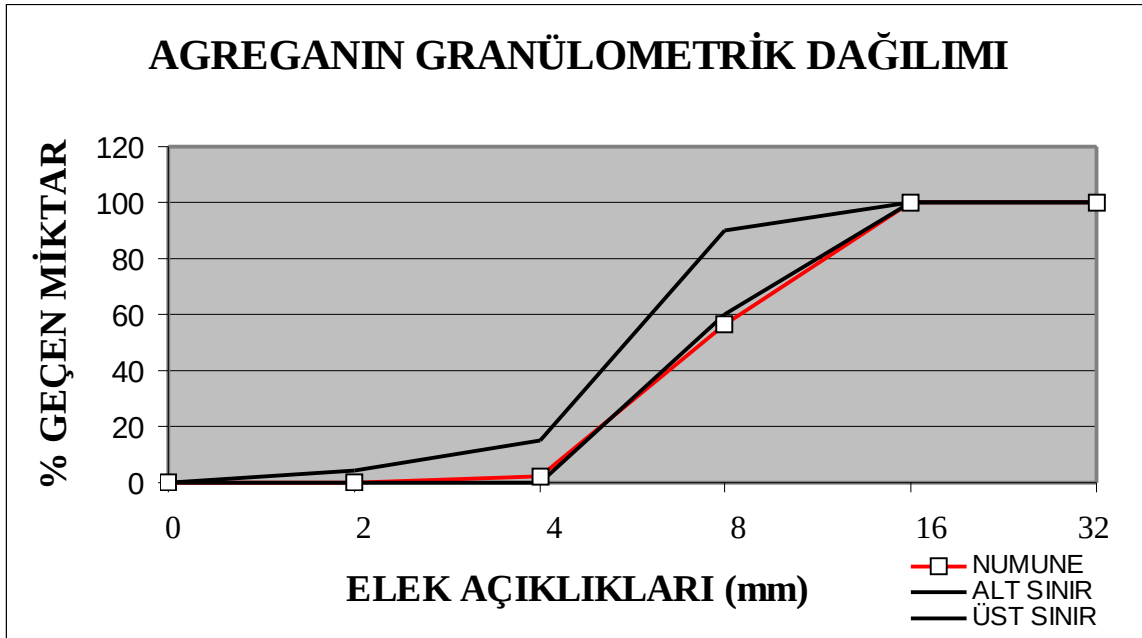
Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	%Geçen	% Geçen
16	0,00	0,00	0,00	0	100	-
8	0,00	0,00	0,00	0	100	100
4	192,60	192,60	9,63	10	90	90-100
2	758,40	951,00	47,55	48	52	55-90
1	460,30	1.411,30	70,57	71	29	35-75
0,5	221,50	1.632,80	81,64	82	18	15-40
0,25	193,30	1.826,10	91,31	91	9	8-20
0,125	117,40	1.943,50	97,18	97	3	-
TAVA	56,50	2.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	2.000,00					



Şekil-2.11 Kırma Gri Kalker Taş Tozu'nun Granülometrik Eğrisi

Tablo-2.22 Kırmataş No:1 Gri Kalker Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu

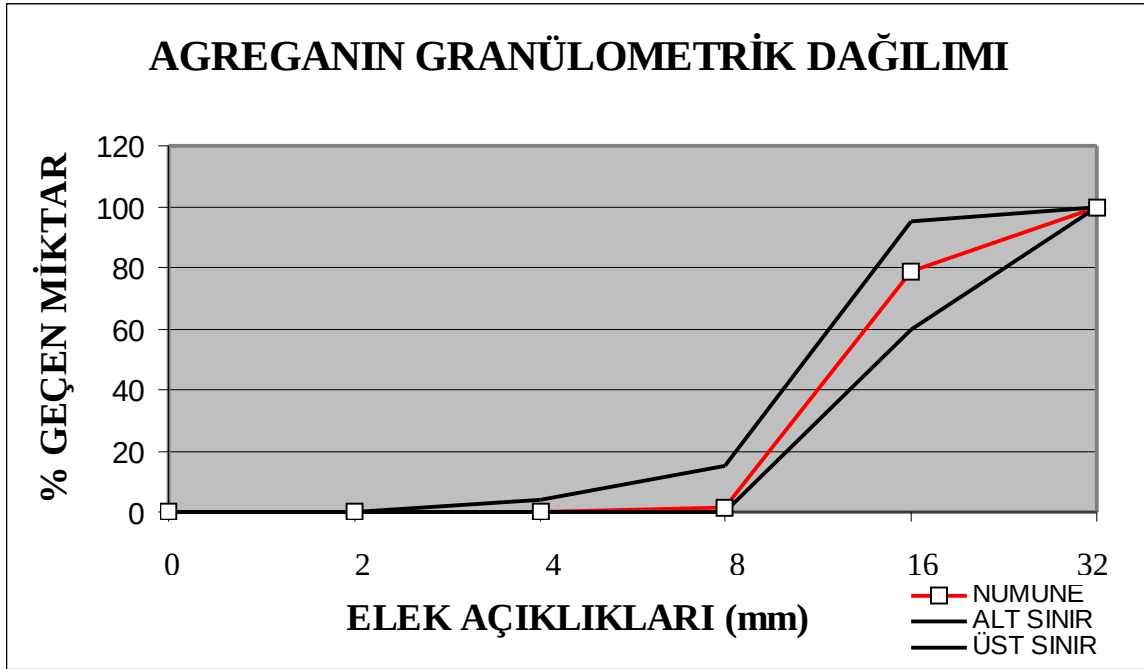
Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	%Geçen	
31,5	0,00	0,00	0,00	0	100	-
16	5,00	5,00	0,13	0	100	95-100
8	1.734,90	1.739,90	43,50	43	57	50-90
4	2.168,20	3.908,10	97,70	98	2	0-15
2	87,20	3.995,30	99,88	100	0	0-4
TAVA	4,70	4.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	4.000,00					



Şekil-2.12 Kırmataş No:1 Gri Kalker Mıcırının Granülometrik Eğrisi

Tablo-2.23 Kırmataş No:2 Gri Kalker Mıcırının tane boyut dağılımı Tablosu

Elek Açıklığı (mm)	Her Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık(gr)	Kümülatif Elek Üstünde Kalan (%)	Kümülatif		İdeal Elek Aralığı
				% Kalan	%Geçen	
40	0,00	0,00	0,00	0	100	-
31,5	0,00	0,00	0,00	0	100	100
16	864,90	864,90	21,62	22	78	60-95
8	3.086,20	3.951,10	98,78	99	1	0-15
4	42,30	3.993,40	99,84	100	0	0-4
2	0,50	3.993,90	99,85	100	0	-
TAVA	6,10	4.000,00	100,00	100	0	-
Toplam	4.000,00					



Şekil-2.13 Kırmataş No:2 Gri Kalker Mıcırının Granülometrik Eğrisi

2.2. BETON KARIŞIMLARI

2.2.1 Yapılan Kabuller

- Üretilen betonlar için en uygun granülometri seçilmiştir.
- En büyük agrega boyutu sabit ve 31,5 mm olarak alınmıştır.
- Aynı cins çimento (PÇ 42,5) kullanılmıştır.
- Su/çimento oranı Beton Sınıflarına göre değiştirilmiştir.
- Agregalar etüv kurusu durumuna getirilerek karışıma katılmıştır.

2.2.2 Beton Bileşim Hesabı

Beton bileşiminin belirlenmesinde mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır. Karışımın granülometrisi sabit tutularak farklı çimento dozajlarında beton karışımları yapılmıştır. Deneme reçetelerinde 0,025 m³'lük karışım miktarları kullanılmıştır.

