

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAZE BETONDA SEGREGASYONUN ÖLÇÜLMESİ
VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Seda GÜLŞAHİN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

AĞUSTOS 2006

**TAZE BETONDA SEGREGASYONUN ÖLÇÜLMESİ VE
SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Seda GÜLŞAHİN
(501041101)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Temmuz 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 3 Ağustos 2006**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Yılmaz AKKAYA
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Nabi YÜZER (Y.T.Ü.)**

AĞUSTOS 2006

ÖNSÖZ

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocam Doç.Dr. Yılmaz Akkaya' ya,
Deneyisel çalışmalarım sırasındaki yardımları dolayısı ile İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanları ile,
Çalışmalarım süresince hep yanımda olan arkadaşım Mimar Dilekber Yılmaz' a,
Gösterdikleri sevgi, destek ve üstün sabır için aileme,

teşekkür ederim.

Temmuz, 2006

Seda GÜLŞAHİN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER	3
2.1. Taze Betonun Fiziksel Özellikleri	3
2.1.1 Taze betonun plastik özellikleri	3
2.1.1.1. Betonda işlenebilirlik ve kıvam	3
2.1.1.2. Betonda tanelerin ayrışması (segregasyon) ve sebepleri	5
2.1.1.3. Betonun terlemesi	9
2.2. Betonun Yapısal Özellikleri	9
2.2.1 Dayanım	10
2.2.1.1. Basınç dayanımı	10
2.2.1.2. Çekme dayanımı	11
2.2.2. Doluluk	12
2.3. Tanecik Doluluğu	14
2.3.1. Tanecik doluluğunun modellenmesi	15
2.3.1.1. Tanecik doluluğunun analitik metotları	15
2.3.1.2. Tanecik doluluğunun sayısal metotları	15
2.4. Beton Karışım Tasarımı İçin Doluluk Hesaplamaları	16
2.4.1. Beton malzemelerin doluluğu	16
2.4.2. Doluluk modelinin tarihi geçmişi	16
2.4.3. Doluluk modelinin tanımı	17
2.4.4. Doluluk programı yazılımı	18
2.4.5. Doluluk hesaplaması	20
2.4.5. Doluluk hesaplarının uygulamaları	20
2.5. Betonun Karışım Hesabı	23
2.5.1. Dewar tanecik karışımı ve boşluk doldurumu	23

2.5.2. De Larrard : Boşluk doldurma ve maksimum hamur	23
2.5.3. Kesin hacim metodu (ACI metodu)	24
2.5.4. İncelik modülü metodu	24
2.5.5. İngiliz (British) metodu	25
2.6. Betonun Taşınması, Yerleştirilmesi ve Sıkıştırılması	25
2.6.1. Vibrasyonun tanımı	26
2.7. Katkı Maddelerinin Etkisi	27
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	30
3.1.1. Agregalar	30
3.1.2. Çimento	17
3.1.3. Su	34
3.1.4. Katkı maddeleri	35
3.1.4.1. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi	36
3.1.4.2. Yeni nesil süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması ve teknik özellikleri	36
3.2. Beton Karışımları	37
3.3. Beton Karışım Tasarımında Doluluk (Packing)	39
3.4. Üretimde İzlenen Sıra	42
3.5. Numune Boyutları ve Şekilleri	43
3.6. Kür Programı	43
3.7. Numune Kodlarının Belirlenmesi	43
3.8. Sertleşmiş Beton Deneyleri	44
4. DENEY SONUÇLARI	45
4.1. Taze Beton Deney Sonuçları	45
4.1.1. Birim ağırlık deneyi	45
4.1.2. Çökme (Slump) deneyi	45
4.1.3. Taze betonun 8 mm ve 4 mm'lik eleklerden elenmesi	47
4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	48
4.2.1. Küp basınç deneyi	48
4.2.2. Disk yarma-çekme deneyi	49
4.3. ImageJ Programı İle Yüzey Görüntü Analizi	50
5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ ve DEĞERLENDİRİLMESİ	55
5.1. Basınç Dayanımı	55
5.2. Disk Yarma-Çekme Dayanımı	57
5.3. ImageJ İle Yüzey Görüntü Analizinin Değerlendirilmesi	60

5.4. Taze Betonun 8mm ve 4mm'lik Eleklerden Elenmesi İşleminin Değerlendirilmesi	62
5.5. Sürekli ve Kesikli Granülometri İle Hazırlanan Beton Karışımlarının Karşılaştırılması	67
6. GENEL SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	70
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ	92

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1: Beton Sınıfları	11
Tablo 2.2: Çekme Dayanımının Zamana Bağlı Değişimi	12
Tablo 2.3: Doluluk Oranı ve Beton Özellikleri	13
Tablo 2.4: Doluluk Programındaki Girdi ve Çıktılar	18
Tablo 2.5: Danimarka’da Yapılmış, Farklı Agregatıpleri İçin Deneysel Olarak Belirlenmiş Doluluklar ve Teorik Olarak Hesaplanmış Tek Dağılım Dolulukları	20
Tablo 3.1: Agregaların Fiziksel Özellikleri	31
Tablo 3.2: Agregaların Elek Analizi Sonuçları	32
Tablo 3.3: Portland Çimentosunun Fiziksel Özellikleri	33
Tablo 3.4: Portland Çimentosunun Kimyasal Özellikleri	34
Tablo 3.5: Portland Çimentosunun Basınç Dayanımı	34
Tablo 3.6: Kullanılan Süperakışkanlaştırıcının Teknik Özellikleri	37
Tablo 3.7: Teorik Beton Bileşimleri ve Özellikleri	39
Tablo 3.8: Üretilen Beton Bileşimlerinin Açılımları	44
Tablo 4.1: Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları	45
Tablo 4.2: Çökme Deneyi Sonuçları	47
Tablo 4.3: Taze Betonda Agreganın 8mm ve 4mm’lik Eleklerden Elenmesi Sonuçları	48
Tablo 4.4: Küp Basınç Deneyi Sonuçları	49
Tablo 4.5: Disk Yarma-Çekme Deneyi Sonuçları	50
Tablo 5.1: Alt ve Üst Kısım Arasındaki Agregat Ağırlıklarının Yüzdesel Farkı	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Boşlukların Doldurulması ve Taneciklerin Yüzeyi İçin Gerekli Betondaki Su İçeriği	6
Şekil 2.2: Farklı Su/Çimento Oranlarında Segregasyonun Gözlenmesi	7
Şekil 2.3: Betondaki Farklı Terleme Çeşitleri	9
Şekil 2.4: Doluluk Konsepti	14
Şekil 2.5: a) Düzenli ve b) Rasgele Doluluk Arasındaki Fark	16
Şekil 2.6: İki Farklı Malzeme ile Doluluk Hesaplamalarının Sonucu	19
Şekil 2.7: Üç Farklı Malzeme ile Doluluk Hesaplamalarının Sonucu	19
Şekil 2.8: Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması	29
Şekil 3.1: Agregaların Granülometri Eğrileri	32
Şekil 3.2: Üçlü Karışımın (S1) Granülometrisi ve Referans Eğrileri	38
Şekil 3.3: Dörtlü Karışımın (S2) Granülometrisi ve Referans Eğrileri	38
Şekil 3.4: Orta Sınıfın Baskın Olduğu Parçacıkların Üçlü Doluluğu ve Duvar Etkisi ..	40
Şekil 3.5: Üç Agregaya İçin Üçgen Doluluk Haritası	41
Şekil 3.6: İki Agregaya İçin Yay Şeklindeki Doluluk Eğrisi	41
Şekil 3.7: Üçlü Karışımın (K1) Granülometrisi	42
Şekil 3.8: Numune Şekilleri ve Boyutları	43
Şekil 4.1: Çökmenin Dört Çeşidi	46
Şekil 4.2: K1-18-60 Kodlu Numunenin Üst Yüzeyi	52
Şekil 4.3: Adobe Photoshop Programı İle Agregaların Seçilmesi	53
Şekil 4.4: ImageJ Programı İle Yüzey Analizinin Yapılması	53
Şekil 4.5: K1-18-60 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	54
Şekil 4.6: K1-18-80 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	54
Şekil 5.1: K-2 Kodlu Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Değişimi	55
Şekil 5.2: S-1 ve S-2 Kodlu Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Değişimi	56
Şekil 5.3: K-1 ve K-3 Kodlu Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Değişimi	57
Şekil 5.4: K-2 Kodlu Numunelerin Yarma-Çekme Mukavemetlerinin Değişimi ...	58

Şekil 5.5: S-1 ve S-2 Kodlu Numunelerin Yarma-Çekme Mukavemetlerinin Değişimi	58
Şekil 5.6: K-1 ve K-3 Kodlu Numunelerin Yarma-Çekme Mukavemetlerinin Değişimi	59
Şekil 5.7: Numunelerin Yarma-Çekme Mukavemeti Alt-Üst Farkı ile Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişki	60
Şekil 5.8: K2-18-65 ve K2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	61
Şekil 5.9: S2-36-65 ve S2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	61
Şekil 5.10: K2-18-65 ve K2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Toplam Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	62
Şekil 5.11: Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişki ...	64
Şekil 5.12: K2 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Alt Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki	64
Şekil 5.13: K2 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Üst Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki	65
Şekil 5.14: Üst Kısım Agregala Alan Yüzdeleri (8-16mm) İle Ağırlık Yüzdeleri (8-16mm) Arasındaki İlişki	65
Şekil 5.15: Üst Kısım Agregala Alan Yüzdeleri (4-8mm) İle Ağırlık Yüzdeleri (4-8mm) Arasındaki İlişki	66
Şekil 5.16: ImageJ Alt-Üst Kısım Arasındaki Fark (8-16mm) İle Eleme Alt-Üst Kısım Arasındaki Fark (8-16mm) İlişkisi	66
Şekil A.1: K-2 Kodlu Numunenin Üçgen Doluluk Haritası	74
Şekil A.2: K-2 Kodlu Numunenin Karışım Granülometrisi	74
Şekil A.3: K-3 Kodlu Numunenin Üçgen Doluluk Haritası	75
Şekil A.4: K-3 Kodlu Numunenin Karışım Granülometrisi	75
Şekil A.5: K-4 Kodlu Numunenin Üçgen Doluluk Haritası	76
Şekil A.6: K-4 Kodlu Numunenin Karışım Granülometrisi	76
Şekil A.7: K.K. ve D.K-1 İçin Yay Şeklindeki Doluluk Eğrisi	77
Şekil A.8: K.K. ve D.K-1 İçin Karışım Granülometrisi	77
Şekil B.1: K2-3-65 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	78
Şekil B.2: K2-9-65 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	78
Şekil B.3: K2-18-65 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	79
Şekil B.4: K2-18-90 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	79
Şekil B.5: K2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	80

Şekil B.6: K3-18-75 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	80
Şekil B.7: K3-18-95 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	81
Şekil B.8: K4-18-110 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	81
Şekil B.9: S1-18-50 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	82
Şekil B.10: S1-18-50 (Tekrar) Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	82
Şekil B.11: S1-18-85 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	83
Şekil B.12: S2-36-65 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	83
Şekil B.13: S2-18-100 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	84
Şekil B.14: S2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	84
Şekil B.15: K1-18-60 ve K1-18-80 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Toplam Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	85
Şekil B.16: S2-36-65 ve S2-18-130 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Toplam Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi	85
Şekil B.17: S2 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Alt Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki	86
Şekil B.18: S2 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Üst Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki	86
Şekil B.19: K3 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Alt Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki	87
Şekil B.20: K3 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Üst Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki	87
Şekil B.21: Alt Kısım Agrega Alan Yüzdeleri (8-16mm) İle Ağırlık Yüzdeleri (8-16mm) Arasındaki İlişki	88
Şekil B.22: Alt Kısım Agrega Alan Yüzdeleri (4-8mm) İle Ağırlık Yüzdeleri (4-8mm) Arasındaki İlişki	88
Şekil B.23: ImageJ Alt-Üst Kısım Arasındaki Fark (4-8mm) İle Eleme Alt-Üst Kısım Arasındaki Fark (4-8mm) İlişkisi	89
Şekil C.1: Yarma-Çekme Deneyi Düzenegİ	90
Şekil C.2: K2-18-65 Kodlu Numunenin Alt Diskinin Yarma-Çekme Deneyi Sonrası Görünüşü	91
Şekil C.3: K2-18-130 Kodlu Numunenin Alt Diskinin Yarma-Çekme Deneyi Sonrası Görünüşü	91

TAZE BETONDA SEGREGASYONUN ÖLÇÜLMESİ VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Beton karışım tasarımlarında agregaların mümkün olduğunca sıkı paketlenerek maksimum dolulukla yer alması istenir. Böylece agrega ile beton arasında yer alan boşlukları doldurmak için gerekli bağlayıcı madde ihtiyacı minimuma inmiş olur. Beton üretiminde amaç kalıba dökülmüş halde doluluğun büyük bir değer alması ve dayanımının da yüksek olmasıdır. Betonun üretildiği andaki homojenliğini, doluluğunu ve dolayısıyla dayanımını kaybetmesi mümkündür. Böyle bir sonucun elde edilmemesi için betonun işlenebilme özelliğine sahip olması gerekmektedir.

Betonun hazırlanması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında iri taneler ince tanelerden ayrışabilir bu olaya “segregasyon” denir. Segregasyon özellikle sulu karışımlarda iri agregaların çökmesi biçiminde meydana gelmektedir. Vibrasyon işlemi betonun iyi bir şekilde sıkıştırılmasını sağlar, fakat yanlış kullanımı ve uzun süre işleme tabi tutulması, iri agreganın aşağıda, çimento hamurunun ise yüzeyde toplanmasına neden olur.

Bu tez çalışması kapsamında kesikli ve sürekli granülometriye sahip toplam 6 farklı karışımdan 16 adet karışım üretilmiştir. Bu karışımların hepsinde su/çimento oranı 0,50 olarak alınmıştır. Segregasyonun gözlelenebilmesi için deneme karışımlarında üç farklı vibrasyon süresi (3 sn, 9 sn, 18 sn) uygulanmıştır. Deneme karışımlarından elde edilen veriler sonucunda, karışımlar 18 saniye vibrasyona maruz bırakılmışlardır. Ayrıca aynı karışım için hiper akışkanlaştırıcı katkı miktarları arttırılarak segregasyon oluşması sağlanmıştır. Yürütülen deneysel çalışmalarda segregasyon oluşmayan karışımlar ile vibrasyon süresinin ve katkı miktarının arttırılarak segregasyon oluşmasına neden olunan karışımlar arasındaki farklar incelenmiştir. Taze haldeki betonda segregasyonu ölçebilmek için taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneylerinden elde edilen veriler incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda segregasyon oluşması ile basınç mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın kesikli granülometri ile oluşturulan karışımlarda %32’ye, sürekli granülometri ile oluşturulan karışımlarda %26’ya kadar çıktığı görülmüştür. Benzer şekilde yarma-çekme mukavemetlerinin de segregasyon oluşması sonucu azaldığı görülmüştür. Alt ve üst diskler arasındaki yarma-çekme mukavemeti farkı arttıkça basınç mukavemeti azalmıştır. Yüzey görüntü analizi sonucunda segregasyon olan numunelerde üst diskde bulunan agregalar arası mesafenin alt diske göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Betonun taze halde elenmesi ile segregasyon sonucunda alt ve üst kısımdaki iri malzeme farkı arttıkça basınç mukavemeti ve yarma-çekme mukavemetinin azaldığı bulunmuştur. Taze beton deney sonuçlarına göre sürekli granülometriye sahip betonların segregasyona karşı daha dirençli oldukları saptanmış, sertleşmiş beton deney sonuçlarına göre ise kesikli granülometriye sahip betonların mekanik davranışlarının daha iyi oldukları görülmüştür.

QUANTIFICATION OF SEGREGATION IN FRESH CONCRETE AND ITS EFFECT ON HARDENED CONCRETE PROPERTIES

SUMMARY

In order to minimize the binder content of the concrete, the mixture design can be tailored such that the aggregates would pack tightly and leave smaller space for the binder to fill. The aim of the mixture design is to provide maximum compacity in the fresh state and higher strength in the hardened state of the concrete. Under certain circumstances, it is possible for the concrete to loose its homogeinty, compacity and hence, strength. For this reason, the concrete should have certain workability properties in its fresh state.

The larger aggregate grains can seperate from the finer grains during mixing, transporting, placing and vibration of concrete. This phenomenon is called segregation, which occurs especially with the presence of excess water in the mixture. Vibration may provide better compaction and placement of concrete, however, when used longer time periods, it may cause the larger grains to settle at the bottom and the cement paste to float at the top.

In this study, sixteen concrete mixtures were cast, containing six different gradings of aggregate, composed of both continuous and step gradations. The water-to-cement ratio was kept constant at 0,5. In order to observe segregation, three different vibration times (3 sec, 9 sec, 18 sec) were chosen during trials. The amount of hyperplasticizer was also increased to achieve segregation. In the experimental studies, the differences between the workable mixtures and segregated mixtures were investigated. The studies were conducted and analysed both in fresh and hardened states.

As a conclusion, it has been observed that as the concrete mixtures were segregated, the compressive strengths were decreased. The decrease was up to 32% for the mixtures with step grading and 26% for the mixtures with continuous grading. Similarly, the split tensile strength of the concrete mixtures were decreased as segregation took place in the fresh concrete. The image analysis results indicated that the distance between aggregates was larger in the upper portion of the segregated concrete mixtures. The sieving of fresh concrete results indicated that when the difference of coarse aggregate between bottom and upper portion of the segregation was increased, the split tensile strength and the compressive strengths were decreased. As a fresh concrete results, the mixtures with continuous grading resist more against to segregation. As a hardened concrete results, the mixtures with step grading have been better mechanical properties than the mixtures with continuous grading.

1.GİRİŞ

Beton, belirli esaslara göre karışım oranları hesaplanan, çimento, agrega, su ve gerekiyorsa akışkanlaştırıcı ya da priz geciktirici gibi katkı maddelerinden oluşan bir karışımı, şekil ve boyutları bir amaca yönelik belirlenmiş kalıpların içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları altında sertleştirmek sureti ile elde edilen, sınıfı basınç dayanımına bağlı olarak ifade edilen kompozit bir malzemedir [1,2].

Günümüze kadar olan gelişim sürecinin sonunda, ihtiyaçlara cevap verebilmek amacı ile farklı özelliklerde betonlar üretilmektedir. Özellikle son yıllarda, beton endüstrisindeki gelişmeler sonucunda çok yüksek dayanımlara ve kırılma enerjilerine erişilmiştir. Mekanik, fiziksel ve ekonomik özelliklerinin çeşitliliği dolayısı ile net bir sınıflandırma yapmak güç olsa da genel anlamda konvensiyonel ve özel betonlar olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir.

Konvensiyonel betonlar, günümüzde yaygın olarak kullanılan genel amaçlı betonlardır. En önemli özellikleri, malzemesine kolay ulaşılabilmesi, özel nitelikler gerektirmeyen ve kolay elde edilebilen işgücü ile ekonomik ve standartlara göre seri üretim yapılabilmesidir.

Basınç dayanımları 20-50 MPa arasında değişen normal betonların sünek davranışı bu dayanımın artması ile azalmaktadır. Yüksek dayanımlı ve ultra yüksek dayanımlı betonlarla karşılaştırıldıklarında ise normal betonların tek eksenli basınç ve çekme dayanımları ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Bu özelliklere sahip konvensiyonel betonlar bina, yol, köprü, tünel, baraj ve prefabrik yapı elemanları gibi, pek çok alanda kullanılırlar. Beton endüstrisinin gelişmesiyle, her ne kadar üstün niteliklere sahip betonlar üretilse de konvensiyonel betonların uygulamada her zaman yeri mevcuttur.

Beton karışım tasarımlarında daima istenen şey agregaların mümkün olduğunca yoğun olarak maksimum dolulukla yer almasıdır. Böylece agrega ile beton arasında yer alan boşlukları doldurmak için gerekli bağlayıcı madde ihtiyacı minimuma inmiş

olur. Böylelikle ekonomik faydasının yanı sıra; daha az rötne ve sünme, daha yoğun ve daha dayanıklı-uzun ömürlü bir beton türü elde edilmiş olur [3].

Beton üretiminde amaç kalıba dökülmüş halde kompasitenin büyük bir değer alması ve mukavemetinin de yüksek olmasıdır. Beton betoniyerden çıktıktan sonra kalıba muhtelif araçlarla götürülmelidir. Kalıba dökülünce de vibratör ve benzeri aletler kullanılarak kalıp içinde hareket ettirilerek sıkıştırılmalıdır. Bu suretle beton karışımı betoniyeri terk ettikten sonra gayet önemli mekanik işlemlere maruz kalmaktadır. Bu işlemler sonunda betoniyerden çıktığı andaki homojenliğini, kompasitesini ve dolayısıyla mukavemetini kaybetmesi mümkündür. Böyle bir sonucun elde edilmemesi için betonun bir özelliğe sahip olması gerekmektedir ki işte buna işlenebilme özelliği diyoruz.

Betonun hazırlanması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında iri taneler ince tanelerden ayrışabilir bu olaya “ segregasyon ” denir. Segregasyon özellikle sulu karışımlarda iri agregaların çökmesi biçiminde meydana gelmektedir. Betonun yerleştirileceği yere mümkün olduğunca yakın olmasına çalışılmalıdır [4]. Vibrasyon işlemi betonun iyi bir şekilde sıkıştırılmasını sağlar, fakat yanlış kullanımı ve uzun süre işleme tabi tutulması, iri agreganın aşağıda, çimento hamurunun ise yüzeyde toplanmasına neden olur.

Bu tez çalışması kapsamında kesikli ve sürekli granülometriye sahip toplam 6 farklı karışımdan 16 adet karışım üretilmiştir. Bu karışımların hepsinde su/çimento oranı 0,50 olarak alınmıştır. Segregasyonun gözlemlenmesi için deneme karışımlarında üç farklı vibrasyon süresi (3 sn, 9 sn, 18 sn) uygulanmıştır. Deneme karışımlarından elde edilen veriler sonucunda, karışımlar 18 saniye vibrasyona maruz bırakılmışlardır. Ayrıca aynı karışım için hiper akışkanlaştırıcı katkı miktarları arttırılarak segregasyon oluşması sağlanmıştır. Yürütülen deneysel çalışmalarda segregasyon oluşmayan karışımlar ile vibrasyon süresinin ve katkı miktarının arttırılarak segregasyon oluşmasına neden olunan karışımlar arasındaki farklar incelenmiştir. Taze haldeki betonda segregasyonu ölçebilmek için taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneylerinden elde edilen veriler incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER

Beton üç malzemenin kumun, çakılın veya kırmataşın ve çimentonun bir araya gelmesiyle meydana gelen kompozit bir yapı malzemesidir. Burada çimento hamuru, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompazitesini arttırır. Çakıl veya kırmataş taneleri betonun bir nevi iskeletini oluşturur.

Betonda, en genel anlamda beklenen üç ana nitelik; işlenebilirlik, dayanım, ve dayanıklılıktır. Beton, yerine yerleştirilirken viskoz bir sıvı olduğundan, betonun akış özellikleri veya reolojisi yapı endüstrisi açısından önemlidir.

2.1. Taze Betonun Fiziksel Özellikleri

2.1.1. Taze betonun plastik özellikleri

Karıştırıcıda hazırlanmış, ancak priz aşamasına geçmemiş olan taze betonun üç ana özelliği bulunur. Bunlar işlenebilirlik, tanelerin ayrışması (segregasyon) ve terlemedir.

2.1.1.1. Betonda işlenebilirlik ve kıvam

İşlenebilirlik taze betonun karıştırılma, yerleştirilme ve tamamlanma kolaylığı ve homojenliğinin ölçüsüdür. Bir başka deyişle, betoniyerden çıkan taze betonun taşıma ve kalıba yerleştirme sırasında kohezyonunu ve homojenliğini kaybetmemesi ve kalıplarda kolaylıkla yayılarak mümkün olduğu kadar az boşluk bırakarak bunları doldurma özelliklerinin hepsine birden işlenebilme özelliği denir. İşlenebilirliği yüksek olan beton minimum enerjiyle karıştırılabilir ve kalıba yerleştirilebilir. Taşınması ve yerleştirilmesi sırasında karışımın ayrışma olmaz ve beton kalıplara en az boşluk kalacak biçimde yerleşir [4].

İşlenebilirlik, betondaki her bileşenden ve betonun yapım aşamasındaki her koşuldan doğrudan etkilenir. Bunlar çimento miktarı ve özellikleri, ince ve iri agregaların granülometrisi, biçimleri ve yüzey özellikleri, karışımındaki agrega oranları, sürüklenen hava miktarı, puzolanın tipi ve miktarı, kimyasal katkıların tipi ve

miktarları, betonun sıcaklığı, karıştırılma yöntemi ve suyla çimentonun ne zaman temas ettikleri gibi etkenlerdir. Bu etkenler birbirleriyle öyle bir etkileşim içindedirler ki, bir malzemenin miktarında yapılacak bir oynama, hedeflenen işlenebilirliğe ulaşılabilmesi için diğer malzeme miktarlarında da değişiklik yapılmasına neden olur [5].

Betonun kararlılığını etkileyen üç ana faktör vardır. Su/çimento (w/c) oranı, agrega/çimento oranı ve su miktarlarıdır. Örneğin, agrega/çimento oranı azaltılırsa, su/çimento oranının sabit kalması için su miktarının artması gerekmektedir. İnce agrega/iri agrega oranındaki artış ise su miktarının artmasına neden olur. Karışıma ince agrega eklenmesi durumunda hedef işlenebilirliği tutturmak açısından karışıma su ilave edilmelidir. Agrega oranlarıyla ilgili olarak belirtilmesi gereken bir husus da işlenebilirlik yeteneğinin artırılması için su miktarının yükseltilmesi yerine iri ve ince agrega oranlarının iyi ayarlanması ve akışkanlaştırıcı katkı kullanılmasının en akılcı çözüm yöntemi olduğudur [5].

Yuvarlak yerine köşeli agregaların kullanıldığı durumlarda su miktarı arttırılmalıdır. Ayrıca doygun olmayan ve su emme miktarının yüksek olduğu agregalar çimento hamurundan bünyelerine su alarak işlenebilirliği düşürürler. Çimento miktarını arttırmak gerekli kohezyonu sağlar ancak karşılığında işlenebilirliği azaltır. Diğer taraftan çimentonun inceliğini arttırmak da betonda işlenebilirliği hızla azaltır, çünkü hidratasyon çok hızlı gerçekleşir. Ayrıca bu durum betonda normalin üzerinde terlemeye sebep olur. Su/çimento oranı yüksek tutulmuş olan akıcı betonlarda karıştırma ve yerleştirme işleri düşük enerjiyle yapılabilir, ancak bu tür betonlarda kendini tutabilme özelliği (kohezyon) yeterli olmaz.

Ayrıca tanelerin ayrışması ve karma suyunun beton yüzeyinde toplanması olasılığı artar. Bu durum karşısında işlenebilirliği, akıcılık ve kohezyon gibi iki özelliğin optimum çözümü olarak belirlemek gerekir [4].

Betondaki kıvam kavramı ise işlenebilirlik yeteneği ile birlikte düşünülmelidir. Genellikle sıvılar için kullanılan kıvam deyimi taze betonun akıcılığını nitelendirmekte kullanılır. Kıvamlarına göre taze betonlar, kuru (nemli toprak görünümünde), plastik ve akıcı olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmada betonun su içeriği önemli derecede rol oynar. Agreganın cinsi ve jeolojik kökeni, ayrıca yüzey özelliği de kıvam derecesini etkiler. Örnek olarak, dere kumu, çakıl, kırmataş, kırma kum gibi farklı agregalarda aynı kıvamı tutturabilmek için farklı miktarlarda karma suyu katılması gerekmektedir.

Agreganın biçimi ve yüzey pürüzlülüğü taze betonun iç sürtünmesinde önemli rol oynar. İç sürtünme taneler arası, tanelerle çimentolar hamuru arasındaki sürtünmedir. Dış sürtünme ise beton ile kalıp ve donatı arasındaki sürtünmedir. Dış sürtünme, istenilen kıvam düzeyine ulaşmak için ve seçilecek maksimum tane çapı için bir kıstas oluşturur. Dış sürtünmeyle ayrıca pompa betonlarında da karşılaşılır. İç sürtünme ise taze betona ait bir malzeme özelliğidir. İç sürtünmeye, agrega yüzey ve şekil özellikleri dışında agregadaki ince malzeme oranı ve çimentonun bazı özellikleri de etki eder. Betonun kohezyonunu arttıran etkenler iç sürtünmeyi de arttırmırlar. Tıpkı ince agrega oranının artmasında olduğu gibi, çimentonun inceliğinin fazla olması ve çimentonun su tutma yeteneğinin artması da iç sürtünmeyi fazlaştıran olgulardır. Kumun biçimsizliği işlenebilme üzerinde olumsuz etki oluşturur. Yassı taneler içeren ve çok ince kumlar sakıncalıdırlar. İşlenebilirliği etkileyen kuma ait bu özellikler, sertleşmiş betonda da direncin düşmesine yol açar [4].

Kimyasal katkı maddeleri dikkate alındığında ise hava sürükleyici ve su azaltıcı katkıları işlenebilirliği iyileştirir. Hava sürükleyiciler çimento hamuru hacmini arttırarak terlemeyi ve segregasyonu azaltırlar. Su azaltıcı katkıları ise çimento taneciklerini çevreleyerek işlenebilirliği arttırmırlar.

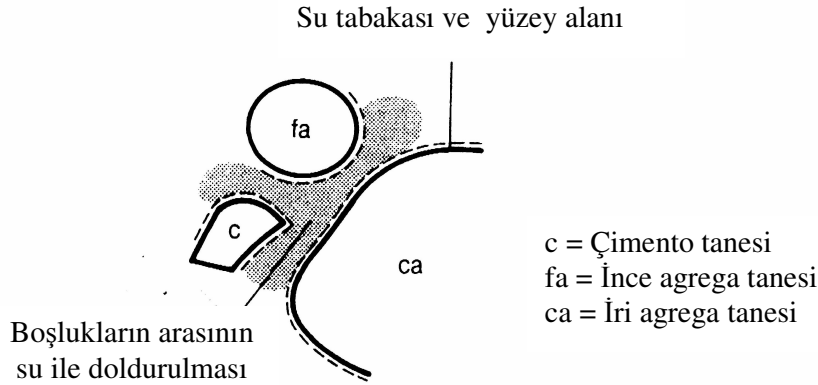
Mineral katkıları veya puzolanlar mukavemet ve dayanıklılığı arttırdıkları gibi işlenebilirliği de arttırmırlar. Bağlayıcı malzemenin bir bölümü uçucu külle yer değiştirecek olursa külün küresel yapıdaki tanecikleri sayesinde işlenebilirlik artar. Silis dumanı gibi çok ince mineral katkıları ise fazlasıyla su talebinde bulunacakları için işlenebilirliği olumsuz etkilerler.

İşlenebilirliğin ölçülebilmesi için çeşitli deney düzenekleri olmasına karşılık, şantiyede en yaygın olarak kullanılan deney çökme deneyidir. Daha çok laboratuarlarda kullanılan, vibrasyona uygun kuru ve plastik betonların sınıandığı deney türlerinde verilen enerji ve boşluksuz yerleşme zamanları ölçülerek, işlenebilirlik hakkında karar verilir.

2.1.1.2. Betonda tanelerin ayrışması (segregasyon) ve sebepleri

Betonun hazırlanması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında iri tanelerin ince tanelerden ayrışması olayına segregasyon denir. Segregasyon ya iri agregaların eğik düzlem boyunca ince agregalardan daha çabuk yol almaları şeklinde ya da özellikle sulu karışımlarda iri agregaların çökmesi biçiminde meydana

gelmektedir. Eğer betonun yerleştirileceği yere kısa mesafede taşınması mümkün olabilirse, segregasyon tehlikesi azalır. Eğer beton santrali uzakta bulunuyorsa taşıma işleminin transmikselerle yapılması gerekmektedir. Betonun oldukça yüksek yerden düşürmek, oluktan geçirmek, iletim yönünde değişiklikler yapmak veya bir engelle karşılaştırmak segregasyonu artırır. Pompa kullanımında dış sürtünmeyi azaltmak için akıcı beton gerekse de akıcılıktan kaynaklanabilecek segregasyon tehlikesine karşı betonun kohezyonlu olması gerekmektedir [4,6]. Şekil 2.1’de boşluklar ve tanecik yüzeyleri için gerekli betondaki su içeriği gösterilmiştir.



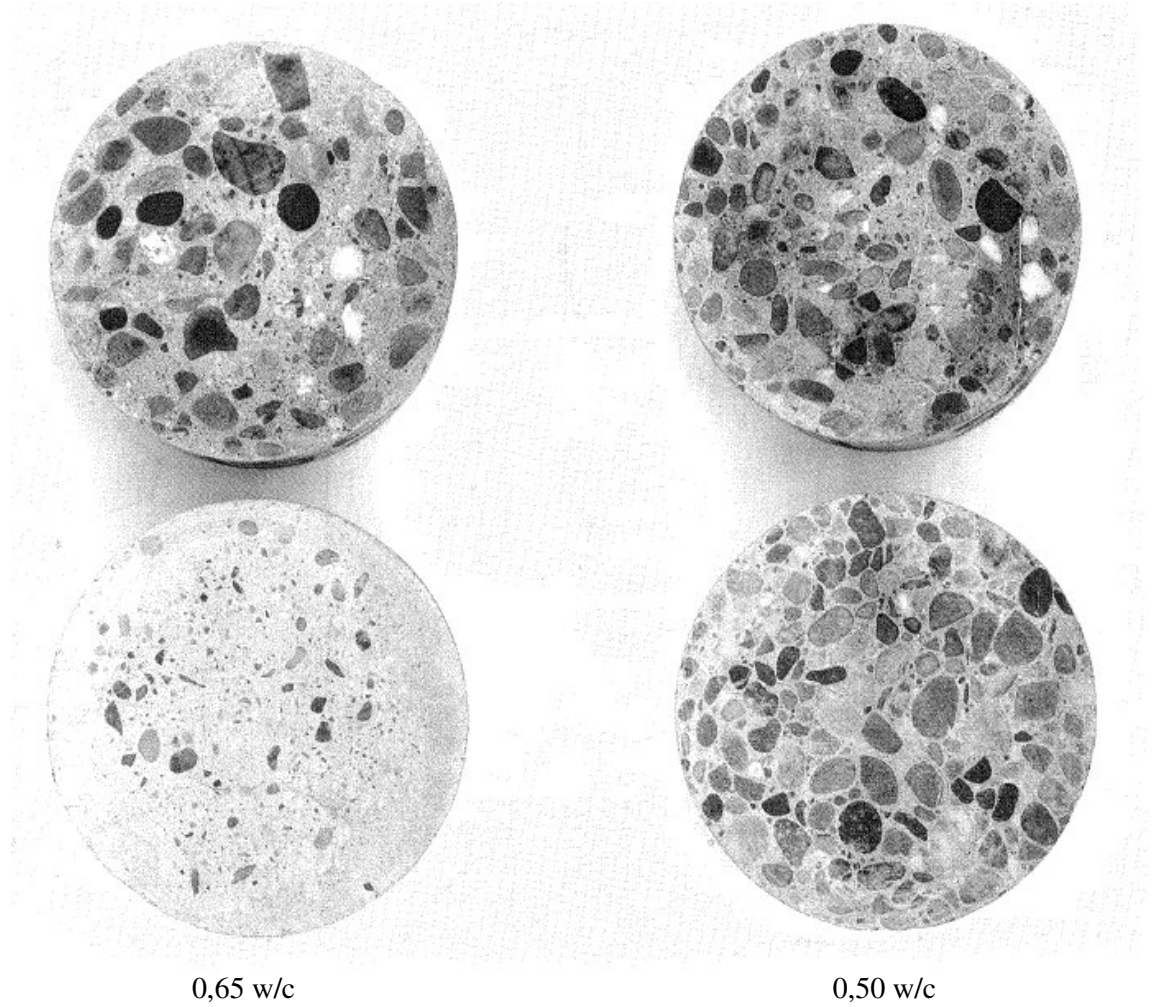
Şekil 2.1: Boşlukların Doldurulması ve Taneciklerin Yüzeyi İçin Gerekli Betondaki Su İçeriği [7].