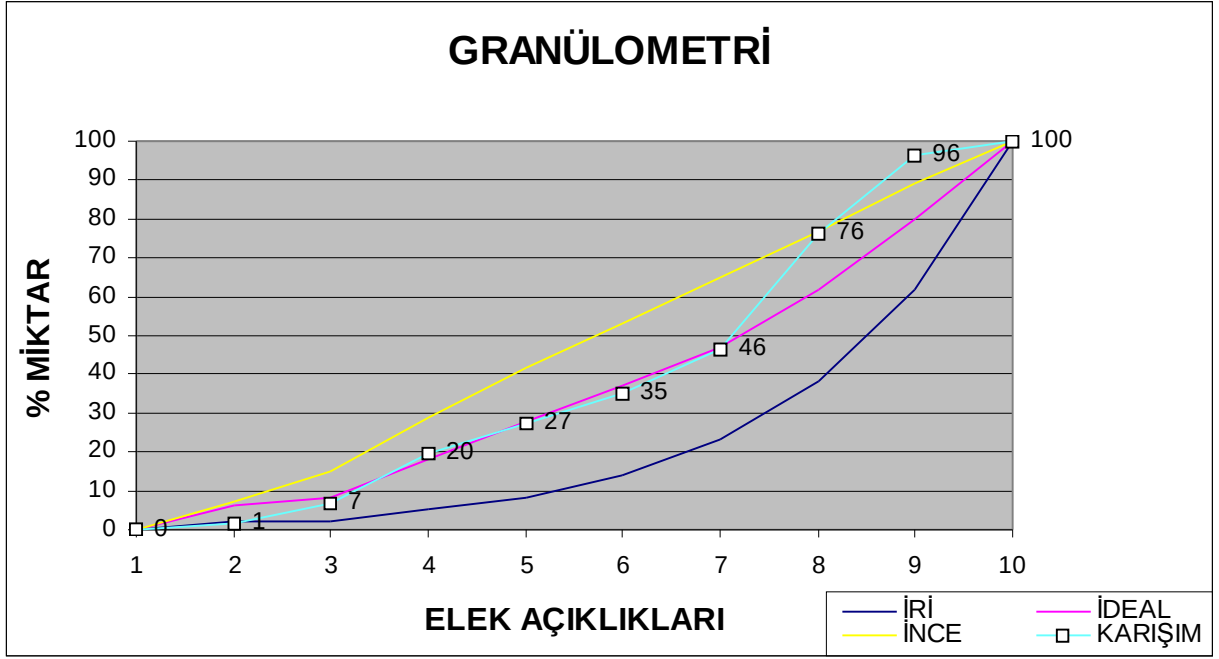
Agregaların hacimce karışım oranları; % 30 deniz kumu, % 15 kırmataş tozu, % 40 kırmataş No I, % 15 kırmataş No II; Kullanılan agregalara ait Granülometri Tablo-2.24'de, Betona giren Agregaların Karışım Oranları Tablo-2.25'de, Granit Agreganın Karışım Miktarları Tablo-2.26'da, Bazalt Agreganın Karışım Miktarları Tablo-2.27'de, Andezit Agreganın Karışım Miktarları Tablo-2.28'de, Gri Kalker Agreganın Karışım Miktarları Tablo-2.29'de verilmiştir. Beton karışımlarının granülometrik bileşimi Şekil-2.27'de, Şekil-2.28'de, Şekil-2.29'da, Şekil-2.30'da gösterilmiştir.

Tablo-2.24 Agregaların Granülometrisi

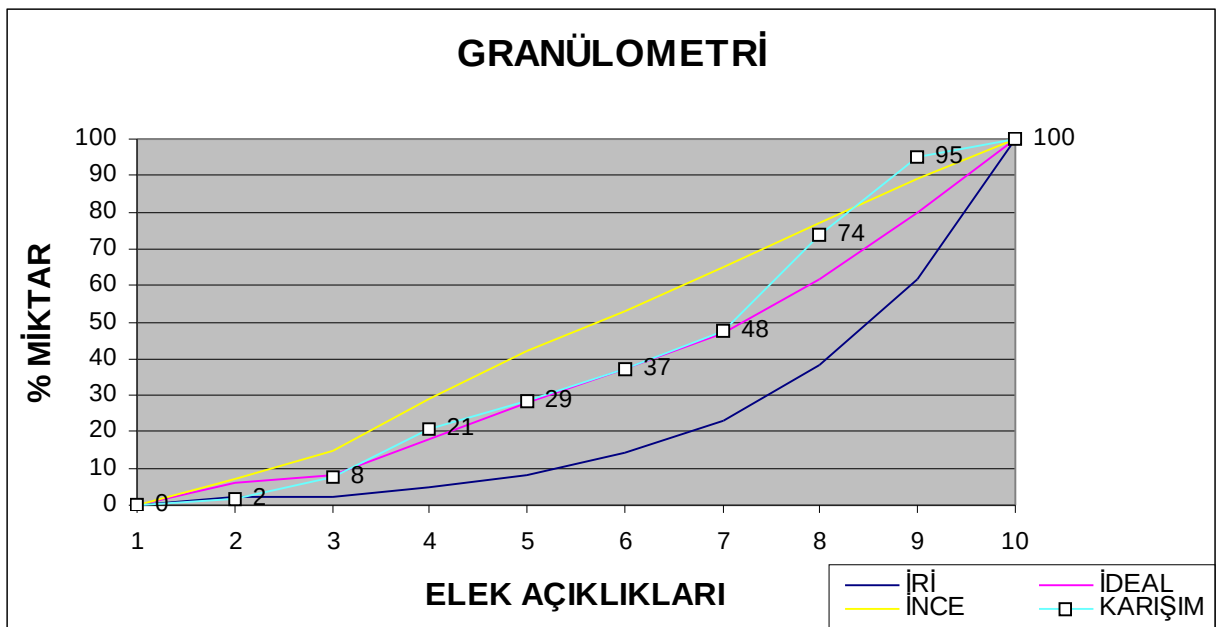
Elek Açıklığı (mm)	Granit	Bazalt	Andezit	Kalker
31,5	100	100	100	100
16	96	96	97	97
8	76	77	81	68
4	46	52	46	44
2	35	43	36	37
1	27	34	82	29
0,5	20	25	20	21
0,25	7	9	7	8
0,125	1	2	1	2