Betonun iyi bir şekilde üretilmesi, ulaştırılması ve yerleştirilmesi segregasyonu önemli ölçüde azaltır. Vibrasyon işlemi betonun iyi bir şekilde sıkıştırılmasını sağlar, fakat yanlış kullanımı ve uzun süre işleme tabi tutulması, kaba malzemenin aşağıda, çimento hamurunun ise yüzeyde toplanmasına, dolayısıyla betonun zayıf olmasına neden olur.

Bir başka deyişle segregasyon taze betonu oluşturan bileşenlerin ayrışması yani düzensiz bir karışım meydana gelmesidir. Genel olarak bazı iri agregaların beton harcından ayrılmasıdır. Bu ayrışma iki şekilde olabilir; taze betonun dibine çöken iri parçacıklar veya iri agregaların taze betondan ayrılmasıdır. Genellikle yanlış vibrasyon uygulamasından kaynaklanır. Her ne kadar segregasyon için bir ölçüm testi bulunmasa da meydana geldiği anda açık bir şekilde görülebilir [7].

Segregasyon betonun işlenebilirliğinde önemli ölçüde yer tutar. Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi en üst ve en alt yüzeyleri gösteren iki disk, iki parti farklı su oranı

içeren karışımdan oluşmuştur. Bu iki karışım kalıplara dökülerek vibrasyon tablasında tutulmuştur. Karışım agrega/çimento oranı 5,8/1 ve %40 hafif malzemeler içermekte, fakat su/çimento oranı bir partide 0,50 değerinde 0,65 olarak alınmıştır. Karışımdaki su oranı artınca segregasyon çok açık olarak gözlenmektedir. Açık olarak betonun karışım, işleme ve taşınması, bileşimin homojenliğini sağlamak açısından son derece önemlidir [8].



Şekil 2.2: Farklı Su/Çimento Oranlarında Segregasyonun Gözlenmesi [8].

İç ve dış olmak üzere iki çeşit segregasyon olduğu öne sürülmüştür. İlk bahsedilen iri ve ağır parçaların aşağıya doğru yerleşmesidir, diğeri ise iri parçaların dış kuvvetler tarafından birleşim öncesi ana bölümden ayrılmasıdır. Örneğin uygunsuz taşıma metodları gibi [8].

İç segregasyondaki eğilim bir örneğe uygulanarak bileşimdeki standart metodlar ile ölçülebilir. Örneğin her iki ölçülen ağırlık merkezinin yerinin değişmesi ve iri agregaların ve diğer parçaların tespiti için alt ve üst bölümün ayrılmasıyla ölçülür. Yoğunluktaki dağılım gama ışınları ile örneğin içinden incelme ölçülerek tespit edilebilir [8].

Dış segregasyondaki eğilim genellikle standart koşullar altında betonun düşürülmesi ile ölçülebilir. Walz tarafından önerilen testte eğimli bir elekten beton geçirilerek karışımındaki iri agrega miktarı artışı eleğin başından sonuna kadar ölçülebilmektedir [8].

Segregasyon genellikle zararlıdır ve önlemek son derece kolaydır. Segregasyon artışına sebep olan faktörler aşağıda sıralanmıştır.

a) Malzeme oranları ve özellikleri

Taze betonu oluşturan malzemelerin uygun oranlarda kullanılmamış olması, ve/veya kullanılan malzemelerin uygun özellikte olmaması beton içerisindeki malzeme dağılımının, homojen olmamasına ve segregasyonun oluşmasına yol açan önemli etkenlerdir.

- 1) İri agrega miktarının çok olması ve en büyük agrega tane boyutunun 25 mm' den büyük seçilmesi,
- 2) İri agreganın ve ince agreganın özgül ağırlıkları arasında önemli fark bulunması,
- 3) İnce agrega veya çimento gibi ince malzemelerin az olması,
- 4) Agregaların düzgün yüzeye ve yuvarlak şekle sahip olmamaları, agregadaki yassı ve uzun şekilli kusurlu tanelerin fazla olması,
- 5) Beton karışımının aşırı ölçüde sulu veya aşırı ölçüde kuru olması [6,8].

b) Beton üretiminde kullanılan malzemelerin karıştırma işleminin yeterince yapılmamış olması.

c) Taze betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işleminin uygun tarzda ve uygun süreyle yapılmaması.

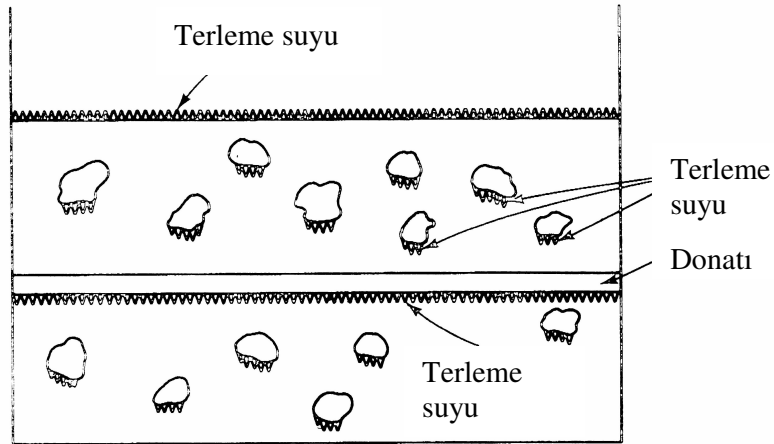
Taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri uygun yöntemlerle uygun şekilde yapılmadığı takdirde, taze beton kolaylıkla segregasyon gösterebilmektedir.

Gereğinden daha uzun süreyle yapılan sıkıştırma (vibrasyon), betonda segregasyon yaratmaktadır. Betondaki segregasyon tespiti gözle yapılabilir. Mineral katkıları ve hava sürükleyici kimyasallar doğru şekilde kullanıldığı takdirde segregasyonu azaltır fakat işleme ve yerleştirme metodlarına uyulmalıdır [6,8].

2.1.1.3. Betonun terlemesi

Terleme, taze karışım içindeki suyun kalıba yerleştirilmiş betonun yüzeyinde birikmesidir. Betonda oluşan segregasyon veya agregaların bünyelerinde suyu tutamamaları gibi nedenlerle terleme oluşabilir.

Terleme sonucu yüzey ıslak hale geldiğinden çimentonun hidratasyonu için gerekli olan su kaybedilmiş olur, ancak fazla su ekleyerek bu sorunu telafi etmeye çalışmak boşluklu ve düşük mukavemetli betonun ortaya çıkmasına neden olur. Terleme suyu üst yüzeyin bitirilmesi sırasında karıştırılırsa zayıf taşıyıcı bir yüzey oluşur. Dolayısıyla terleme suyu tamamen buharlaşmaya kadar yüzeyde herhangi bir düzeltme yapılmamalıdır. Beton yüzeyindeki buharlaşma hızı, terleme oranının gelişme hızından daha fazla ise, plastik büzülme (rötre) çatlakları meydana gelir [4].



Şekil 2.3: Betondaki Farklı Terleme Çeşitleri [6].

2.2. Betonun Yapısal Özellikleri

Yapının projelendirilmesi sırasında saptanan ve hizmet yüklerinin taşınması yeteneğini simgeleyen dayanım, kullanılacak betonun sınıfının belirleyici öznesidir. Yapıda kullanılacak olan betonun sahip olması gereken dayanımın yanı sıra, dayanım

kazanımında rol oynayan, ayrıca hizmet ömrü boyunca maruz kalacağı zorlamalara karşı görevini başarıyla sürdürmede yardımcı olan doluluk, dayanıklılık, geçirimsizlik ve elastiklik gibi özelliklerinin de bulunması gerekmektedir.

2.2.1. Dayanım

Gevrek bir malzeme olan betonun çekme dayanımı çok düşük, basınç dayanımı yüksektir. Bu iki dayanım arasındaki oran 1/10 mertebesindedir.

2.2.1.1. Basınç dayanımı

Betonu sınıflandırmada kullanılan önemli kavramların başında basınç dayanımı gelir (Tablo 2.1). Beton numunelerinin basınç dayanımı üzerinde etkili olan parametreler; beton numunesinin yaşı, numunenin saklanma koşulları, numunenin boyutları, numunenin yerleştirilme türü, numunenin yük uygulanan yüzeyinin özelliği ve yükleme hızı olarak sıralanabilir. Belirtilen parametreler deney aşamasında belirlenir. Ancak standartlara uyan numunelerin basınç dayanımları kabul edilir. Karakteristik basınç dayanımı f_{ck} , denenecek silindirlerden elde edilecek basınç dayanımlarının, bu değerden düşük olma olasılığı belirli bir oran (genellikle %5) olan değerdir [10].

Basınç dayanımı karışım ve üretim faktörleri tarafından doğrudan etkilenmektedir. Hidratasyon suyu çimentoda kristalleştirerek kaybolur ancak ıslatılan su, priz ve sertleşmeden sonra buharlaşarak boşluklara sebep olur. Boşluk oranı arttıkça betonun basınç dayanımı azalır. Hidratasyon suyu ve elektro-statik kuvvetlerle tutulan adsorbsiyon suyu miktarları sabit kalacağına göre ıslatılan su oranının düşürülmesine çalışılmalıdır. Bunu sağlamak için de kullanılan agregaların maksimum tane boyutları büyütülebilir [4].

Karışım hesabında yapıya uygun basınç dayanımının elde edilebilmesi için gereken su/çimento oranı ile çevresel etkiler için gereken maksimum su/çimento oranı karşılaştırılarak küçük olan değer seçilmelidir. Karışım etkenlerinden bir diğeri, çimento dozajıdır. Dozajın artması, basınç dayanımını kolayca yükseltir ancak dozajın aşırı artırılması rötreye neden olur. Rötreye de çatlakları ve betonun geçirimsizliğini artırır.

Betonun hazırlanması, taşınması ve yerleştirilmesi sırasında yoğun titreşimlere ve dolayısıyla segregasyona maruz kalması beton dayanımını doğrudan olumsuz yönde etkiler. Diğer taraftan uygulanacak doğru beton kürü çatlakların oluşumunu ve su kaybını engeller, böylece dayanımı ve dayanıklılığı artırır. Dolayısıyla betonun

hazırlanması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sürecinde TS 1247 ve TS 1248 standartlarına uyulmalıdır.

Tablo 2.1: Beton Sınıfları [10].

Beton Sınıfı	Karakteristik Silindir Basınç Dayanımı, f_{ck}	Eşdeğer Basınç Küp(150 mm) Dayanımı	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk}	28 Günlük Elastisite Modülü
	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2
C16/20	16	20	1,4	27000
C18/22	18	22	1,5	27500
C20/25	20	25	1,6	28000
C25/30	25	30	1,8	30000
C30/37	30	37	1,9	32000
C35/45	35	45	2,1	33000
C40/50	40	50	2,2	34000
C45/55	45	55	2,3	36000
C50/60	50	60	2,5	37000

2.2.1.2. Çekme dayanımı

Betonun çekme gerilmelerine karşı dayanımı çok düşüktür. Beton malzemede çekme dayanımı 28. güne kadar yüksek hızla, daha sonraki günlerde ise düşük hızla artar. 28 günlük çekme dayanımı 1,00 alındığında zaman boyunca değişme aşağıdaki tablodaki gibidir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: Çekme Dayanımının Zamana Bağlı Değişimi [4].

Gün	3	7	28	90	360
Çekme Dayanımı	0,40	0,70	1,00	1,05	1,10

Betonun çekme dayanımı ise üç şekilde belirlenebilir. Bunlardan ilki zor olmakla birlikte beton prizmalara eksenel çekme gerilmeleri uygulamak, diğeri silindirik numunelerin yatay düzlem üzerine yatırılmak ve bir doğrultusu boyunca yarma kuvvetleri uygulamak (dolaylı çekme deneyi), sonuncusu ise prizmatik numuneler üzerinde eğilme deneyini uygulamaktır. Eksenel çekme dayanımı f_{ctk} , silindir yarma deneyinden elde edilen çekme dayanımını 1,50 ile; eğilme deneyinden elde edilen çekme dayanımını da 2,0 ile bölerek yaklaşık biçimde hesaplanabilir.

2.2.2. Doluluk

Betonun birim hacminde yer alan çimento, kum ve iri agreganın gerçek hacimlerinin toplamına doluluk (kompasite) denir. Bu bileşenlerin gerçek toplam hacmi, aynı ağırlıktaki betonun toplam hacminden daha azdır. Baştaki bu doluluk oranı, beton kalıba yerleştirildikten sonra suyun kısmen buharlaşmasıyla değişir.

Doluluk yüzdesinin küçük olması, betonda su veya hava miktarının fazlalığına işaret eder. Boşluk oranı büyük olan betonlarda direnç azalır. Sertleşme sırasında boşluklar genellikle iri agregası ile çimento hamuru arasında meydana gelir ve iki bileşenin arasında aderansı azaltır [4].

R. Feret betondaki taneciklerin doluluğu hakkındaki tezini 1892’de yayınlamış ve yüksek kalitede beton için uygun bileşenler seçiminin olasılıklarını ve sertleşmiş harcın gözenekliliği ile çimentonun basınç dayanımı arasındaki bağlantıyı ortaya çıkarmıştır [11].

Bir karışımda doluluğun yüksek olması, o karışımı oluşturan tanelerin granülometrik dağılımına bağlıdır. Yüksek bir doluluk için iri agregası miktarının fazla olması, kum miktarının iri agregası taneleri arasındaki toplam boşluğu dolduracak kadar olması gerekmektedir.

Granülometri veya agreganın boyutunun sınıflandırılması önemli bir özelliktir. Çünkü işlenebilir beton için gerekli hamuru belirler. Bu hamur maliyeti belirleyici

etkendir, çünkü çimento en pahalı bileşendir. Bu nedenle gerekli dayanım ve durabiliteyi sağlarken betonun içindeki hamur miktarının azaltılması istenebilir. Gerekli çimento hamurunun miktarı doldurulması gereken boşluğun boyutuna bağlıdır ve toplam alan tamamen doldurulmalıdır [11].

Deneyler gösteriyor ki beton karışımlarının yoğunluğu ile taze betonun akış özellikleri birbiri ile ilgilidir. Optimal akış özellikleri, maksimum doluluk oranına yakın karışım bileşimleri için belirlenir. Bu nedenle doluluk oranının beton özelliklerinde (porozite, permeabilite gibi) dolaylı olarak taze betonun işlenebilirliği ve sıkıştırılabilirliğinde ve de basınç dayanımında önemli bir etkisi vardır [12].

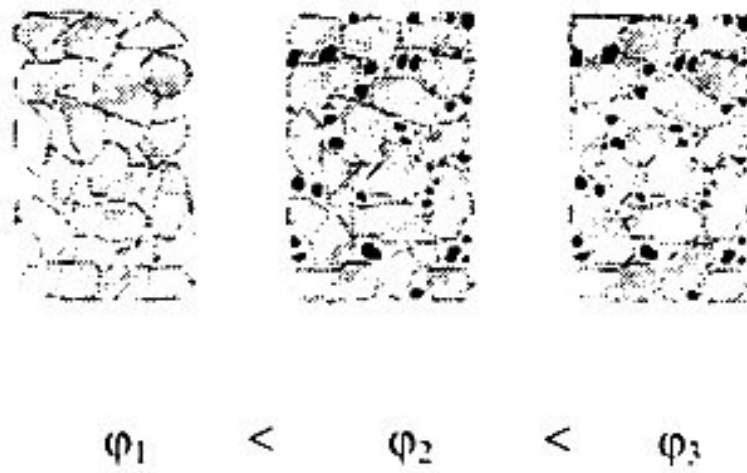
Betonda aranılan özellik, kalıbına dökülmüş durumda doluluğunun büyük değer alması ve direncinin de yüksek olmasıdır. Dolayısıyla betonun kalıba yerleştirilmesi ve sıkıştırılması aşamasında işlenebilirliği ve doluluk oranını artırıcı vibrasyon tekniklerinden yararlanılmalıdır.

Tablo 2.3: Doluluk Oranı ve Beton Özellikleri [11].

Karışım Nosu	Çimento miktarı (hacim %)	İri/kum	Doluluk Oranı	Çökme (mm)	Dayanım (Mpa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Hızlı Klor Geçirimsizliği (Coulombx1000)
1	10	1.00	0.705	7	19.8	2352	4.157
2	10	1.27	0.7158	2	22.3	2361	3.003
3	10	1.64	0.724	15	25.7	2388	3.382
4	10	1.92	0.726	35	44.6	2435	1.802
5	12	1.00	0.705	41	19.4	2372	4.019
6	12	1.27	0.7158	120	34.5	2403	2.972
7	12	1.64	0.724	58	25.2	2469	2.94
8	12	1.92	0.726	-	25.7	2470	2.929

2.3. Tanecik Doluluğu

Tane doluluğu alanı; tanecik malzemelerinin uygun boyutlar ve oranlarının seçilmesi probleminin araştırılması olarak tanımlanabilir. Bu sınıflandırma, büyük boşlukların da daha sonradan içi taneciklerle doldurulacak olan küçük boşlukların doldurulması işlemidir. Bu aşama Şekil 2.4’ de gösterilmiştir (burada ϕ doluluk oranını ifade eder). Farklı boyutlarda sınıflandırılmış tanecikler eklendiğinde doluluk oranının ϕ_1 ’ den ϕ_2 ’ ye arttığı gösterilmiştir [11].



Şekil 2.4: Doluluk Konsepti [11].

Tanecik sisteminin doluluk ile ilgili en önemli parametresi doluluk oranıdır (ϕ). Katılar tarafından oluşturulan sistemin hacim miktarı olarak da ifade edilebilir. Bu ifade ile doluluk oranı, 1- Porozite’ye (n) eşittir [11].

$$V_t = V_s + V_v \quad (2.1)$$

$$n = V_v / V_t \quad (2.2)$$

$$\phi = V_s / V_t = (V_t - V_v) / V_t = 1 - n \quad (2.3)$$

Burada V_s katı hacim miktarı, V_v boşluk hacmi miktarı, V_t toplam hacim, n ise porozitedir. Doluluk oranının tanımında ağırlık miktarlarının yerine hacim miktarları kullanılmıştır [11].

Beton performansının; kılcallık-boyut boşlukları ve bunların birbirlerine olan bağlılığının artırılması ile başarıya ulaşacağı genel olarak kabul edilmiştir. Kılcallık kontrolünün; su/çimento oranı, serbest su hacmi, çimentonun türü ve ince malzemenin kontrolü ile denetlenmesi mümkündür. Doluluk oranı/boşlukların

oranını ayarlamak için kullanılan tane doluluk modelleri serbest su hacminin azaltılması ve katkıların azami yapılması ile beton performansını geliştirmekte fayda sağlanabilir [13].

Beton gibi birçok karmaşık malzemeler bağlayıcı matriste harmanlanan taneli malzemelerden oluşur. Taneleri birleştirmenin amacı; daha az bağlayıcı kullanımı sağlayan gözenekliliği en aza indirmektir. Çoklu dağılımlı taneli bir karışımın doluluk yoğunluğu 3 ana parametreye bağlıdır [11].

1. Tane dağılım boyutu (Granülometri eğrisi ile tanımlanır)
2. Tanelerin şekli
3. Doluluk deneyinin yapılış metodu.

2.3.1. Tanecik doluluğunun modellenmesi

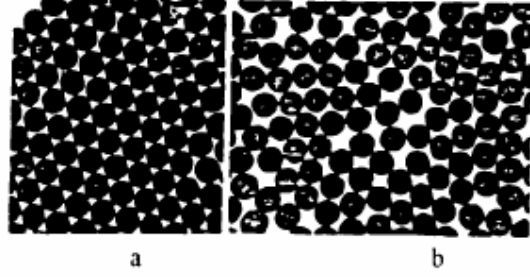
2.3.1.1. Tanecik doluluğunun analitik metotları

İlk deneysel ve teorik çalışmalar Furnas ve Westman tarafından, farklı boyutlardaki doluluk oranlarının idealize edilmesi için yapılmıştır. Bu konu atom enerjisi ve uzay araştırmaları nedeniyle 1950 ve 1960'lar da tekrar önem kazanmıştır. Analitik çalışmaların birçoğu etkin doluluk sağlanması için en uygun doluluk-boyut dağılımını sağlayarak metal borularda uranyum oksidin doluluğunu belirlemek amacı ile ilgilidir.

Bu modellerden anlaşılıyor ki tanecik doluluğunun analitik modelleri sadece sınırlı sayıdaki farklı tane boyutlarını içerir. Duvar etkisinin doluluk oranı üzerindeki etkisini göstermez [11].

2.3.1.2. Tanecik doluluğunun sayısal metotları

Tanecik doluluğu rasgele ve düzenli doluluk olmak üzere iki gruba ayrılır. Düzenli doluluk; taneciklerin sistemli olarak periyodik yerlere yerleştirilmesiyle oluşturulur. Diğer taraftan rasgele doluluk ise birbirleriyle bağıntılı olmayan işlemler dizisi ile oluşturulur. Şekil 2.5'de düzenli ve rasgele doluluk arasındaki farkların karşılaştırılması gösterilmektedir [11].



Şekil 2.5: a) Düzenli ve b) Rasgele Doluluk Arasındaki Fark [11].

2.4. Beton Karışım Tasarımı İçin Doluluk Hesaplamaları

2.4.1. Beton malzemelerin doluluğu

Beton karışım tasarımlarında daima istenen şey agreganın mümkün olduğunca yoğun olarak maksimum dolulukla yer almasıdır. Böylece agrega ile beton arasında yer alan boşlukları doldurmak için gerekli bağlayıcı madde ihtiyacı minimuma inmiş olur [14]. Böylelikle ekonomik faydasının yanı sıra; daha az rötre (büzülme) ve sünme, daha yoğun ve daha dayanıklı-uzun ömürlü bir beton türü elde edilmiş olur.

Agrega doluluğunun iyi bir şekilde yapılmış olması daha az miktarda çimento ve dolayısıyla daha az bağlayıcı madde kullanımı demektir. Bu da ekonomik açıdan önemli bir sonuçtur. Teorik olarak agregayı bir araya getirmenin sonsuz sayıda ihtimali vardır ve pratik olarak tüm bu olasılıkların etkisini hesap etmek mümkün değildir. İşte bu yüzden farklı malzeme bileşenlerinin meydana getirdiği doluluk modelleri ve bunların hesaplamaları önem kazanmaktadır. Beton karışım tasarımı yaklaşımı; tecrübeye dayanan, basit ve ampirik olarak elle hazırlanmış kurallar-tasarım ilkelerini temel alan klasik beton karışım tasarımından ayrılmaktadır [3].

2.4.2. Doluluk modelinin tarihi geçmişi

Parçacık doluluğu kavramı yeni bir kavram değildir. 1907’de Fuller ve Thompson, agrega hacim dağılımının ve beton özelliklerinin bileşen malzemelerin doluluğu üzerindeki önemine dair çalışmalar yaptılar [14].

Suenson, 1911’de agrega doluluğuna dair deneye dayalı diyagramlar ortaya koydu [15]. Bu diyagramlar, Şekil 2.7’de yer alan ve anlatılan bilgisayar-tabanlı doluluk programının sonucu olan üçgen doluluk diyagramlarına benzerlik göstermektedir. Powers da kapsamlı çalışmasında doluluk kavramını baz alarak beton karışım

tasarımından bahsetti [16]. Onun ardından Bache, beton karışımı tasarımında doluluk kavramını tartışıp fikir yürüttü [17].

Doluluk teorisiyle ilgili temel çalışmalar Furnas tarafından 1931 yılında başlatıldı [18]. Teorisi, küresel şekilli parçacıklara dayanıyordu ve ufak parçacıkların büyük parçacıklar arasındaki boşlukları doldurduğu varsayımını öne sürüyordu. Aynı zamanda büyük parçacıkların doluluğunu bozmayacak şekilde yerleştiğini varsayıyordu. Furnas'ın ardından doluluk modelleri günümüze değin geliştirildi. İki veya üç parçacık büyüklüğünde etkileşim içermeyen sadece küresel şekilli parçacık sistemlerinden, pek çok parçacıklı sürekli dağılım içeren ve etkileşimli modellere değin yeni sistemler geliştirildi. Özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler doluluk modelindeki ilerlemeyi tetiklemiştir [3].

2.4.3. Doluluk modelinin tanımı

Temel doluluk formülü şu şekildedir:

$$\text{Doluluk} = \min_{i=1}^n (\alpha_i + (1 - \alpha_i) \sum_{j=1}^{i-1} g(i, j) \phi_i + \sum_{j=i+1}^n f(i, j) \phi_j) \quad (2.4)$$

Burada;

α : tek dağılım doluluğu; eşit hacimli parçacıkların doluluğu

ϕ : hacim kesri

$f(i,j)$: “duvar” etkisi için etkileşim fonksiyonu. Büyük parçacıkların yakınındaki küçük parçacıklar asıl kısımdaki kadar yoğun bir biçimde sıkıştırılmazlar

$g(i,j)$: küçük parçacıkların büyük parçacıklar arasındaki boşluğu, onların doluluk düzenini bozmadan doldurmayacak kadar büyük oldukları zamanki etkileşim fonksiyonu. Bu etki μ -değeri ile karakterize edilmektedir. μ -değeri küçük parçacıkların, büyük parçacıkların doluluk düzenini bozmadan araya yerleşebilecekleri maksimum hacim oranını temsil etmektedir.

Tek dağılım doluluğu, doluluk hesaplamalarında önemli bir parametredir. Küresel parçacıklar için tek dağılım değeri 0.60-0.64 arasındadır. Fakat agrega küresel değildir. Bu yüzden tek dağılım doluluğu normalde 0.60-0.64'ten daha az

olmaktadır. Tek dağılım doluluğunu deneysel olarak belirlemek pratikte mümkün değildir [3].

2.4.4. Doluluk programı yazılımı

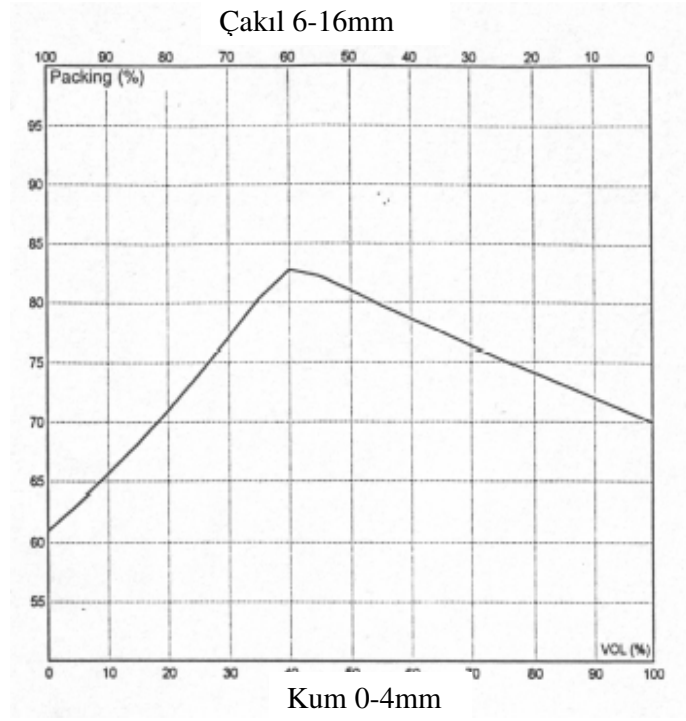
Bir önceki bölümde tanımlanan prosedür Danimarka Teknoloji Enstitüsü Beton Merkezi'nde ticari olarak kullanıma açık olan bilgisayar programına dönüştürülmüştür. Programın girdi ve çıktıları Tablo 2.4'de görülebilir. Doluluk analizindeki her materyale ait girdi ve çıktı dahil edilmiştir. Tüm doluluk hesaplamalarını da içermektedir.

Tablo 2.4: Doluluk Programındaki Girdi ve Çıktılar [3].

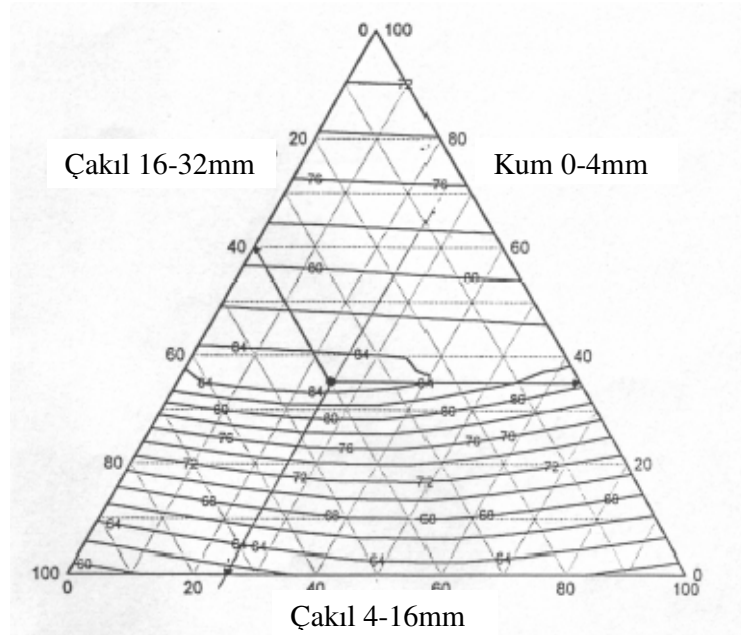
	Girdi	Çıktı
Malzeme	Yoğunluk Derecelendirme eğrisi Deneysel doluluk	Tek dağılım doluluk
Hesaplama	μ -değeri Derecelendirme eğrisindeki bölümlenenin miktarı Hesaplama kombinasyonlarının sayısı	İki-bileşenli sistemin doluluk diyagramı Üç-bileşenli sistemin doluluk diyagramı Bileşik derecelendirme eğrisi

Şekil 2.6, iki malzemeli doluluk diyagramını, Şekil 2.7 ise üç malzemeli doluluk diyagramını göstermektedir. Şekil 2.7'deki sonuç yüzdelik olarak eş-yükselti eğrileriyle temsil edilmiştir. Şekildeki işaretli nokta %84 oranında doluluk yoğunluğundadır. Bu malzemenin bileşimi %35 0-4 mm, %25 çakıl 4-16 mm ve %40 çakıl 16-32 mm'dir.

Doluluk analizi üçten fazla malzeme için gerçekleştirilirse izlenecek prensip şu şekilde olacaktır. İki malzemelik doluluk analizi dört malzemenin iki tanesi için gerçekleştirilir. Daha sonra program, iki materyal birleşik tek malzeme olacakmış şekilde ayarlanır. Böylece bu yaklaşım sonsuz sayıda malzeme için kullanılabilir [3].



Şekil 2.6: İki Farklı Malzeme ile Doluluk Hesaplamalarının Sonucu [3].



Şekil 2.7: Üç Farklı Malzeme ile Doluluk Hesaplamalarının Sonucu [3].

2.4.5. Doluluk hesaplaması

Agrega doluluğunun belirlenmesinde standardize edilmiş uygun bir yol mevcut değildir. Deneye dayalı bir biçimde en uygun yol agregaların en yoğun biçimde dolu bir halde bulundurulabilme halidir. Doluluk belirlenmesindeki hassasiyet yaklaşık olarak $\pm \%2$ civarındadır. Bu da demektir ki örneğin gerçek değer olan 0.60 için 0.59 ile 0.61 arası bir sonuç beklenmelidir.

Tablo 2.5’de Danimarka’da yapılmış farklı agrega tipleri için deneysel olarak belirlenmiş dolulukları ve teorik olarak hesaplanmış tek dağılım doluluklarını göstermektedir. Tablodan da görülebileceği gibi geniş parçacık hacimleri yüksek doluluk değerlerine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, yuvarlak parçacıkların (deniz ve taş ocağı malzemeleri) tek dağılım doluluğunun keskin parçacıklara göre (ör. granit) daha yüksek olduğu ortadadır [3].

Tablo 2.5: Danimarka’da Yapılmış, Farklı Agregat Tipleri İçin Deneysel Olarak Belirlenmiş Doluluklar ve Teorik Olarak Hesaplanmış Tek Dağılım Dolulukları [3].

Malzeme	Parçacık boyutu, mm	Ölçülmüş doluluk	Hesaplanmış tek dağılım doluluğu
Deniz kumu	0-1	0.62	0.55
Deniz kumu	0-4	0.68	0.55
Taş ocağı kumu	0-4	0.66	0.53
Taş ocağı çakılı	0-8	0.69	0.53
Deniz taşı	4-8	0.65	0.59
Deniz taşı	8-16	0.62	0.57
Deniz taşı	16-32	0.61	0.56
Taş ocağı taşı	4-8	0.60	0.55
Taş ocağı taşı	8-16	0.60	0.55
Taş ocağı granite	6-12	0.59	0.51
Sıkıştırılmış granit	8-16	0.58	0.53

2.4.6. Doluluk hesaplarının uygulamaları

Yeni karışım tasarımlarına başlarken, üretim için malzeme belirlerken ya da mevcut karışım tasarımlarını optimize ederken doluluk hesaplamaları beton karışım tasarımında bir araç olarak uygulanabilir [3].

1. Agrega türlerinin ve miktarlarının belirlenmesi
2. Bağlayıcı madde miktarının belirlenmesi
3. Hava boşluk yapısının tasarımı

1) Agrega türlerinin ve miktarlarının belirlenmesi

Deneyler göstermiştir ki agreganın türlerinin ve miktarının seçimiyle oluşacak doluluğun, maksimum doluluğun biraz üstünde olmasını temin etmesi gereklidir. Bu söylenen aynı zamanda yüzdelik olarak kumun ilgili maksimum doluluğun biraz üstünde olması gerektiği anlamına da gelmektedir. Bu durum Goltermann'ın bulduklarıyla da uyum içindedir [19]. Söylenen bu şeylerin diğer bir avantajı da doluluğun çok hassas bir alanda yer alıyor oluşudur. Agrega bileşiminin maksimum doluluk sonuçlarının altında bir alanda yer alması çok yakın eş yükselti eğrilerinin oluşmasına neden olur. Şekil 2.7'de de görülen bu durumda, agreganın hacim dağılımı ile miktarındaki ufak değişimler doluluk ve beton özelliklerinde büyük değişimlere neden olmaktadır. Diğer bir yaklaşım doluluğu buna uygun olacak gerekli bağlayıcı madde miktarına göre tasarlamaktır [3].

Tanımlanan tasarım yaklaşımı başarılı bir biçimde pek çok Danimarka beton üreticisi tarafından kullanılmaktadır. Daha önce söylenmiş olduğu gibi iyi işlev gören karışım tasarımı için agreganın bileşimi hemen hemen her zaman en optimum olan doluluk alanında yer almaktadır. Hazır karışım beton imalatındaki temel araştırmalara göre, optimum alandaki beton ve agreganın birleşimi en optimize taze beton özelliklerine sahip olmaktadır. Bununla beraber optimumun altındaki doluluk alanında yer alan agreganın birleşimleri kötü taze beton özellikleri sergilemektedir [20].

2) Bağlayıcı madde miktarının belirlenmesi

Agreganın birleşimi seçildiğinde -ve bu suretle sabit dolulukta- bağlayıcı madde miktarı agreganın ile arasında kalan boşlukları dolduracak şekilde belirlenebilir. Deneyler göstermiştir ki tipik olarak bu miktar %1-4 oranında fazladan bağlayıcı madde şeklinde olmalıdır. Bu durum, her agreganın parçacığının bağlayıcı tabakayla kaplı olduğu ve bu parçacıkların hesaplamalarda varsayıldığı gibi hepsinin tamamen birbirine değmediği gerçeği göz önünde bulundurularak anlaşılabilir. Bunların

ötesinde hava boşluğu da düşünölmelidir. Bağlayıcı hacminin hesaplanabileceği temel kural şudur :

$$\text{Bağlayıcı hacmi} = \%100 - \text{doluluk yüzdesi} (\%) - \text{boş hava yüzdesi} (\%) + (1-4)\%$$

Gerekli olan bağlayıcı miktarıyla birlikte gerçekleştirilen uygulama yaklaşımı Danimarkalı beton üreticilerinin ihtiyacını karşılamakta ve başarıyla kullanılmaktadır (hazır-karışım, elementler, ürünler). Sabit su-çimento oranı ve tatmin edici bir işlenebilirlikle bir miktar çimento hamurunun tasarruf edilebilmesinin mümkün olduğu da gözlenmiştir [3].