Tablo-2.25 Betona Giren Agregaların Karışım Oranları

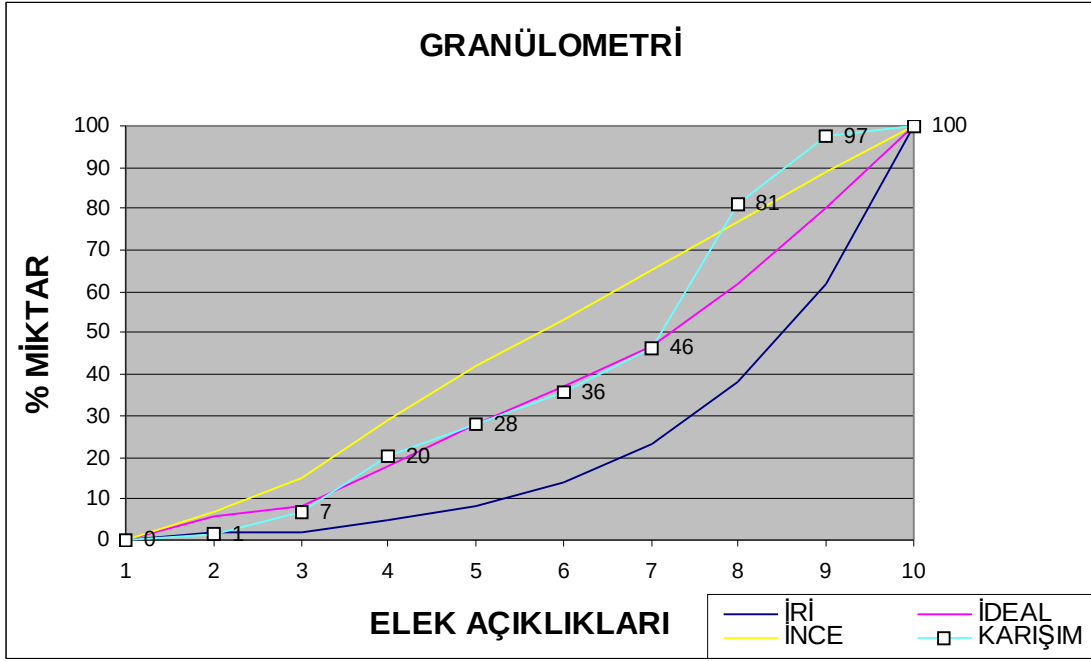
Agregalar	No 1 Mıcır	Deniz Kumu	No 2 Mıcır	Taş Tozu
KARIŞIM ORANLARI (%)	40	30	15	15



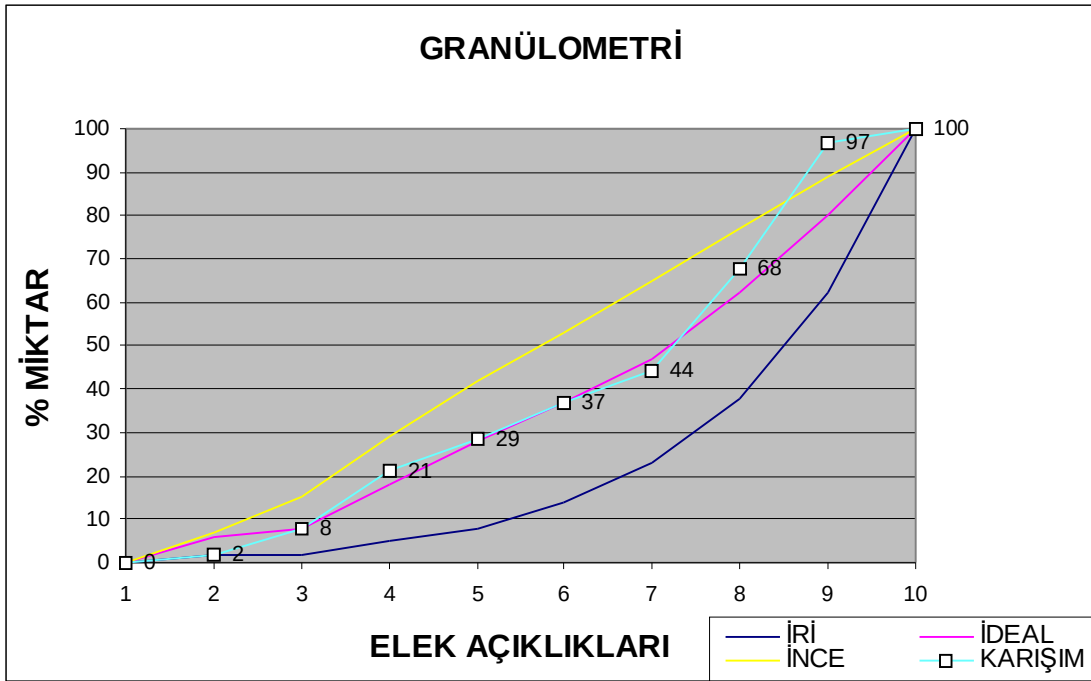
Şekil-2.14 Granit Agreganın Karışım Granülometrisi



Şekil-2.15 Bazalt Agreganın Karışım Granülometrisi



Şekil-2.16 Andezit Agregan Karışım Granülometrisi



Şekil-2.17 Gri Kalker Agregan Karışım Granülometrisi

2.2.3 Beton Üretimi ve Kür Koşulları

Betonların üretiminde düşey eksenli cebri karıştırıcı 55 dm³ kapasiteli betoniye kullanılmıştır. Karıştırma, bütün malzemeler bir arada karıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Malzemeler önce kuru olarak karıştırıldıktan sonra su katılmıştır. Akışkanlaştırıcı içeren betonlarda kimyasal katkıları karışım suyuna ilave edilerek betona katılmıştır.

Beton 15x15x15 cm boyutlarındaki Fiber beton küp kalıplarına üçer tabaka halinde ve her tabakada 25'er defa şişlenerek yerleştirilmiştir.

Her bir karışımından 6 adet beton küp numunesi üretilerek 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve 20 ± 2⁰C' deki kirece doygun su içerisinde bekletilmiştir. Üretilen beton numunelerine 3 adet 7. günde, 3 adet 28. günde basınç dayanımı deneyinde kullanılmıştır.

2.2.4 Basınç Dayanım Deneyleri

15x15 cm boyutundaki beton küp numunelerine 7. günde ve 28. günde basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Basınç dayanımı deneyi, 200 ton kapasiteli Eşel marka basma test makinasında, hızı 1 ton/sn olacak şekilde yükleme yapılarak gerçekleştirilmiştir

3. DENEY SONUÇLARI

3.1 TAZE BETON ÖZELLİKLERİ

Beton karışımlarında agregalar karışıma kuru olarak katılmıştır. Karışım hesabı yapılırken agregaların su emmeleri de dikkate alınmıştır.

Ancak çimento miktarı arttıkça karışımların su ihtiyacı arttığı gözlenmiştir. C-50 ve C-90 sınıflarında hiper akışkanlaştırıcı katkıların etkisiyle de hedeflenen S/Ç oranlarıyla karışım yapma imkanı doğmuştur.

Yapılan deneysel çalışmada her bir sınıf için tasarlanmış S/Ç oranlarıyla belirli bir Slump değeri yakalama imkanı olmamıştır. Kullanılan agregaların farklı su emme yüzdelere sahip olmaları, agregaların tane yüzey şekillerinin farklı olması buna etkin olabilir. Karışımların akışkanlıklarını eşit tutabilmek amacıyla betona su veya katkı ilavesi gerekmektedir. Ancak bu durum beton mukavemetine yansıtacağı için ilave su ve katkı kullanılmamıştır.

3.2 KARIŞIMLARIN BASINÇ DAYANIMLARI

Beton karışımlarından alınan küp numuneler üzerinde yapılan basma dayanım deneylerinin 3'er adetinin ortalama sonuçları Tablo-3.1, Tablo-3.2, Tablo-3.3, Tablo-3.4'de ve bu sonuçların grafiksel gösterimleri Şekil-3.1, Şekil-3.2, Şekil-3.3, Şekil-3.4'de, Şekil-3.5'de, Şekil-3.6'da, Şekil-3.7'de, Şekil-3.8'de gösterilmiştir.