3) Hava boşluk yapısının tasarımı

Danimarkalı bir hazır beton üreticisi ile ortak yürütölen büyük bir geliştirme projesi kapsamında agrega birleşiminin optimizasyonu ile betonda kararlı bir hava boşluk sisteminin tasarlanabileceğinin mümkün olduğu görölmüşür.

Agregalar arası boşluktaki (1-doluluk) yapıştırıcı eksikliği toplam hava hacmini belirler. Agrega parçacık hacim dağılımı ile hava boşluğunun dağılımını ilişkilendirmeye dair bir eğilim vardır. Böyle bir ilişkinin çok açık bir biçimde gözlemlenmesinin önündeki engel ise agrega parçacık hacim dağılımının büyük değişimler gösterebilmesidir.

Dahası, agrega iskeleti arasında fiziksel olarak meydana gelen hava boşluğunu mekanik etkilerle kırıp-çözmek kimyasal olarak ortaya çıkan hava boşluklarına göre daha zordur. Bu yüzden fiziksel etkilerle oluşmuş hava boşluklarına sahip beton titreşime ve pompalamaya karşı daha kararlı bir davranış sergiler [3].

Sonuç olarak agrega doluluğu; deneysel doluluk, her bir malzemenin yoğunluk ve derecelendirme eğrisine baz olacak şekilde hesaplamalarda kullanılabilir. Yeni karışım tasarımlarına başlarken, üretim için malzeme belirlerken ya da mevcut karışım tasarımlarını optimize ederken doluluk hesaplamaları beton karışım tasarımında bir araç olarak uygulanabilir [3].

2.5. Betonun Karışım Hesabı

Taze ve sertleşmiş beton özellikleri, arazinin kontrol derecesi, ekonomi ve eklenen malzemenin kalitesi betona eklenenlerin oranını ya da ihtiyaç duyulan kalitenin kararlaştırılması için başlangıç noktasını ifade eder. Herhangi bir metodla hesaplanan oran betonla elde edilen deneyim ya da denenen karışımlar temel alınarak düşünülmelidir. Beton karışım oranlarının farklı birçok sistemi vardır. Aşağıda beş adet karışım hesabı metodu verilmiştir. 1. ve 2. metodların özü tanecik doluluğudur [11].

2.5.1. Dewar tanecik karışımı ve boşluk doldurumu

Dewar; agrega, harçlar ve beton için geçerli olan tanecik karışımlarının matematiksel bağıntılı modelini kapsamlı bir teori olarak geliştirmiştir [21]. Bu Powers'ın özellikle her bir katı tanecik için boşluk parametresinin kullanımıyla oluşturulan gelişiminin teorisiidir. Beton için sistemin işlemi her bir katı bileşen için yalnız üç parametre bilgisini gerektirir. Bunlar;

1. Bağıl yoğunluk
2. Agregalar ve tozlar için ortalama boyut
3. Agregalar ve tozlar için boşluk oranı

Sistemin ilk basamağı çimento ve kumun harç içinde karıştırılmasıdır. İkinci basamak, seçilen çökme kohezyonunu sağlayacak karışımları seçerek harcın çakılla karıştırılmasıdır. Sonuçta elde edilen betonlar her amaç için uygun karışım seçimini geçerli kılan mümkün tüm karışımları kapsar. Bununla birlikte; teorinin belirli bir oran içinde doğrulanan ve belirlenen birçok bileşeni vardır. Bu nedenle kullanıcı hata riskini azaltmak için, uygulanabilirlik oranını belirlemelidir [11].

2.5.2. De Larrard : Boşluk doldurma ve maksimum hamur

F. de Larrard temelde Dewar'ınkine çok benzer ancak agrega boşluk ölçüsünü, ağır karıştırmak yerine titreşim altında ölçümlerini yaparak bir teori buldu [22]. Dr. De Larrard MPT (Maksimum Hamur Kalınlığı) adını verdiği konsepti geliştirdi. Onun

analitik modeli, beton karışımlarını üretmek için taze beton reolojisi ile doluluk yoğunluğunu birleştirdi [11].

2.5.3. Kesin hacim metodu (ACI metodu)

ACI metodu genellikle Kuzey Amerika da kullanılan bir yöntemdir. ACI metodu 15 basamaktan oluşur ve bunları verilen sırada uygulamak gerekli değildir [11].

1. Belirlenen iş özelliği için çimento ve agrega seçilir.
2. Agrega granülometrisi seçilir.
3. Hava içeriği seçilir.
4. Kontrol derecesi seçilir.
5. Karışım suyunun miktarı belirlenir.
6. İhtiyaç duyulan su/çimento oranı belirlenir.
7. Çimento hacmi hesaplanır.
8. Karışım oranı hesaplanır.
9. Katkı miktarı hesaplanır.
10. İri agrega hacmi hesaplanır.
11. İnce agrega hacmi hesaplanır.
12. Kuru karışım boyutu seçilir.
13. Agrega nemi ayarlanır.
14. Kuru karışım ağırlığı seçilir.
15. Deneme karışımı düzeltmesi yapılır.

2.5.4. İncelik modülü metodu

Bu metot kesin hacim metodunun bir türüdür. İlk 7 basamak aynıdır. Su miktarı, su/çimento oranı ve çimento içeriği ACI metodundaki gibi belirlenmiştir. Bu metodun farklılığı ince ve iri agrega miktarlarının ayarlanmasındadır. En optimum incelik modülü (m) grafiklerden elde edilir. İnce ve iri agrega miktarları, incelik modülleri, toplam agrega hacminin yüzdesi olarak hesaplanır.

Daha sonra, verilen ince ve iri agregaların birleşiminin ortalama özgül ağırlığı hesaplanır. Sonra agrega-çimento oranı, çimento hacmi ve agregaların ortalama

özgül ağırlığına göre belirlenir. Bu oran kullanılarak iri ve ince agreg ağırlıkları belirlenir. Nem miktarı için düzeltmeler yapılmalı ve deneme karışımı yapılarak karışım test edilmelidir [11].

2.5.5. İngiliz (British) metodu

Öncelikle istenilen işlenebilirlik derecesi, su/çimento oranı ve su miktarı için özelliklerine göre belirlenir. Çimento içeriği su miktarının su/çimento oranına bölünmesi ile bulunur. Agregaların tüm kütlesi çimento hacmindeki su miktarına ve agregaların özgül ağırlığını gösteren tabloya göre hesaplanır. İnce agreg a / toplam agreg a ağırlığı oranı, istenen işlenebilirlik ve su/çimento oranı tablolarından belirlenir. Agregaların su emme oranı hesaplanarak su miktarı ayarlanmalı ve deneme karışımı yapılarak karışım test edilmelidir [11].

2.6. Betonun Taşınması, Yerleştirilmesi ve Sıkıştırılması

İşlenebilme özelliğinin bağlı bulunduğu faktörlerin nelerden ibaret olduğunu anlamak için betondan çıkan taze betonun maruz kaldığı işlemleri kısaca inceleyelim. Birinci işlem taşıma işidir. Bu iş esnasında beton dinamik etkilere, ani yüklemelere maruz kalır. Bu zorlamalar sonunda meydana gelen şekil değiştirme bazı kritik değerleri geçmesi halinde beton homojenliğini kaybeder ve bundan dolayı iri taneler kum ve çimento hamurundan ayrılarak ayrı bölgelere toplanır. Bu olaya betonun çözülmesi denir. Çözölmüş bir betonda çimento, kum, su miktarları betonun muhtelif bölgelerinde çok değişik değerler almakta ve buna bağlı olarak da mukavemet önemli ölçüde değişmektedir. Böylelikle mukavemet bazen ortalama değere göre büyük değerler alıyorsa da bazen ortalama değerin çok altına düştüğünden çözölmüş bir betonun mukavemeti çok küçüktür. Diğer taraftan taşıma işine özen gösterilmelidir. Bir kere daima taşıma mesafesinin minimum olmasına çalışılmalıdır.

Sonra taşıma esnasında beton mümkün olduğu kadar az sarsıntıya maruz kalmalıdır. Betonun maruz kaldığı ikinci işlem kalıba yerleştirilmesidir. Kalıbına dökölen beton, bazı mekanik zorlamalara maruz bırakılmakla donatı şebekesi içinden geçerek ve yayılarak kalıbını doldurmaktadır. Bu işin kısa sürmesi, bunun için az enerji sarf

edilmesi ve bu esnada betonun özellikle homojenliğinin kaybolmaması ve yerleştirme sonunda betonun içinde az miktarda boşluk kalması lazımdır [6,8].

Betonun kalıbına yerleştirilmesinde belli başlı iki önemli hedef vardır.

- a) Betonun kalıbın her tarafına yaymak ve donatıları devamlı bir şekilde kaplamasını sağlamak,
- b) Betonun sıkıştırmak, böylelikle hava boşluklarını dışarıya çıkartarak kompasiteyi arttırmak.

2.6.1. Vibrasyonun tanımı

Yerleştirme metodlarının en pratiği ve en çok faydalı sonuçlar vereni vibrasyondur. Vibratör denilen özel aletlerle beton titreşim haline sokulur. Vibrasyona maruz kalan beton bir sıvının karakteristiğine sahip olarak kalıp içerisinde kolaylıkla yayılır. Aynı zamanda betonu oluşturan taneler kütle içinde hareket ederek kompasiteyi arttıracak şekilde en uygun yerlerini alırlar. Başka deyişle vibrasyon betona geçici bir akıcılık verir. Vibratörün hareketi durdurulunca beton tekrar sıkı kıvamını alır.

Vibrasyonun esaslı betonu kuvvetli bir şekilde titreşime tabi tutmaktır. Vibrasyon, bu amaçla kullanılan vibratörler etkilerinin başka olması nedeniyle, dış vibrasyon, iç vibrasyon, ve yüzeysel vibrasyon olmak üzere üç gruba ayrılır [23].

a) Dış vibrasyon

Burada iki hal bahis konusu olmaktadır. Birinci halde vibratör kalıba bağlıdır. Vibratörün çalışması ile kalıbın titreşim yapması sağlanmakta ve bunun sayesinde de beton vibrasyona maruz kalmaktadır. Bu metot özellikle çeper etkisi büyük olan yapı elemanları için uygulanmalıdır. Zira bu gibi hallerde vibratörü beton içinden daldırarak iç vibrasyonu uygulamak olanağı yoktur. Dış vibrasyonun ikinci hali titreşim tablası üzerinde yerleştirilen bir kalıbın içindeki betonun tablanın titreşim yapması ile vibrasyona maruz kalır [23].

b) İç vibrasyon

Bu durumda vibratörler doğrudan doğruya taze beton içine daldırılmakta veya sokulmaktadır. Bu amaçla çapları 4-20 cm arasında bulunan silindirik metal muhafaza metal içinde bulunan vibratörler kullanılmaktadır. Vibratörün titreşim yapmaya başlaması ile beton da derhal vibrasyona maruz kalmaktadır. Burada vibratör beton

içinde bulunduğundan, vibratörün titreşimi önemli bir kayba uğramadan betona iletilmektedir. Bu bakımdan iç vibrasyon dış vibrasyondan daha etkilidir ve kalıp donatı durumu olarak verdikçe beton bu çeşit vibrasyona uygulanmalıdır [23].

c) Yüzeysel vibrasyon

Bu halde vibratör yalnız betonun yüzeyi ile temas halindedir. Titreşim yapan bir tabla sayesinde betonda bir titreşim meydana getirilir. Yol ve hava meydanlarında beton bütün şerit genişliğince uygulanan yüzeysel vibrasyon vasıtasıyla sıkıştırılır [23].

2.7. Katkı Maddelerinin Etkisi

Katkı maddeleri genel anlamda harç ve betonun taze ya da sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren, betonun diğer ana bileşenlerine oranla çok az miktarda kullanılan kimyasallar olarak tanımlanabilir. Kullanım amaçlarına göre sınıflandırıldığında taze beton ya da harcın taze beton veya harcın reolojisini değiştiren, prizi ve sertleşmeyi etkileyen, hava içeriğini değiştiren, fiziksel, mekanik ve kimyasal etkilere karşı direnci arttıran katkıları şeklinde çeşitli sınıflandırmalar yapmak mümkün olmaktadır.

Akışkanlaştırıcı katkıları taze beton ya da harcın işlenebilirliğini değiştirerek reolojik özelliklerini etkileyen, su/çimento oranını düşürerek boşluk ve ayrışma olmaksızın daha iyi bir yerleşmenin sağlanması ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkileyen katkılarıdır. Etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcılar, orta derecede su azaltıcı akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar olmak üzere 3 ana grupta toplamak mümkün olmaktadır. Akışkanlaştırıcıların bu etkileri göstermeleri, hava sürüklemeleri, çimento taneleri tarafından absorbe edilmeleri ve prizi geciktirmelerinden kaynaklanmaktadır. Akışkanlaştırıcı kullanılması ile oluşan kapalı hava boşluklarının yüzeysel sürtünme kuvveti bulunmamaktadır. Böylece kararlı olan bu hava boşlukları, betonun içsel sürtünmesini azaltarak daha az su ile benzer işlenebilme yeteneğinin elde edilmesini sağlamaktadır.

Bilindiği gibi çimento taneleri su ile temas ettikten sonra çözünmeye başlayarak ortama Ca^{++} iyonları vermektedir. Tane yüzeyinde Ca^{++} iyonlarının konsantrasyonlarının artması ile polimer esaslı akışkanlaştırıcıların polimer moleküllerinin tane yüzeylerine yapışması gerçekleşmektedir. Böylece tane yüzeylerinin elektrostatik yükleri değişmekte ve (-) yükle yüklenen çimento taneleri birbirlerini itmektir. Betonun iç sürtünmesini azaltan bu unsur işlenebilme özelliğini arttırmaktadır. Priz geciktirici özelliğe sahip olan akışkanlaştırıcılar, bu

özelliklerine ek olarak başlangıçtaki hidratasyon reaksiyonları için gerekli su gereksinimini azaltması ile akışkanlığı arttırmaktadır.

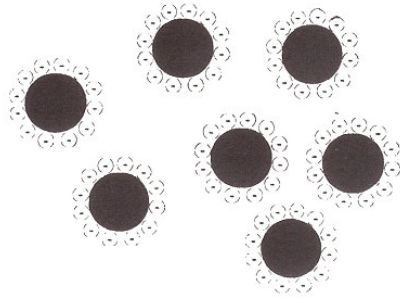
Yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılarda dispersiyon etkisinin yanında sterik etki de akışkanlığı arttırmaktadır. Uzun dallar içeren polimer zincirleri sayesinde çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir etki oluşur. Sterik etki adı verilen bu etki sayesinde çimento taneleri dağılarak kararlı hale gelmektedir.

İşlenebilirliği düşürmeden su/çimento oranını ve aynı zamanda kullanılan çimento miktarını azaltan, ayrışma olmaksızın akıcılığı arttırarak ulaşılması en zor yerlere dahi beton dökümüne izin veren akışkanlaştırıcılar, son dönemde yeni kuşak süperakışkanlaştırıcıların da ortaya çıkması ile yüksek performanslı betonların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu betonların akışkanlıkları kendiliğinden yerleşme sağlayacak derecede yüksek olabilmekte ve kendiliğinden yerleşen betonların gelişmesine olanak sağlamaktadır. Kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında süperakışkanlaştırıcıları 3 farklı grupta toplamak mümkün olmaktadır;

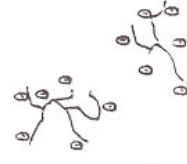
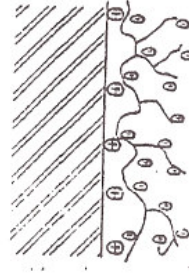
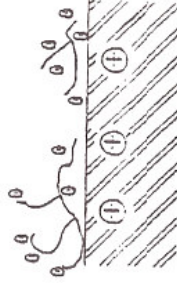
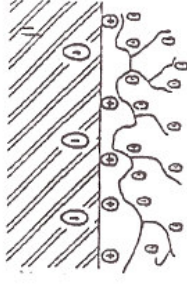
- a) Sülfonatlı sentetik polimerler,
- b) Karboksilatlı sentetik polimerler,
- c) Modifiye linyo sülfonatlar.

Sülfonatlı sentetik polimerler sülfonatlı naftalin formaldehit (SNF) ya da sülfonatlı melamin formaldehit(SMF) bileşiklerinden oluşmaktadır ve piyasada da çoğunlukla kullanılan bu malzemeler süperakışkanlaştırıcıların temelini oluşturmaktadır. Karboksilat ya da hidrokarboksilat tuzları olan karboksilatlı sentetik polimerler, poliakrilat ana polimer zincirleri ile tarak şeklinde polieter yan bağları içeren katkılardır. Bu yapıları sayesinde sterik etki de oluşturarak daha yüksek performans elde edilmesini sağlamaktadır. Modifiye edilmiş linyosülfonatlar ise yapılarında farklı anodik ve kutupsal fonksiyon gruplarına sahip olan dispersiyon etkisi ile çalışan katkılardır.

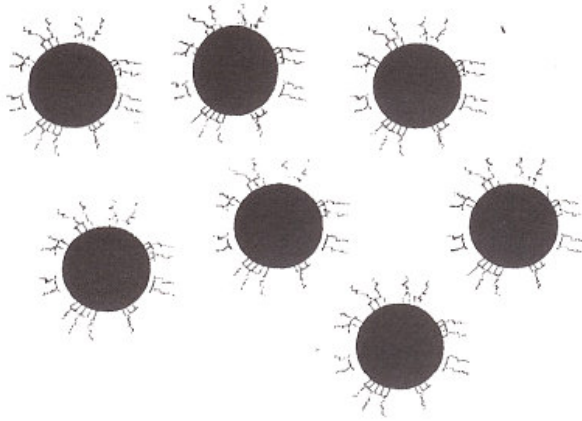
Çimento tanelerini dağıtarak daha etkin bir hidratasyona olanak sağlayan ve sıvı ortamdaki viskoziteyi ve kayma eşiğini düşürerek reolojik özellikleri etkileyen bu katkıların etki mekanizmaları Şekil 2.8' de görülmektedir [24].



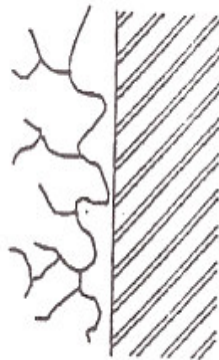
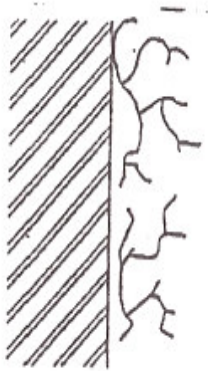
Elektrostatik etki



$\ominus = \text{Ca}^{2+}$



Sterik etki



Şekil 2.8: Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması [24].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda su/çimento oranı 0.50 olan, kesikli ve sürekli granülometriye sahip toplam 6 karışımdan 16 adet karışım üretilmiştir. Üretimlerde akışkanlığı sağlamak için hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi üretim sırasında yapılan beton deneylerine bağlı olarak ve ayrışma dikkate alınarak, her üretim için farklı miktarlarda kullanılmıştır.

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1. Agregalar

Mineral kökenli olup boyutları genellikle 100 mm'ye kadar çıkan tanelerden oluşan malzemeye agrega denir. Betonun hacim bazında %60 - %80'ini, ağırlıkça da 4/5'ini agrega oluşturur. Taze ve sertleşmiş betonun özellikleri, karışım oranları ve maliyet agreganın özelliklerinden önemli derecede etkilenir.

Beton agregası doğal kum ve çakıl karışımlarından, ayrıca yapay kırmataş (mıcır) malzemeden meydana gelir. Doğal agregalar taş ocaklarından, kurak mevsimde dere yataklarından, deniz ve nehir tabanlarından elde edilirler. İstenen agrega boyutlarının elde edilebilmesi için ise büyük taş kütleleri konkasörde kırılırlar. Bu şekilde oluşan köşeli ve pürüzlü yüzeye sahip malzemelere mıcır adı verilir ve mıcır bu özellikleriyle doğal kum ve çakıldan ayrılır [4].

Beton üretimine uygun bir agrega temiz, sert ve sağlam olmalıdır. Beton agregalarıyla çimento arasındaki bağlantı fiziksel ve mekanik karakter taşımalı, agregalar çimentoyla kimyasal etkileşime girmemelidir. Beton üretiminde kullanılacak agregaların yuvarlak olması, işlenebilirlik yeteneğini ve betonun doluluğunu artırır. Yassı ya da uzun taneli mıcırlar ise betonun işlenebilme yeteneğini azaltırlar. Dolayısıyla vibrasyon yapılarak yerleştirilecek betonlarda yuvarlak biçimli doğal agrega tercih edilir.

Agrega içinde organik maddeler, turba, humus, kömür ve linyit parçaları bulunmamalıdır. Ayrıca agrega içinde sülfat ve klor iyonları bulunması istenmeyen

ve kontrolü mümkün olmayan kimyasal reaksiyonlara neden oluşturabilir. Denizden çıkarılan agregada içinde ise bol miktarda bulunan midye ve istiridye kabukları, betonun donma-çözülme direncini azaltırlar. Bunların mekanik dirençleri de düşük olduğundan yol betonları gibi atmosfer etkisine doğrudan açık betonlarda bu tür agregaların kullanılmasından kaçınılmalıdır [4]. Aktif silisyum içeren kayalardan gelen agregalar ise betonda alkali-agrega reaksiyonlarına neden olup, betonda çatlak oluşumuna yol açarlar.

Uygun karışımın sağlanması, önce agreganın elek serisinden elenip, tane boyutu sınırlarına göre kümelenmesi, daha sonra standartlarla saptanmış küme miktarlarına göre ilgili boyut eksikliklerinin hesaplanması ve gereken miktardaki agregada kütlelerinin eklenmesi yöntemiyle gerçekleştirilir. İncelemede belirli tane boyutundaki kümelerin yüzde olarak, yığın içinde hangi oranlarda bulundukları saptanır. İri agregada için en az 2 ila 3 kg, ince agregada için en az 1 kg olmak üzere agregada örneği elek serisinden elenir. Elekten yüzdeye geçen değerler hesaplanır. Sonuçlar grafik üzerinde gösterilerek granülometri eğrisi çizilir.

Agreganın granülometrik yapısı, üretilecek betonun doluluğuna, mekanik direncine ve geçirimsizliğine etki eder. Bu nedenle iri taneler arasında kalan boşluğun daha ufak çaplı tanelerle doldurulması gerekir. Beton üretiminde yüzeylerin ıslatılması gerekli olduğundan ince agregada kullanıldığında, su tüketimi fazla olacaktır. Kullanılacak suyu azaltmak için agregayı ırmılaştırmak, çimento taneleriyle oluşacak kohezyonu azaltmak, ayrıca doluluğu düşürmek anlamına gelecektir. Maksimum kompakte ve minimum yüzey alanı çelişkisinde optimum çözüme varmak için yapılan çalışmalarla referans eğrileri olarak isimlendirilen ideal granülometri eğrileri tayin edilmiştir.

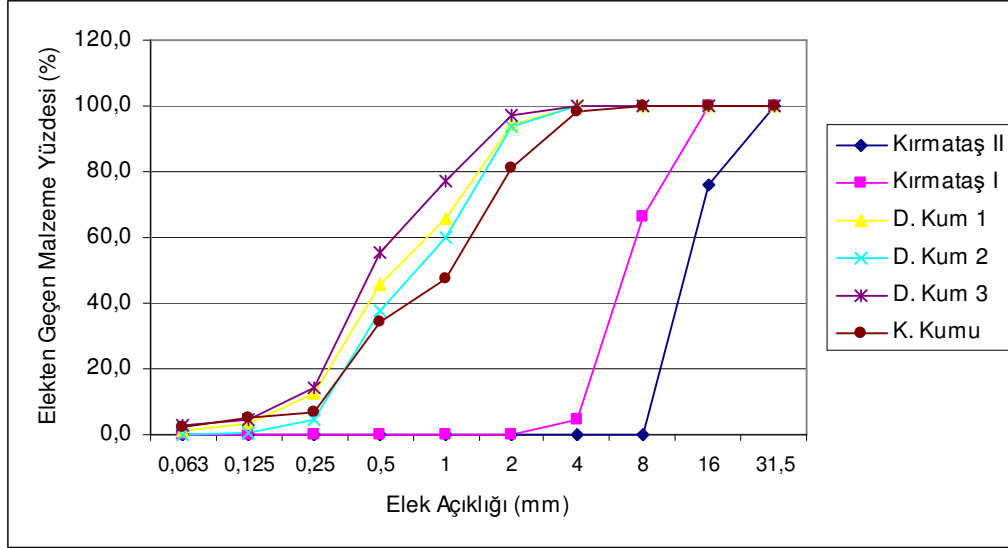
Deneylerde kırmataş-II, kırmataş-I, üç adet doğal kum ve bir adet kırmataş kumu kullanılmıştır. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Agregaların elek analizi sonuçları da Tablo 3.2’de gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Agregaların Fiziksel Özellikleri.

Agregada Türü	Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	Gevşek Birim Ağırlık (g/cm ³)	Öz Doluluk	Su Emme (%)
Kırmataş II	2,75	1,41	0,51	0,20
Kırmataş I	2,70	1,44	0,53	0,20
Doğal Kum 1	2,64	1,57	0,59	3,05
Doğal Kum 2	2,47	1,33	0,54	7,35
Doğal Kum 3	2,58	1,53	0,59	2,00
Kırmataş Kumu	2,64	1,54	0,58	2,25

Tablo 3.2: Agregaların Elek Analizi Sonuçları.

Elek Göz Boyutu (mm)	Elekten Geçen (%)					
	Kırmataş II	Kırmataş I	D. Kum 1	D. Kum 2	D. Kum 3	Kırmataş Kumu
31,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
16	75,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
8	0,2	66,1	100,0	100,0	100,0	100,0
4	0,0	4,7	100,0	100,0	100,0	98,3
2	0,0	0,3	94,1	93,5	97,2	81,1
1	0,0	0,0	66,0	60,0	77,2	47,3
0,5	0,0	0,0	46,0	37,7	55,5	34,0
0,25	0,0	0,0	12,4	4,7	14,6	7,0
0,125	0,0	0,0	3,6	0,5	4,7	4,9
0,063	0,0	0,0	1,4	0,0	2,7	2,3

**Şekil 3.1:** Agregaların Granülometri Eğrileri.

3.1.2. Çimento

Çimento, su ile karıştırıldığında, az veya çok akıcı niteliğe kavuşan, sadece suyun etkisiyle priz yapan, katılaştıran ve sertleşen ince taneli malzemedir. Çimento, kimyasal yönden duyarsız çakıl, kırmataş, kum gibi mineral malzemelerin büyük miktarlarda ve değişik oranlarda bir araya gelerek katı bir cisim oluşturmada bağlayıcılık rolü üstlenir. Teknik ve ekonomik yönden genel eğilim ise ana bileşen olarak portland klinkeri yanı sıra, puzolanların, yüksek fırın cürufalarının ve termik santral uçucu küllerinin ikincil bileşen olarak kullanılmasıdır.

Çimentonun karışımdaki ana görevi, katılacak betona mekanik mukavemetini sağlamaktır. Çimentonun ince taneli dokusunun, kaba yerleştirilmiş betonun

yoğunluğunun artırılmasında ve priz öncesi karışımın işlenebilirliğinde önemli rolü bulunur. Betonun mukavemetinin yükseltilebilmesinde işlenebilirlik ve yoğunluk en önemli iki etkidir.

Çimentonun bileşimine giren klinker, puzolan, cüruf, tras, alçıtaşı, alçı ve uçucu küllerin doğal olarak az veya çok mertebede hidrolik ve/veya puzolanik özellik göstermeleri gerekir. Hidrolik özellik bir bağlayıcının su yardımıyla priz yapmasını ve stabil bileşik oluşturma yeteneğini ortaya koyar. Puzolanik özellik ise kendi başına hidrolik bağlayıcı olmamasına rağmen ince öğütülünce normal sıcaklık altında, su yardımıyla kalsiyum hidroksidi bünyeye bağlama ve malzemeye hidrolik özellikler kazandırma yeteneğini ortaya koyar.

Portland çimentoları, klinkerin kütlece yaklaşık %3 - %5 oranındaki alçı taşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen katkısız hidrolik bağlayıcılardır. Klinker kompozisyonu ve öğütme inceliği farkıyla PÇ 42,5 ve PÇ 52,5 oluşturulur [4].

Çimentonun özgül ağırlığı, türünün ve saflık mertebesinin saptanması için bulunan bir karakteristiktir. Malzemenin özgül ağırlığı bir hacim ölçer yardımı ile saptanabilir. İncelikli olarak 100,00 gr olacak şekilde tartılmış çimento, belli bir seviye çizgisine kadar benzinle doldurulmuş hacim ölçerin içine itina ile boşaltılır. Benzinin yüksekliği ikinci taksimat çizgisinden okunur, böylece çimentonun gerçek hacmi cm^3 cinsinden bulunur (v) gerçek hacim değeriye, $(100/v)$ değeri çimentonun özgül ağırlığıdır. Normal Portland çimentolarında bu karakteristik $3,05 \text{ g/cm}^3$ değerinden büyük olmalıdır. Tezin yapımı sırasında üretilen beton karışımlarında TS 19 PÇ 42,5 Portland çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı ise $3,15 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri ile basınç dayanımları sırasıyla Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Portland Çimentosunun Fiziksel Özellikleri.

Özgül Ağırlık (g/cm^3)	:	3,15
Blaine (cm^2/g)	:	3490
32 μ elek üzeri (%)	:	12,8
90 μ elek üzeri (%)	:	1,0
200 μ elek üzeri (%)	:	0,1
Su / Çimento (%)	:	27,0
Priz başı (dk)	:	150
Priz sonu (dk)	:	180
Le Chatelier (mm)	:	0,5
Dansite (g/L)	:	995

Tablo 3.4: Portland Çimentosunun Kimyasal Özellikleri.

Toplam SiO₂ (%)	:	20,11
Çözünmeyen Kalıntı (%)	:	0,57
Al₂O₃ (%)	:	4,90
Fe₂O₃ (%)	:	2,83
CaO (%)	:	64,37
MgO (%)	:	1,49
SO₃ (%)	:	2,98
K₂O (%)	:	0,72
Kızdırma Kaybı (%)	:	2,40
Tayin Edilemeyen (%)	:	0,20
S. CaO (%)	:	0,67
Klorür (%)	:	0,02

Tablo 3.5: Portland Çimentosunun Basınç Dayanımı.

Basınç Dayanımı (N/mm²)	
1 Gün	: 17,7
2 Gün	: 30,9
7 Gün	: 48,0
28 Gün	: 58,7

3.1.3. Su

Beton karışımının üretilmesinde kullanılan suya çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü karma suyuunda bulunabilecek eriyik ve askıdaki çeşitli maddeler çimentonun priz sürelerini, betonun direncini ve işlenebilme yeteneğini etkilerler ve donatının korozyonuna yol açarlar. Beton karma suyundan istenen en temel nitelik içilebilir su olmasıdır.

Beton karma suyuyla ilgili olarak TS 500 ve TS 1247 standartlarında çeşitli kısıtlamalar getirilmiştir. Bu standartlarda betonarme betonunda kullanılacak karma suyuunda asitli ortam bulunmaması yani pH değerinin 7'nin üzerinde olması istenmektedir. Suya kanalizasyon karışıyorsa, şeker ve nişasta gibi organik maddelerin varlığı prizi geciktirir. Endüstriyel bölge atık sularında rastlanabilecek ağır metal oksitleri ve tuzları (Hg, Pb, Zn) priz süresini etkiler. Manganez, magnezyum, amonyum ve tuzları, hidrate olmuş çimento bileşenlerini iyon değişme yolu ile tahrip ederler. Donatı demirlerinin paslanmasına yol açacak klor ve sülfat iyonlanma üst sınırları sırasıyla 0,5 g/l ve 1 g/l dir. Bulanık suların, bulanıklığa neden olan askıdaki kil ve silt gibi maddelerin miktarı 2 g/l den fazla değilse beton

karişım suyu olarak kullanılmasına izin verilmektedir. Çözölmüş tuzlarda bu sınır bir miktar yüksek tutulabilir. [4]

Yapılan araştırmalar, karma suyunun bir optimum değeri için dayanımın maksimum olduğunu ve su miktarının bu değerdan sapması durumunda mukavemetin bir kısmının kaybolduğunu göstermiştir. Karma suyu, uygulamada genellikle bu optimum miktardan biraz daha fazla kullanılır. Bu fazlalık, elde edilecek betonun kullanılacağı amaca göre saptanır.

Betonun yoğrulması için, karişıma eklenmesi gerekli olan su miktarı agreganın mineralojik özellikleri ve suya karşı ilgisi, agregada içindeki nemin değeri ve kullanılan çimentonun cinsi gibi etkenlere bağılıdır. Karma suyunun bu etkenlere göre çok incelikli bir şekilde saptanması gereklidir.

Su ağırlığının çimento ağırlığına oranına su/çimento oranı adı verilir. Bu oran 0,3 ile 0,6 arasında olabilir. Ancak mümkün olduğu kadar küçük olması gerektiğı de unutulmamalıdır. Eklenmesi gereken su, bu yöntemle belirtilecek miktardan, kullanılan agreganın içindeki nem değeri çıkarılmak suretiyle elde edilir. Agregada tanelerinin yüzeyi, iç kısmına göre çoğunlukla daha kuru durumda bulunduğundan beton yapımı sırasında sık sık agreganın nem içeriğinin saptanması ve eklenecek su miktarının ayarlanması gerekir.

3.1.4. Katkı maddeleri

Çimento ağırlığının en çok %5'i kadar bir oranda, betona eklenen kimyasal katkı maddeleri, betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona ek yeni özellikler kazandırmak amacını taşırlar. TS 3452 ve TS 3456'da tanımları, özellikleri ve kullanım ilkeleri düzenlenmiş olan beton katkı maddeleri toz halinde veya sıvı olarak kullanılırlar. Toz halinde elde edilebilen türlerinin, beton karıştıracısına verilmeden önce sulandırılması gerekir. Çok sayıda ve çok farklı amaçlar taşıyan katkı maddeleri üretilmektedir.

Katkı maddeleri konusunda bazı durumlara dikkat edilmelidir. Özellikle kurallarına uygun üretilmeyen bir betonu katkı maddeleriyle iyileştirmek imkansızdır. Beton katkısız durumda yeterli niteliklere sahip olmalıdır. Ayrıca piyasada satılan tüm katkıların kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirmesi olasıdır. Ancak katkı ile çimento ve hatta agregaların uyuşması gerekir. Bununla beraber satıcıların önerdikleri katkı miktarları her özel durum için gerekli olmayabilir. Bundan başka

katkılarda ana işlevler yanında yan işlevler de olabilir. Bu yan etkiler betonun niteliklerini bozabilir.

Taze haldeki betona eklenen katkılarla hidrasyon için gereken su haricindeki, işlenebilirlik için tüketilecek su miktarı azaltılabilir, böylece mukavemet arttırılmış olur, ayrıca çimento tasarrufu sağlanır. Katkılar sayesinde döküm aşamasında segregasyon önlenir veya azaltılır, hazır betonun pompalanma gücü ortadan kaldırılır. Ayrıca katkılarla betonun kür süresi azaltılabilir. Bazı kimyasal katkıları da kohezyonu arttırır, beton yüzeyindeki terlemeyi azaltır, kılcal çatlakların oluşumunu en alt düzeye indirir, bunların yanında iklim koşullarının beton dökümüne olan etkisini ortadan kaldırır.

3.1.4.1. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi

Beton üretimleri sırasında su ihtiyacını yüksek oranda azaltan, prefabrik beton ve hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş, yeni nesil bir hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi olan ve YKS Degussa firması tarafından üretilen, Glenium 51 isimli, modifiye edilmiş polikarboksilik eter esaslı, erken ve nihai yüksek dayanım ve dayanıklılığa gereksinim duyulan, mükemmel yüzey görünümü elde etmek için kullanılan klor içermeyen akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır.

3.1.4.2. Yeni nesil süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması ve teknik özellikleri

Bu katkıların geleneksel süper akışkanlık verici katkı maddelerinden (NSF veya MSF esaslı) farkı, çimento dağılımının etkinliğini büyük ölçüde arttıran, yeni etki mekanizmasıdır. Geleneksel, melamin ve naftalin sülfonatlar gibi süper akışkanlaştırıcılar, çimento taneleri üzerine adsorbe olan katkılardır. Bu katkılardaki polimerler beton karıştırma işleminin en erken aşamasında çimento tanelerinin yüzey alanlarının çevresini kuşatırlar. Polimer zincirlerinin sülfonik grupları, çimento tane yüzeylerinin negatif yükünü artırır ve bu taneleri elektriksel itme ile dağıtırlar. Bu elektrostatik mekanizma, çimento hamurunun dağılmasına neden olur ve bunun olumlu bir sonucu da, belirli beton işlenebilirliğinin daha az su karışımı ile elde edilmesini sağlamasıdır [25].