Tablo-3.1 C-20 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları

C-20 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları (Kgf/cm ²)						
	KATKISIZ		KATKILI		ÇELİK TELLİ	
	7	28	7	28	7	28
GRANİT	215	282	225	316	318	386
BAZALT	242	328	267	372	326	368
ANDEZİT	209	263	218	289	292	309
GRİ KALKER	256	319	226	395	398	405

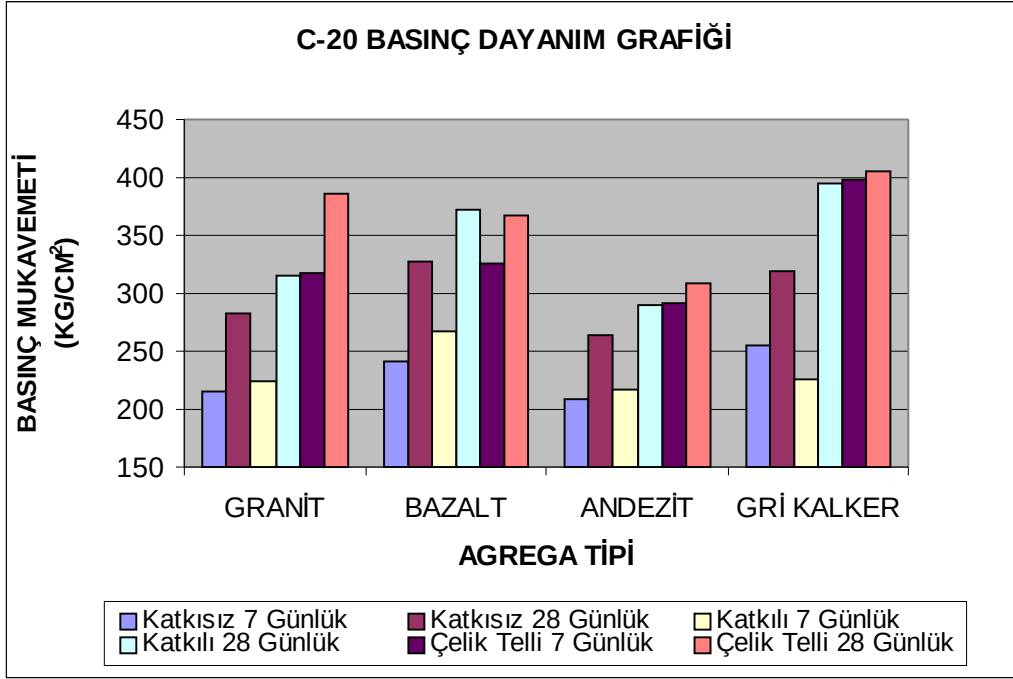
C-35 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları (Kgf/cm²)						
	KATKISIZ		KATKILI		ÇELİK TELLİ	
	7	28	7	28	7	28
GRANİT	379	448	402	457	418	495
BAZALT	411	456	415	465	482	512
ANDEZİT	362	429	396	451	424	466
GRİ KALKER	428	463	409	482	499	495

Tablo-3.3 C-50 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları

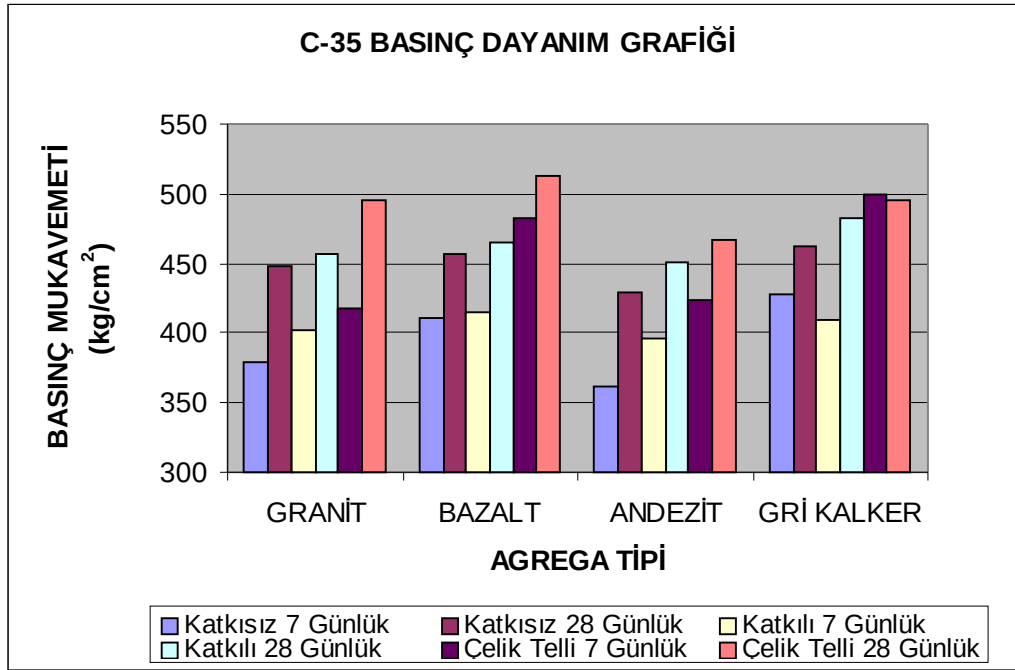
C-50 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları (Kgf/cm²)						
	KATKISIZ		KATKILI		ÇELİK TELLİ	
	7	28	7	28	7	28
GRANİT	368	478	431	561	465	629
BAZALT	456	486	426	582	459	715
ANDEZİT	412	456	408	542	428	557
GRİ KALKER	429	472	432	596	492	602

Tablo-3.4 C-90 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları

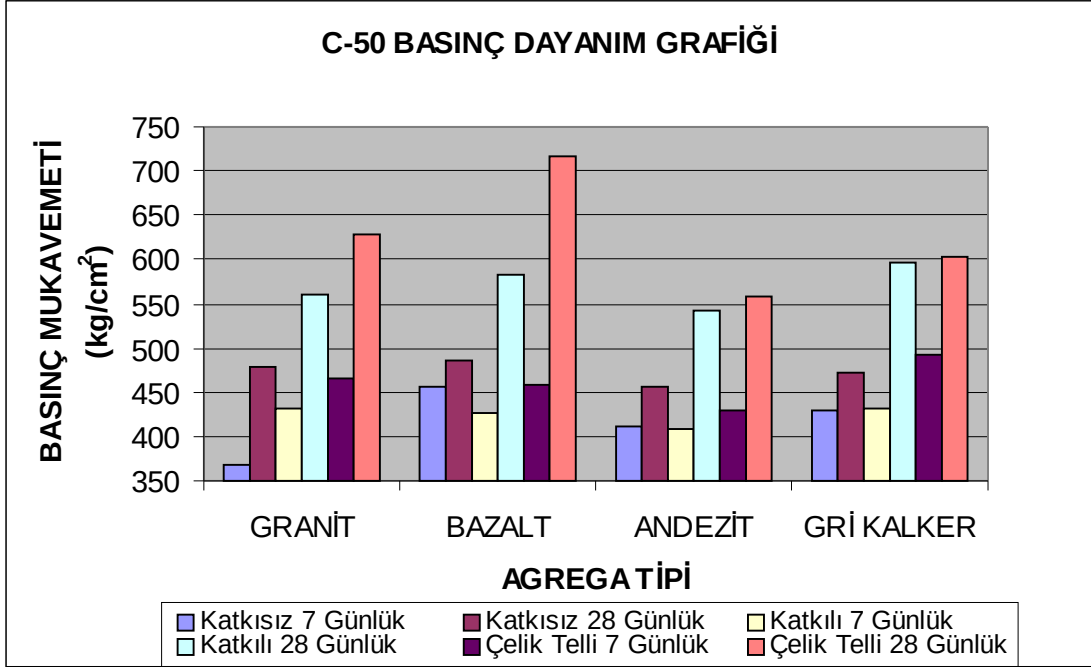
C-90 Beton Sınıfı Basınç Dayanım Sonuçları (Kgf/cm²)						
	KATKISIZ		KATKILI		ÇELİK TELLİ	
	7	28	7	28	7	28
GRANİT	398	468	619	748	652	805
BAZALT	415	499	672	864	618	978
ANDEZİT	364	441	492	583	524	594
GRİ KALKER	429	556	528	651	589	682



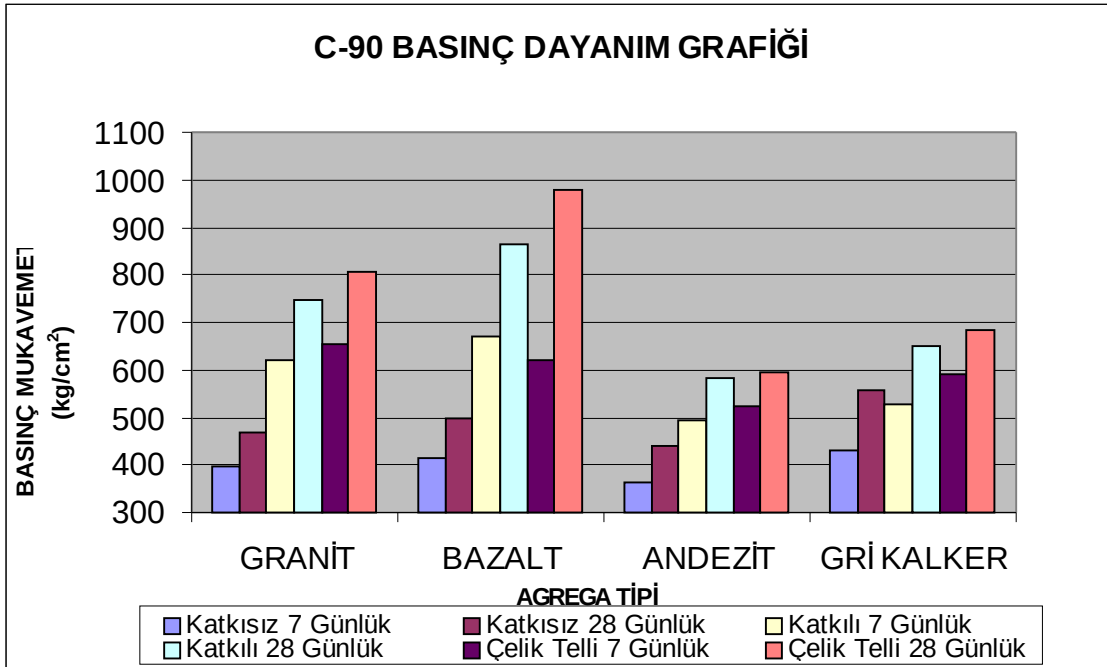
Şekil- 3.1 C-20 Basınç Dayanım Grafiği



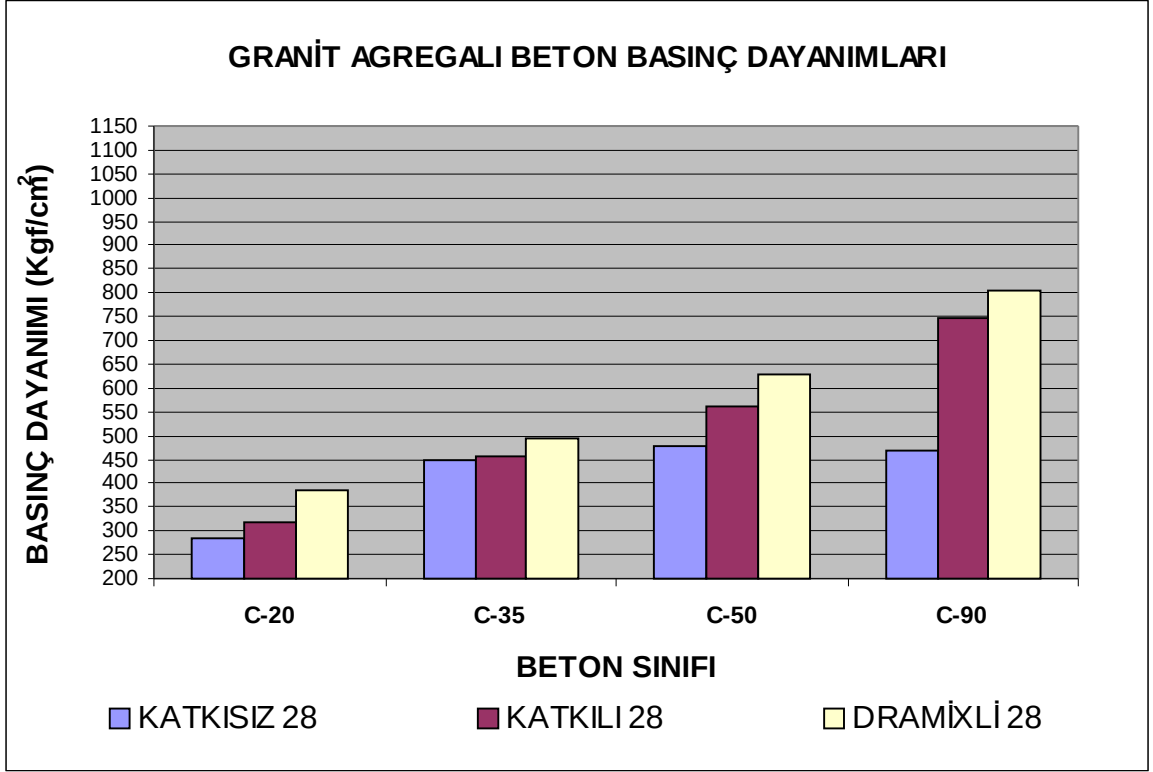
Şekil- 3.2 C-35 Basınç Dayanım Grafiği



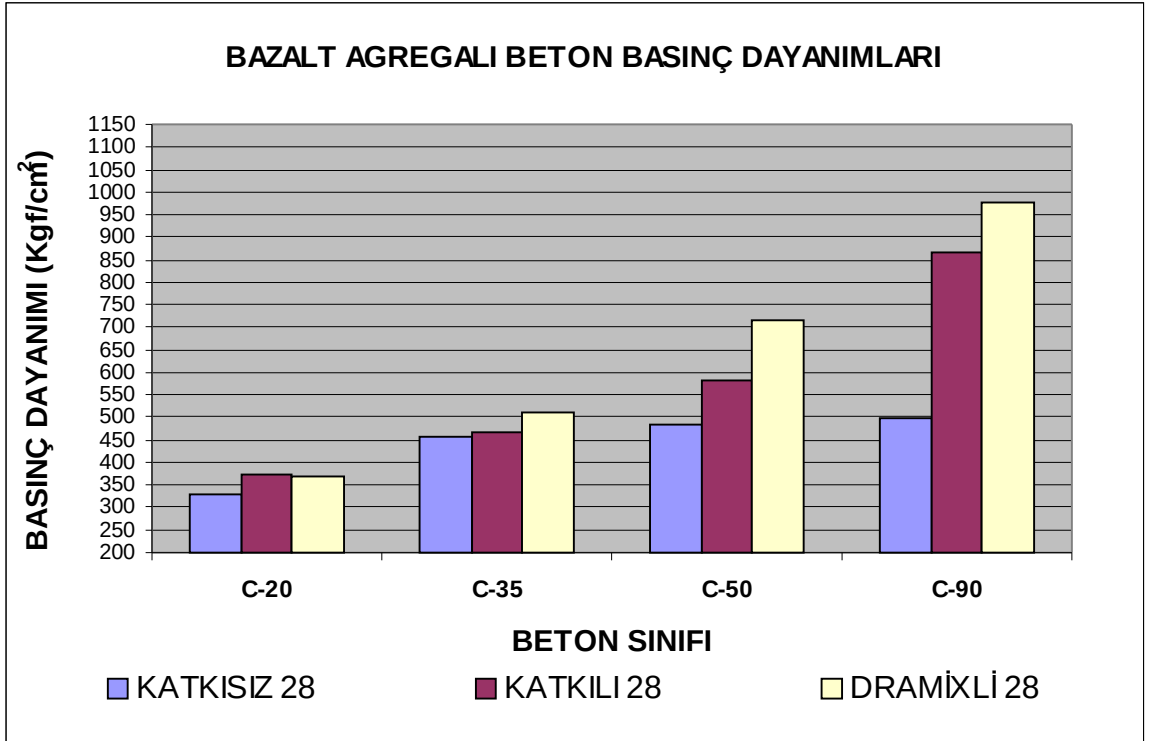
Şekil- 3.3 C-50 Basınç Dayanım Grafiği



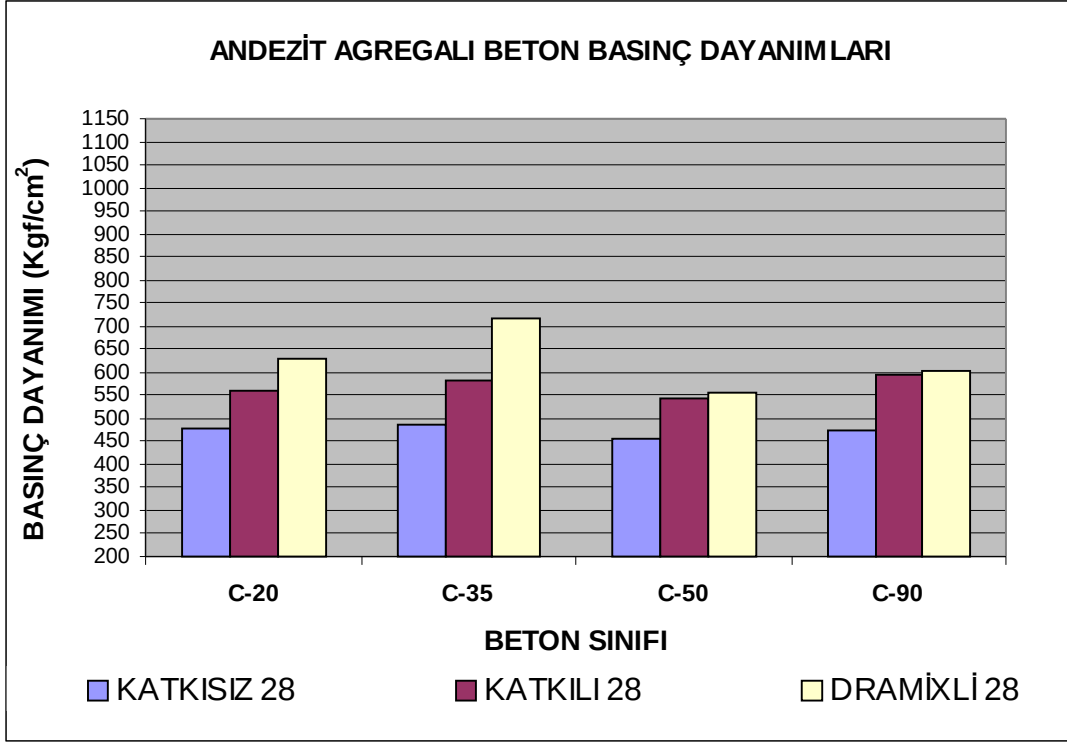
Şekil- 3.4 C-90 Basınç Dayanım Grafiği



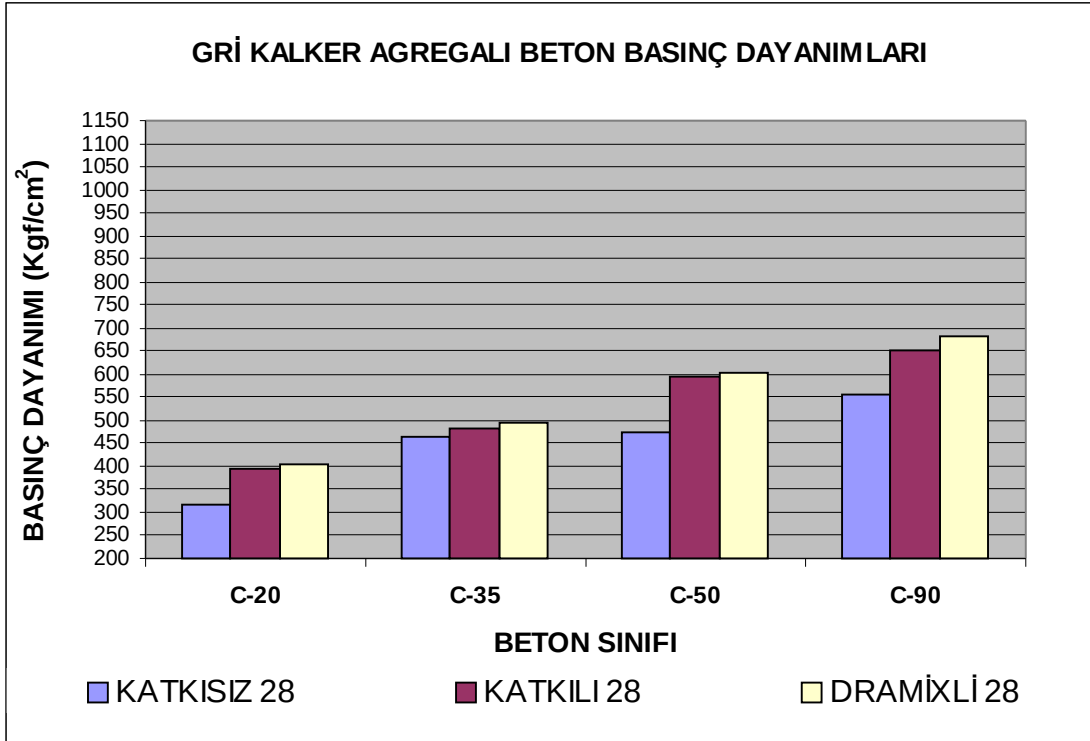
Şekil-3.5 Granit Agregalı Beton Basınç Dayanım Grafiği



Şekil-3.6 Bazalt Agregalı Beton Basınç Dayanım Grafiği



Şekil-3.7 Andezit Agregalı Beton Basınç Dayanım Grafiği



Şekil-3.8 Gri Kalker Agregalı Beton Basınç Dayanım Grafiği

4. SONUÇ

Beton bileşimleri, granülometreleri, etkin S/Ç oranları aynı olduğu halde basınç dayanımları her bir beton sınıfı için farklı elde edilmiştir.

C-20 beton sınıfında 28 günlük en yüksek değere gri kalker karışımları çıkmıştır. En düşük sonuçları andezitli karışımlar vermiştir. Katkısız ve katkılı betonlar arasında çok ciddi bir fark olmadığı görülmektedir. Ayrıca bazaltlı beton haricinde çelik telli betonların katkılı betonlarla başa baş bir sonuç gösterdiği izlenilmektedir. Çimento hamurunun dayanımı fazla olmaması nedeniyle katkılı-katkısız ve çelik telli betonların dayanımları arasında büyük farklar oluşmamıştır.