TS EN 934-2 'ye göre yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkı ve sertleşmeyi hızlandırıcı katkı sınıflarına uygundur. Yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar süper akışkanlık verici katkı maddelerine göre değişik bir kimyasal

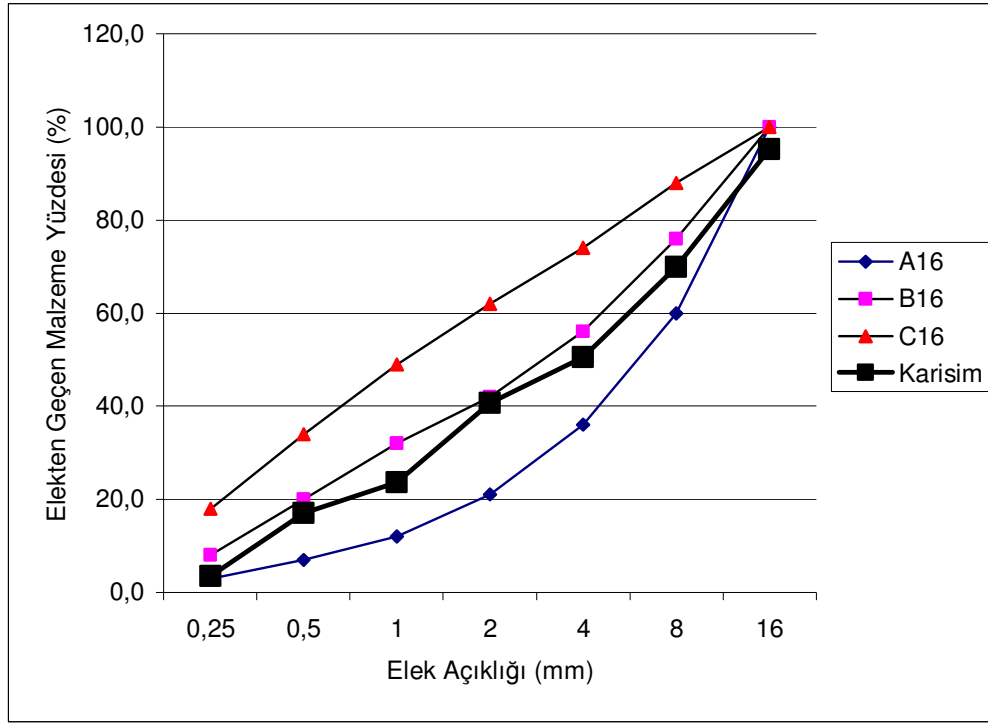
yapıya sahiptir. Bu katkılar, uzun kenar zincirli karboksilik eter polimerlerinden oluşur. Karıştırma işleminin başlangıcında, geleneksel süper akışkanlaştırıcılarda olduğu gibi, elektrostatik dağılma mekanizmasını harekete geçirir. Bu işlemle su içeriği büyük ölçüde azalan akışkan bir beton elde edilir. Tablo 3.6’da kullanılan süperakışkanlaştırıcıya ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 3.6: Kullanılan Süperakışkanlaştırıcının Teknik Özellikleri.

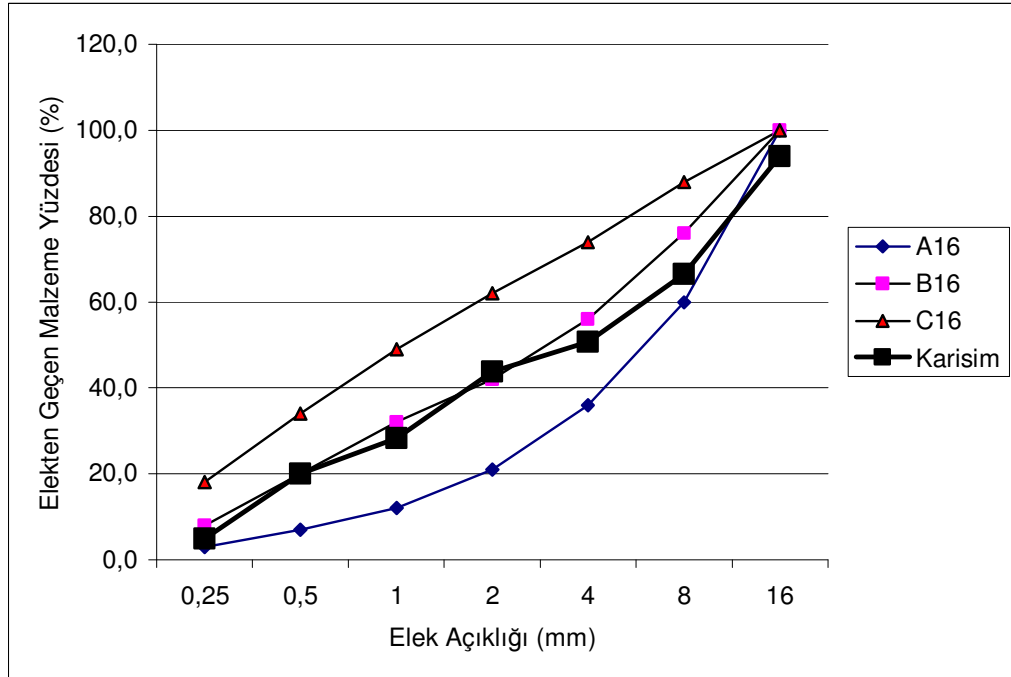
Yoğunluk (g/cm ³) (20°C)	1.08-1.14
Klor % (EN 480-10)	<0.1
Renk	Amber
Homojenite	Homojen
Kimyasal İçeriği	Polikarboksilik Eter Zincirleri

3.2. Beton Karışımları

Bu çalışma kapsamında 6 farklı beton üretilmiştir. Bunların 4 adeti kesikli granülometri ile, 2 adeti ise sürekli granülometri ile oluşturulmuştur. Bu 6 farklı beton karışımdan 16 adet farklı beton üretimi yapılmıştır. Bütün bileşimlerde su/çimento oranı 0,50 değerinde sabit tutulmuştur. Katkı miktarı yeterli çökmeyi sağlamak için ve ayrıca segregasyon gözlemlenmesi için yeterli miktarlarda konulmuştur. Ayrıca vibrasyon süreleri arttırılarak da segregasyon oluşmasına çalışılmıştır. Sürekli granülometri ile yapılan karışımlarda, beton karışım hesabı TS 802’ de belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Agrega karışımı TS 706’ da belirtilen A16 ve C16 referans eğrileri arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Buna göre karışım oranları 3’lü karışım için; kırmataş kumu %50, kırmataş-I %30, kırmataş-II %20 olarak, 4’lü karışım için; doğal kum %25, kırmataş kumu %25, kırmataş-I %25, kırmataş-II %25 olarak belirlenmiştir. Karışımların granülometri eğrisi Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de gösterilmektedir. Tablo 3.7’de 1 m³ için teorik bileşim değerleri verilmiştir.



Şekil 3.2: Üçlü Karışımın (S1) Granülometrisi ve Referans Eğrileri.



Şekil 3.3: Dörtlü Karışımın (S2) Granülometrisi ve Referans Eğrileri.

Tablo 3.7: Teorik Beton Bileşimleri ve Özellikleri.

Bileşen (kg)	K-1	K-2	K-3	K-4	S-1	S-2
Çimento	330	312	287	339	330	312
Su	165	156	143,5	170	165	156
D. Kum - 1	-	528	-	-	-	472
D. Kum - 2	-	-	-	240	-	-
D. Kum - 3	-	-	512	-	-	-
KT. Kumu	813	282	291	475	924	472
KT - I	170	386	496	375	567	483
KT - II	905	729	667	762	385	492
Su/Çimento	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

3.3. Beton Karışım Tasarımında Doluluk (Packing)

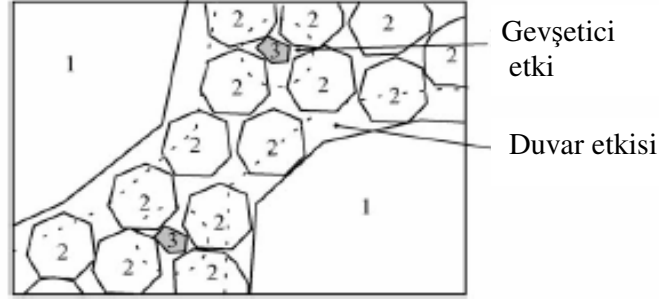
Packing, belirli bir hacim içerisindeki parçaların hacimlerinin tüm hacme olan oranı şeklinde tanımlanabilir. Burada anlaşılması gereken doluluktur. Beton karışım tasarımı yapılırken de hedeflenen kompakt bir karışımdır. İri agregalar arasındaki mesafe ne kadar az olursa, agregalar arasındaki boşlukları doldurması gereken bağlayıcı madde miktarı o ölçüde azalır. Sağlanacak ekonomik faydanın yanında, daha zayıf oranlarda büzülme ve sünme görüleceğinden dayanıklılığı daha yüksek beton elde edilme olasılığı artar [26].

İri agreganın yanında, ince malzemeler de doluluk anlamında çok önemlidir. Çünkü kullanılan çimentonun ve filler malzemesinin miktarları da karışımın su ihtiyacını doğrudan etkilemektedir.

Malzemelerin bu özellikleri karşısında beton karışımları için bir model üretmek mümkün olabilir. Bu modelin temelinde her bir agreganın bulunduğu hacim içerisinde sabit-yayılı (mono-disperse) olduğu kabul edilebilir. Bu kabul eşit büyüklükteki küresel parçalardan oluşan agregalar için geçerli olur. Ancak hiçbir parça küresel olmadığından teorik açıdan elde edilebilecek doluluk oranına erişilemez. Dolayısıyla aynı boyutlardaki fakat farklı biçim özelliklerine sahip agregalar için doluluk oranları deneysel yollarla elde edilir [26].

Geliştirilen modelde iki unsur göz önünde bulundurulur. Bunlar agregaların karşılıklı etkileşimlerine dayanır. Bunlardan birincisi "duvar" etkisi olarak tanımlanır. Anlamı

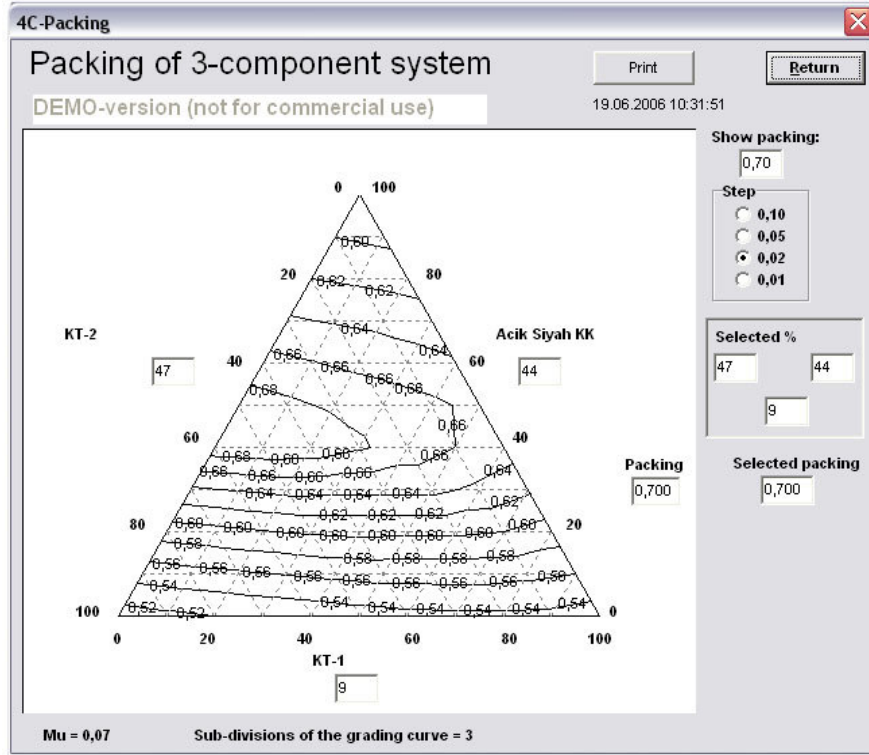
ise büyük bir parça yanındaki veya bulunduğu kabın çerçevesinin yanında bulunan küçük parçanın olduğundan daha sıkı bir şekilde (kabın içinde sabit-yayılı dağılmış olsalar bile) yerleşmeyeceğidir. İkincisi ise büyük parçalar arasındaki boşlukları dolduran küçük parçalar olmaları gerektiklerinden daha büyük iseler, mevcut büyük parçaların düzenlerini bozmadan araya yerleşemezler [26].



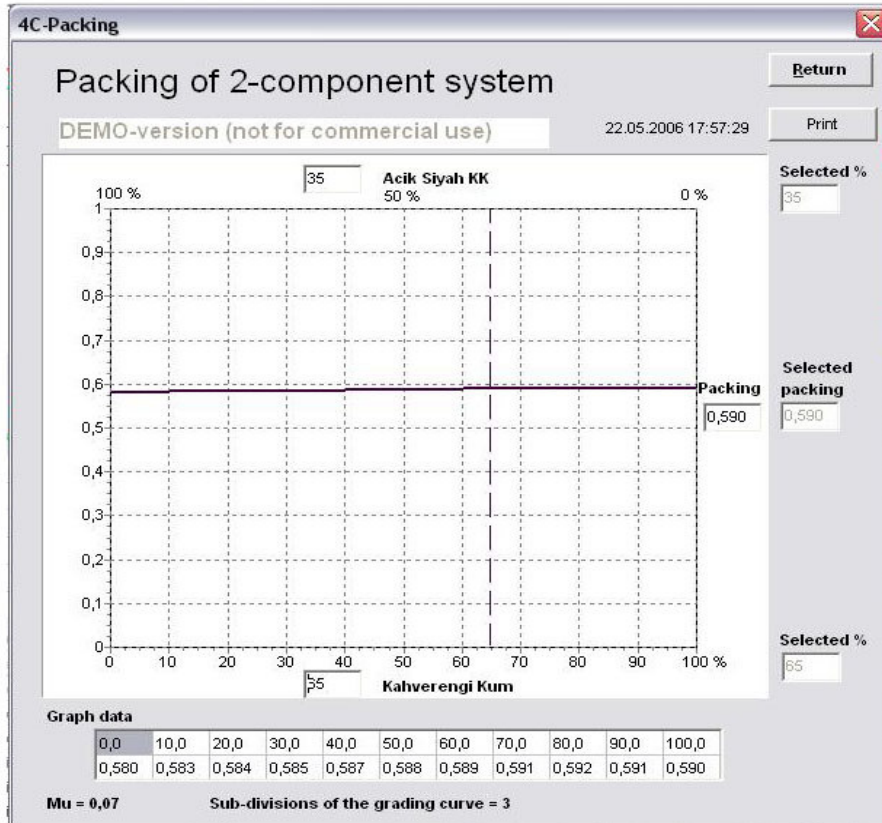
Şekil 3.4: Orta Sınıfın Baskın Olduğu Parçacıkların Üçlü Doluluğu ve Duvar Etkisi [29]

Bu modele dayanılarak Danimarka Teknoloji Enstitüsü'nce geliştirilen "4C-Packing" ticari ismine sahip bilgisayar programı yardımıyla ikili ve üçlü bileşime sahip agrega karışımlarının doluluk oranları hesaplanabilmektedir. Bu tezin yapılması sürecinde de bu programdan faydalanılmış, karışımların doluluk oranları bu program yardımıyla tasarlanmıştır.

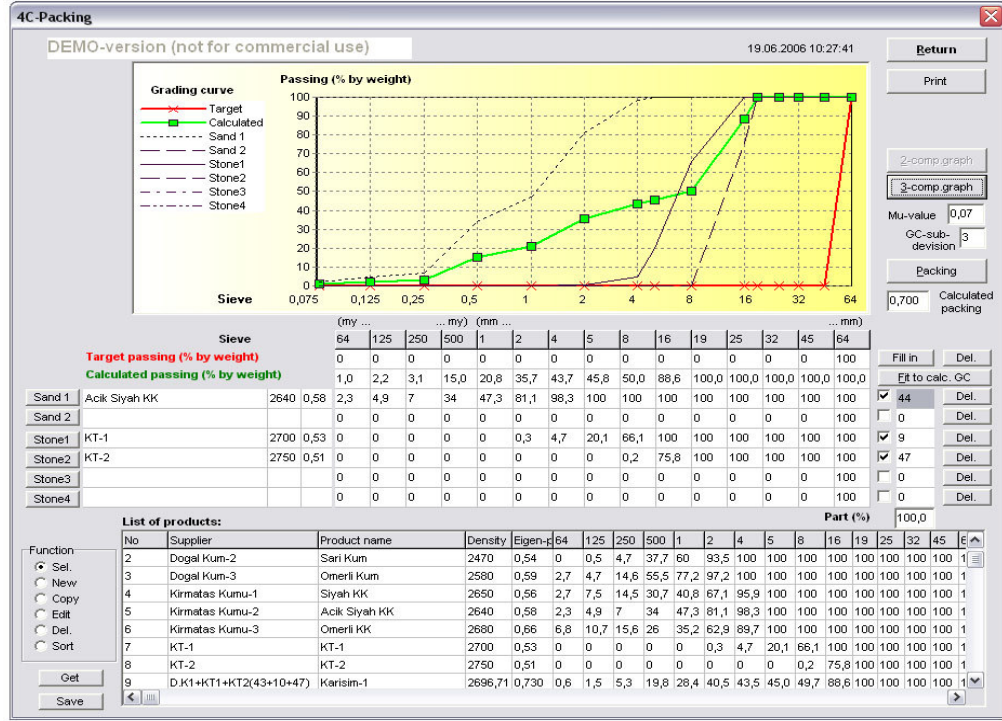
Programda kullanılacak agregalar seçilerek, Şekil 3.5'deki üçgen şeklindeki doluluk haritası oluşturulmuştur. Ardından ok (cursor) ile harita üzerinde eşdoluluk eğrileri de dikkate alınarak en yüksek doluluk oranı aranmıştır. Fakat dikkat edilen bir diğer husus da belirlenecek olan doluluk oranını kararlı bir bölgeden seçmektir. Zira harita üzerindeki doluluk eğiminin yüksek olduğu bölgelerdeki bir doluluk oranı beton karışımı için seçilirse, dökülecek olan beton uygulamada karşılaşılmaması muhtemel hatalardan fazlasıyla etkilenecek, doluluk oranında istenmeyen düzeylerde sapmalar yaşanacaktır. Program yardımı ile bulunan doluluk oranlarını deneysel sonuçlar ile karşılaştırmak için kuru karışım hazırlandıktan sonra, karışımın doluluğu deneysel olarak ölçülmüştür. Karışımın iki agregadan oluşması durumunda ise doluluk grafiği Şekil 3.6'deki gibi bir yay şeklini alır [27,28]. Şekil 3.7'de doluluk oranı seçildikten sonra karışımın granülometrisi gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Üç Agrega İçin Üçgen Doluluk Haritası.