C-35 beton sınıfında bazalt ve gri kalkerli betonlar, standart değere ulaşmıştır. Çimentonun artırılmasıyla çimento hamurunun dayanımı arttığı görülmektedir. Katkılı-katkısız ve çelik telli betonlar arasında C-20 beton sınıfına göre de çok fazla bir fark izlenilmemektedir. C-35 beton sınıfında katkısız-katkılı Gri kalkerli betonlar ile çelik telli bazaltlı betonlar en yüksek değerlere ulaşmıştır. C-20 ve C-35 beton sınıflarını normal beton sınıfları olarak değerlendirsek, bu sınıftaki gri kalkerli betonların sert agregalı betonlara göre daha yüksek dayanımlarda kırıldığı, bunun sonucu olarak da bu sınıflarda sert agregalı betonların normal agregalı betonlardan çok farklı davranmadığı söylenebilir.

C-50 Beton sınıfında çelik telli betonların haricindeki betonların standart değerlere ulaşamadığı görülmektedir. Özellikle bu beton sınıfında katkılı betonların standart değer altında kalması, agrega karışım oranları istenilen beton sınıfına ulaşmada etkili olduğu söylenebilir. Farklı reçete tasarımıyla C-50 beton sınıfında çelik tel kullanmadan hiper akışkanlaştırıcı beton katkılarıyla beton elde etmek mümkündür. Bu beton sınıfında bazaltın yüksek değeriyle birlikte granitli karışımların da yüksek değerlere arttığı görülmektedir. Ayrıca katkısız-katkılı ve katkılı-çelik telli betonlar arasında da mukavemet farkları görülmektedir. Katkısız betonların standart değer olan 600 kg/cm^2 'ye ulaşamadığı görülmektedir.

C-90 beton sınıfında hiçbir karışım, standart değer olan 1050 kg/cm^2 'ye ulaşamamıştır. Her ne kadar çimento artmış olsa da çimentonun kapladığı hacim dolayısıyla agregaların

hacimlerinde azalma meydana gelmiştir. Sadece çimento hamurunun bu kadar yüksek dayanımlara çıkamadığı görülmektedir. Bu şekildeki yüksek mukavemetler ulaşabilmek için uçucu kül, mineral katkı ve ince kesilmiş çelik tellerle birlikte hiper akışkanlaştırıcı katkıların kullanılması gerekecektir. Ancak her ne kadarda istenilen değere ulaşamadıysa da bazaltlı çelik telli karışımlar 100 Mpa'a yakın sonuçlar vermiştir. Andezit ve kalkerli karışımlar ise düşük değerlerde kalmıştır. Özellikle katkısız karışımlar yüksek dayanımlı betonlarda iş görmediği ortadadır.

Farklı beton sınıflarına ait basınç dayanımların irdelenmesiyle aşağıdaki sonuçlara varılabilir;

- Normal beton dayanımlarında sert agrega, dayanım açısından gri kalkere oranla basınç dayanımlarını farklı etkilemediği görülmektedir. Bunun sebebi çimento hamuru dayanımının düşük olduğu durumlarda oluşan çatlakların agrega ile çimento ara yüzlerinden geçerek agrega kayacının dayanımı bu düşük beton sınıflarında etkili olmamasıdır. Ayrıca Lindgard ve Smeplless'in belirttiği gibi normal bağlayıcı gerilmelerinde sağlam ve rijit agreganın temas yüzeyinde daha yüksek gerilme yığılmaları meydana gelmesinden dolayı düşük değerlerde kırılma meydana gelmesi normaldir.

- Yüksek dayanımlı betonlarda ise çimento hamurunda oluşan çatlaklar agrega içerisinden geçerek betonun daha yüksek dayanımlarda kırılmasına neden olur. Bu görüşe paralel olarak yapılan çalışmalarda yüksek dayanımlı beton sınıflarında sert agregalı betonlar (Andezit hariç) gri kakerli betonlara göre daha yüksek değerlerde kırılmaktadır.

Bu durum daha önce yapılmış olan çalışmalarla da paralellik göstermektedir.

- Yüksek beton sınıflarında (C-90) sert agregalı betonlarla ulaşamamasının nedeni; yüksek basınç dayanımlarında agrega granülometrisi normal basınç dayanımlardaki agrega granülometrisinden farklı olması gereğidir. Çimento miktarının artmasıyla agreganın hacmi beton içerisinde azalmaktadır. Bu durum göz önüne alınarak Çetin ve Carraquilo'nun da belirttiği gibi yüksek dayanımlı betonlarda agrega grnülometrisi inceltmesi gerekebilir.

- Beton karışım oranlarının belirlenmesinde, agregaların tane boyut dağılımı, özgül ağırlığı ve su emme özelliklerinin bilinmesi 1 metreküp beton içerisinde kullanılacak agrega ve su miktarını etkilemektedir. Beton dayanımını birinci derecede etkileyen S/Ç oranı, hem çimento hamuru yapısını hem de agrega-çimento hamuru ara yüzeyini doğrudan etkileyen bir parametredir. S/Ç oranı azaldıkça agrega çimento hamuru ara yüzeyi boşluksuz bir hale gelir ve uygulanan yük sonucu oluşan çatlaklar agreganın içinden geçer. Bu durum, agreganın basınç dayanımının önemini ortaya çıkarmaktadır.

4. KAYNAKLAR

- [1] ÇAĞLAYAN, M., AGREGA, www.agrega.org.tr
- [2] TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ, www.thbb.com.tr
- [3] ERİÇ, M. (1994), Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul
- [4] JENNINGS, H.M., 1998. Toward high performance cement based materials, new horizons in construction materials, ST. Louis, October .
- [5] POSTACIOĞLU, B., 1986. Beton, Cilt-1, Bağlayıcı Maddeler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul
- [6] POPOVİCS, 1986, Design of high strength cement based materials, Materials Science And Technology, April, 285-290
- [7] ZİMBELMANN, R., 1989. A contribution to the problem of cement – aggregate bond, Cement and Concrete Research, 15, 801-808.
- [8] POPVİCS, 1998, Sterngth and Related Properties A Quantitative Approach of Concrete
- [9] NEVİLLE, A.M., 1986. Properties of concrete – International. March, 60-63.
- [10] HSU, T.T.C., 1963. Microcracking of plain concrete and the shap of the stress -strain curve, .Jurnal of the American Concrete Institüte, February, 210-223.
- [11] NEVİLLE, A.M., 1997. Properties of Concrete, John Wiley & Sons Inc.
- [12] OKTAR, O.N., 1977. Bağlayıcı hamurunun yapısının betonun kısa süreli elastik davranışındaki işlevi, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [13] AKMAN. S., 1975. Kırmataş iri agregalı betonlarda harç beton sınırı üzerine araştırmalar, Teknik Rapor, No 21.
- [14] ÖZKUL, H., TAŞDEMİR, M.A., TOKYAY, M., UYAN, M. (1999): Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- [15] POSTACIOGLU, B. (1986): BETON- Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt: 1, Bağlayıcı Maddeler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [16] ERDOĞAN, T. Y. (1995): Betonu Oluşturan Malzemeler - Çimentolar, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- [17] GÜLEÇ, K., 1980. Mühendislikte Jeoloji. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

- [18] YILDIRIM, H.. 1995. Agregas konsantrasyonunun betonun mekanik özelliklerine etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] AKMAN, S., 1990. Yapı Malzemesi, İ.T.ü. inşaat Fakültesi Matbaası. İstanbul.
- [20] ÇAGLAYAN, M., HABERVEREN, S., İPEKOGLU, B., KURŞUN, İ. (1999): Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Örnek Bir Kuruluş İstön, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99 Bildiriler Kitabı, Sayfa No: 69-79, Kozan Ofset Matbaacılık, Ankara.
- [21] THBB, (2000), Her Yönüyle Hazır Beton- Genel Teknik Bilgiler Kılavuzu, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- [22] KOÇ, A., 2001, Betonda kullanılan agregaların petrografisinin beton mukavemetine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.Ü., İstanbul
- [23] KAPLAN, M.F., 1958. The effects of the properties of coarse aggregates on the workability of concrete, Magazine of Concrete Research, August, 63-74.
- [24] KAWAKAMI, H., 1992. Effect of aggregate type on the mechanical behaviour of concrete, Interface in Cementitious Composites, JCMasa (Ed) Toulouse, 179- 186.
- [25] ALEXANDER., M.G., 1995, Influence of cement blend and aggregate type on stress - strain behaviour and elastic modulus of concrete, ACI Materials Journal, 92, May-June, 227-235.
- [26] GIACCO, G. ve diğ., 1992. High strength concretes incorporating different coarse aggregates, ACI Materials Journal, 89, No. 3, 242-246.
- [27] TİGHİOUART, B. ve diğ. 1994. Caracteristiques mecaniques et elastiques de betons a haute performance confectionnes avec differents types de gros granudats, Materials and Structures, 27, 211-221.
- [28] ÇETİN, A. ve CARRASQUILLO, RL. 1998. High performance concrete: influence of coarse aggregates on mechanical properties, ACI Materials Journal, 95, May-June, 252-261.
- [29] LİNGART, J. ve SMEPLASS, S., 1992. High strength concrete containing silica fume - impact of aggregate type on compressive strength and E-modulus, Proceedings of 4th International Conference On Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozalances In Concrete. İstanbul. 1061-1074.
- [30] GUTİEREZ, P.A. ve CANOVAS, M.F., 1996. High performance concrete: requirements for constituent materials and mix proportioning, ACI Materials Journal, 93, NO:3, May-June 233-241.
- [31] TAŞDEMİR, C. ve diğ., 1998. The influence of aggregate type on the mechanical properties of concrete, Proceedings of the 12th European Ready Mixed Concrete Congress, Lisbon. 633-640.

- [32] ÖZTURAN, T. ve ÇEÇEN, C., 1997. Effect of aggregate type on the mechanical properties of concretes with different strengths, Cement and Concrete Research. 27, No. 2. 165-170.
- [33] De LARRAD, F. ve BELLOC, A., 1997. The influence of aggregate type on the compressive strength of and high - strength concrete, ACI Materials Journal, 94, No:5, September-October, 417-426
- [34] TOKYAY, M., 1995. Agregat tipinin yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerine etkisi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Teknik dergi Cilt 9, Sayı 2, 1627-1638.

ÖZGEÇMİŞ

ALTINTEPE, Abdullah. 1974 yılında Almanya'nın Duisburg şehrinde doğdu. İlk okulu Almanya'da, Orta 2. sınıftan sonrası Orta öğrenimini İskenderun Demir Çelik Lisesinde Orta okulu, İstanbul Vefa Lisesinde Lise'yi tamamladı.

1993 yılında İstanbul Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Elektrik Bölümünü kazandı. 1996 yılında İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliğini kazandı. 2001 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı.

Malzemeler (Kg)	Granit											
	C-20			C-35			C-50			C-90		
	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli
Çimento (PÇ 42.5)	285	285	285	400	400	400	550	550	550	1000	1000	1000
No1 Mıcır	826	826	826	752	752	752	695	695	695	448	448	448
No2 Mıcır	308	308	308	280	280	280	259	259	259	167	167	167
Taş Tozu	311	311	311	283	283	283	261	261	261	168	168	168
Deniz Kumu	604	604	604	550	550	550	508	508	508	327	327	327
Su	128	128	128	160	160	160	165	165	165	250	250	250
Katkı (Chryso AG)	X	2,8	2,8	X	4,0	4,0	X	X	X	X	X	X
Katkı (Chryso Premia 190)	X	X	X	X	X	X	X	4,4	4,4	X	8	8
Çelik Tel	X	X	20	X	X	20	X	X	20	X	X	20
S/Ç	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25

Tablo-2.26 Granit Agregalı Beton Karışım Miktarları

Malzemeler (Kg)	Bazalt											
	C-20			C-35			C-50			C-90		
	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli
Çimento (PÇ 42.5)	285	285	285	400	400	400	550	550	550	1000	1000	1000
No1 Mıcır	827	827	827	753	753	753	696	696	696	448	448	448
No2 Mıcır	303	303	303	276	276	276	255	255	255	164	164	164
Taş Tozu	312	312	312	284	284	284	263	263	263	169	169	169
Deniz Kumu	604	604	604	550	550	550	508	508	508	327	327	327
Su	128	128	128	160	160	160	165	165	165	250	250	250
Katkı (Chryso AG)	X	2,8	2,8	X	4,4	4,4	X	X	X	X	X	X
Katkı (Chryso Premia 190)	X	X	X	X	X	X	X	4,4	4,4	X	8,0	8,0
Çelik Tel	X	X	20	X	X	20	X	X	20	X	X	20
S/Ç	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25

Tablo-2.27 Bazalt Agregalı Beton Karışım Miktarları

Malzemeler (Kg)	Andezit											
	C-20			C-35			C-50			C-90		
	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli
Çimento (PÇ 42.5)	285	285	285	400	400	400	550	550	550	1000	1000	1000
No1 Mıcır	810	810	810	737	737	737	681	681	681	439	439	439
No2 Mıcır	301	301	301	274	274	274	253	253	253	163	163	163
Taş Tozu	308	308	308	280	280	280	259	259	259	167	167	167
Deniz Kumu	604	604	604	550	550	550	508	508	508	327	327	327
Su	128	128	128	160	160	160	165	165	165	250	250	250
Katkı (Chryso AG)	X	2,8	2,8	X	4,4	4,4	X	X	X	X	X	X
Katkı (Chryso Premia 190)	X	X	X	X	X	X	X	4,4	4,4	X	8,0	8,0
Çelik Tel	X	X	20	X	X	20	X	X	20	X	X	20
S/Ç	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25

Tablo-2.28 Andezit Agregalı Beton Karışım Miktarları

Malzemeler (Kg)	Gri Kalker											
	C-20			C-35			C-50			C-90		
	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli	Katkısız	Katkılı	Çelik Telli
Çimento (PÇ 42.5)	285	285	285	400	400	400	550	550	550	1000	1000	1000
No1 Mıcır	825	825	825	751	751	751	694	694	694	447	447	447
No2 Mıcır	312	312	312	284	284	284	262	262	262	169	169	169
Taş Tozu	312	312	312	284	284	284	262	262	262	169	169	169
Deniz Kumu	604	604	604	550	550	550	508	508	508	327	327	327
Su	128	128	128	160	160	160	165	165	165	250	250	250
Katkı (Chryso AG)	X	2,8	2,8	X	4,0	4,0	X	X	X	X	X	X
Katkı (Chryso Premia 190)	X	X	X	X	X	X	X	4,4	4,4	X	8,0	8,0
Çelik Tel	X	X	20	X	X	20	X		20	X	X	20
S/Ç	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25

Tablo-2.29 Kalker Agregalı Beton Karışım Miktarları