Şekil 3.6: İki Agrega için Yay Şeklindeki Doluluk Eğrisi.



Şekil 3.7: Üçlü Karışımın (K1) Granülometrisi.

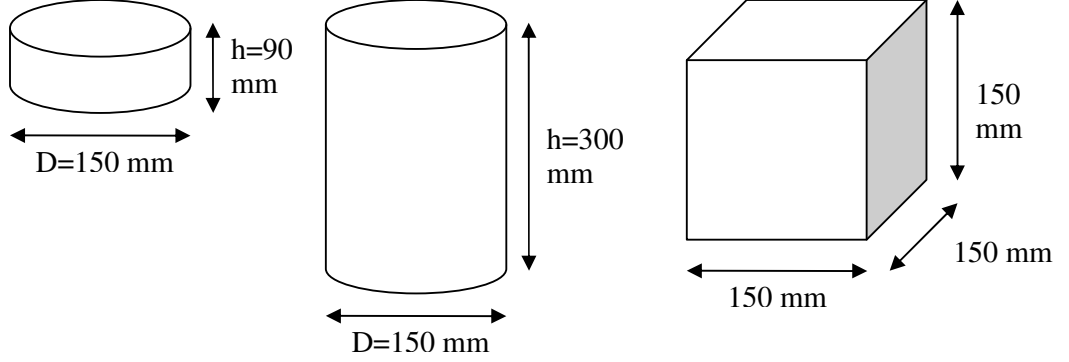
3.4. Üretimde İzlenen Sıra

- Agregalardan oluşan kuru karışımın 60 saniye süre ile karıştırılması ve agrega karışımına birim ağırlık deneyi yapılması,
- Çimento ve karma suyunun yarısı eklenerek 60 saniye karıştırılması,
- Karma suyunun kalan yarısının eklenmesi ve 60 saniye süre ile karıştırmaya devam edilmesi,
- Akışkanlaştırıcı katkının eklenmesi,
- Birim ağırlık, çökme ve taze betonun elenmesi deneylerinin yapılması,
- Betonun kalıplara alınması.

Numuneler üretimden 1 gün sonra kalıptan çıkartılarak daha önceden belirlenmiş olan kür ortamlarına alındılar.

3.5. Numune Boyutları ve Şekilleri

Bu çalışmada; 4 adet silindir ve 2 adet küp olmak üzere her bir karışım için toplam 6 adet numune üretildi.



Şekil 3.8: Numune Şekilleri ve Boyutları.

3.6. Kür Programı

Beton karışım hazırlandıktan sonra boyutları belli olan hazır kalıplara dökülür. Su kaybını en aza indirmek amacıyla üzeri örtülür ve bir gün süreyle kalıpta bekletilir. Daha sonra kalıplardan çıkarılan numuneler, içerisinde karma suyuyla aynı niteliklere sahip olan su ile dolu havuza yerleştirilir. Üretilen numunelerin tamamına kür işlemi uygulanmıştır. İzlenen kür programında numuneler 28 gün süreyle $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de su içinde saklanmıştır.

3.7. Numune Kodlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada üretilen 6 farklı betonun belirlenen kodlamasında ilk bölüm karışımın kesikli veya sürekli granülometri ile üretildiğini açıklamaktadır. K ile gösterilen karışımlar kesikli granülometri ile, S ile gösterilen karışımlar sürekli granülometri ile oluşturulmuşlardır. Kodlamanın ikinci bölümü vibrasyon süresini temsil etmektedir. Kodlama da son olarak kullanılan katkı miktarı belirtilmektedir.

Örneğin; K2-18-65 kodu, kesikli granülometri ile üretilen 2 nolu karışımın 18 saniye vibrasyona maruz bırakıldığını ve 65 gram katkı kullanıldığını ifade etmektedir. Tablo 3.8’de üretilen 16 adet karışımın açılımları, vibrasyon süreleri, katkı miktarları, hesap olarak bulunan doluluk oranları, deneysel olarak bulunan doluluk oranları ve özgül ağırlıklar gösterilmiştir.

Tablo 3.8: Üretilen Beton Bileşimlerinin Açılımları.

Karışım	Vibrasyon Süresi sn.	Katkı gr.	Öz Doluluk (Hesap)	Öz Doluluk (Deney)	Özgül Ağırlık gr/dm ³
K-2) KK+DK1+KT1+KT2	3	65	0,715	0,656	2,689
K-2) KK+DK1+KT1+KT2	9	65	0,715	0,661	2,689
K-2) KK+DK1+KT1+KT2	18	65	0,715	0,651	2,689
K-4) KK+DK2+KT1+KT2	18	110	0,693	0,646	2,669
K-3) KK+DK3+KT1+KT2	18	75	0,735	0,667	2,676
K-1) KK+KT1+KT2	18	60	0,700	0,649	2,696
S-1) KK+KT1+KT2	18	50	0,671	0,628	2,679
S-1) KK+KT1+KT2 (Tekrar)	18	50	0,671	0,667	2,679
S-2) KK+DK1+KT1+KT2	36	65	0,691	0,680	2,682
S-2) KK+DK1+KT1+KT2	18	130	0,691	0,662	2,682
S-2) KK+DK1+KT1+KT2	18	100	0,691	0,656	2,682
S-1) KK+KT1+KT2	18	85	0,671	0,658	2,679
K-1) KK+KT1+KT2	18	80	0,700	0,657	2,696
K-2) KK+DK1+KT1+KT2	18	90	0,715	0,682	2,689
K-3) KK+DK3+KT1+KT2	18	95	0,735	0,698	2,676
K-2) KK+DK1+KT1+KT2	18	130	0,715	0,682	2,689

3.8. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş beton deneyleri olarak küp basınç deneyi, disk yarma-çekme deneyi ve ImageJ programı ile yüzey görüntü analizi yapılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Taze Beton Deney Sonuçları

4.1.1. Birim ağırlık deneyi

Üretilen betonlar kalıplara yerleştirilmeden önce, silindir şeklinde hacmi bilinen bir kap içerisine yerleştirilerek taze beton birim ağırlığı bulundu. Kalıplara yerleştirilen betonlar vibrasyona maruz bırakıldıktan sonra da taze beton birim ağırlığı ölçüldü. Tablo 4.1’ de üretilen betonların taze birim ağırlıkları verilmektedir.

Tablo 4.1: Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

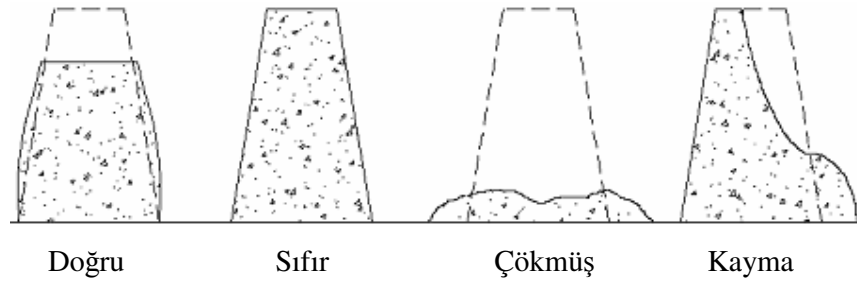
Karışım	Taze Birim Ağırlık	Vibrasyon Sonrası Taze Birim Ağırlık
K2 - 3 - 65	2,417	2,434
K2 - 9 - 65	2,376	2,472
K2 - 18 - 65	2,383	2,510
K4 - 18 - 110	2,383	2,434
K3 - 18 - 75	2,410	2,472
K1 - 18 - 60	2,459	2,491
S1 - 18 - 50	2,417	2,378
S1 - 18 - 50 (Tekrar)	2,436	2,416
S2 - 36 - 65	2,394	2,453
S2 - 18 - 130	2,366	2,434
S2 - 18 - 100	2,394	2,491
S1 - 18 - 85	2,373	2,434
K1 - 18 - 80	2,423	2,491
K2 - 18 - 90	2,401	2,472
K3 - 18 - 95	2,401	2,491
K2 - 18 - 130	2,387	2,463

4.1.2. Çökme (Slump) deneyi

Bu deney TS EN 12350-2’ de tanımlandığı şekilde yapılır. Çökme deneyi için üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm olan bir kesik koni, Abrams konisi

kullanılır. Koni, düz ve su emmeyen bir yüzeye oturtularak üç eşit yükseklikte tabakalar halinde taze betonla doldurulur. Her tabaka, çapı 16 mm olan özel deney çubuğu ile 25 kez şişlenerek sıkıştırılır. Kalıp tamamen doldurularak üzeri mala ile düzeltilir. Daha sonra kalıp bekletilmeden kulplarından tutularak yavaşça ve sarsılmadan kaldırıldığında taze betonun kendi ağırlığı etkisiyle yaptığı çökme gözlenir. Aynı agrega ve çimento oranı kullanılarak üretilen betonda, karışıma katılan su miktarının artması ölçüsünde, çökme miktarının her zaman arttığı gözlenir. Çökme miktarı bu bakımdan betondaki su içeriğinin bir fonksiyonu olup aynı zamanda da en etkin göstergesidir.

Çöken betonun aldığı şekil kohezyon hakkında fikir verir. Kohezyonsuz betonlarda karışım, eğimli düzlemler boyunca kayar. Kohezyonun düşük olması ince malzemenin eksikliğini gösterir. Şekil 4.1’ de çökmenin dört farklı çeşidi görülmektedir.



Şekil 4.1: Çökmenin Dört Çeşidi [30].

Basit araçlarla yapılabilen çökme deneyi şantiyelerde de kolaylıkla uygulanabilir. Bu deney plastik ve akıcı betonlarda bir anlam taşır. Numunede yıkılma olmaksızın, koni çıkartıldıktan itibaren betonun çöktüğü miktar, karışım kıvamının ölçütü olarak değerlendirilir. Plastik kıvamdaki karışımlar 5-10 cm aralığında çökme gösterirler. Numunedeki çökme sınır değerleri en az 2,5 cm, en çok 18-20 cm olmalıdır. Bu sınırların dışındaki değerler (0,5-2 cm) aşırı kohezyonlu veya (21-24 cm) aşırı akıcı betonları gösterirler [4]. Çökme deneyinin sonuçları Tablo 4.2’ de verilmektedir.

Tablo 4.2: Çökme Deneyi Sonuçları

Karışım	Çökme (cm)	Çökme Sınıfları
K2 - 3 - 65	16	S4
K2 - 9 - 65	16	S4
K2 - 18 - 65	16	S4
K4 - 18 - 110	8	S2
K3 - 18 - 75	18	S4
K1 - 18 - 60	16	S4
S1 - 18 - 50	15	S3
S1 - 18 - 50 (Tekrar)	16	S4
S2 - 36 - 65	14	S3
S2 - 18 - 130	20	S4
S2 - 18 - 100	21	S4
S1 - 18 - 85	21	S4
K1 - 18 - 80	21	S4
K2 - 18 - 90	21	S4
K3 - 18 - 95	21	S4
K2 - 18 - 130	20	S4

4.1.3. Taze betonun 8 mm ve 4 mm' lik eleklerden elenmesi

Beton hazırlanıp kalıplara döküldükten sonra vibrasyon işlemine maruz bırakıldı. Vibrasyon uygulandıktan sonra, iki adet silindir numuneye ($\varnothing 15 \times \varnothing 30$ cm) beton taze haldeyken eleme işlemi yapılmıştır. 30 cm yüksekliğinde olan silindir numunenin üst ve alt kısmından alınan 1,5 kg'lık taze beton numunesi 8 mm ve 4 mm'lik eleklerden elenmiştir. Üst ve alt kısım için, 8 mm üstünde ve 8mm-4mm arasında kalan agrega miktarları tartılmıştır.

Bu deneyin yapılmasındaki amaç, numunenin alt ve üst kısmındaki agrega farklılıklarına bakılarak fazla vibrasyondan sonra oluşacak segregasyonu gözlemlemektir. Tablo 4.3' de eleme sonucu çıkan sonuçlar, iki silindir numunenin ortalaması alınarak alt ve üst kısım için yüzdesel olarak verilmiştir.

Tablo 4.3: Taze Betonda Agreganın 8mm ve 4mm’lik Eleklerden Elenmesi Sonuçları

Karışım	Üst (%)		Alt (%)	
	8 mm Üstü	4-8 mm Arası	8 mm Üstü	4-8 mm Arası
K2 - 3 - 65	79	21	72	28
K2 - 9 - 65	77	23	77	23
K2 - 18 - 65	80	20	74	26
K4 - 18 - 110	76	24	75	25
K3 - 18 - 75	69	31	68	32
K1 - 18 - 60	87	13	85	15
S1 - 18 - 50	56	44	50	50
S1 - 18 - 50 (Tekrar)	58	42	53	47
S2 - 36 - 65	65	35	63	37
S2 - 18 - 130	63	37	67	33
S2 - 18 - 100	67	33	64	36
S1 - 18 - 85	57	43	58	42
K1 - 18 - 80	86	14	89	11
K2 - 18 - 90	65	35	77	23
K3 - 18 - 95	72	28	74	26
K2 - 18 - 130	62	38	79	21

4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Beton karışımı hazırlandıktan sonra boyutları belli olan hazır kalıplara dökülür. Su kaybını en aza indirmek amacıyla üzeri örtülür ve bir gün süreyle kalıpta bırakılır. Daha sonra kalıplardan çıkarılan numuneler, içerisinde beton karma suyuyla aynı niteliklere sahip olan su ile dolu havuza yerleştirilir.

4.2.1. Küp basınç deneyi

Basınç deneyinde, ölçüleri 150x150x150 mm olan küp numuneler kullanılmıştır. 28 gün 20°C ±2°C’lik su küründe beklemiş küp numuneler su havuzundan alınmış ve tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Basınç deneyi İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiş ve 3000 kN’luk ALŞA presi kullanılmıştır. Küp numunelere uygulanan basınç deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4: K p Basınc Deneyi Sonuçları

NUMUNE	Basınc Mukavemeti (Ortalama)(Mpa)
K2 - 3 - 65	48,3
K2 - 9 - 65	54,4
K2 - 18 - 65	51,4
K4 - 18 - 110	37,7
K3 - 18 - 75	65,6
K1 - 18 - 60	67,1
S1 - 18 - 50	48,6
S1 - 18 - 50 (Tekrar)	48,8
S2 - 36 - 65	64,9
S2 - 18 - 130	51,2
S2 - 18 - 100	48,1
S1 - 18 - 85	50,6
K1 - 18 - 80	67,4
K2 - 18 - 90	69,3
K3 - 18 - 95	44,6
K2 - 18 - 130	45,1

4.2.2. Disk yarma-çekme deneyi

20 C $\pm$ 2 C’lik su k r nde beklemiş $\varnothing$ 150x300 mm boyutlu numunelerin    kesilmesi ile elde edilen disk numunelere 35. günde yarma-çekme deneyi uygulanmıştır.  apı 150 mm, yüksekliği 90 mm olan deney numunelerine yarma-çekme deneyi 1000 kN’luk J. Amsler presi ile yapılmıştır. Yarma deneyinde, 20 mm eninde, 4 mm kalınlığında ve 120 mm uzunluğunda çıtalar kullanılarak tepe yükünün çizgisel olarak dağılması sağlanmıştır. Çizgisel yük boyunca basınc gerilmelerine dik yönde oluşan çekme gerilmeleri etkisiyle numune ortadan yarılarak kırılmaktadır.

Gerilme hesaplanırken (4.1) bağıntısı kullanıldı. Bu bağıntıda σ ; Yarma- ekme dayanımı (MPa), P; Yük (N), D;  ap (mm), L;Yükseklik (mm) dir.

$$\sigma = \frac{2P}{\pi DL} , \text{ N/mm}^2 \quad (4.1)$$

Yarma deneylerinde elde edilen numunelerin yarma-çekme dayanımı değerleri, numunelerin ikişer ikişer ortalaması alınarak Tablo 4.5’ de verilmektedir.

Tablo 4.5: Disk Yarma-Çekme Deneyi Sonuçları

NUMUNE	Yarma-Çekme Dayanımı (MPa)		
	Üst	Orta	Alt
K2 - 3 - 65	4,62	4,48	5,17
K2 - 9 - 65	5,48	5,23	5,91
K2 - 18 - 65	4,86	5,37	5,79
K4 - 18 - 110	4,66	4,80	4,78
K3 - 18 - 75	6,15	5,98	6,36
K1 - 18 - 60	5,06	5,10	5,39
S1 - 18 - 50	4,74	5,09	5,58
S1 - 18 - 50 (Tekrar)	4,88	4,77	5,12
S2 - 36 - 65	4,89	4,98	5,36
S2 - 18 - 130	3,58	3,54	4,50
S2 - 18 - 100	4,87	5,30	5,34
S1 - 18 - 85	4,70	5,42	5,26
K1 - 18 - 80	4,48	4,51	4,61
K2 - 18 - 90	5,28	5,39	5,59
K3 - 18 - 95	3,53	3,87	4,12
K2 - 18 - 130	3,79	4,15	4,39

4.3. ImageJ Programı İle Yüzey Görüntü Analizi

ImageJ, A.B.D. Ulusal Sağlık Enstitüsü (National Institute of Health) tarafından geliştirilen genel amaçlı imaj analizi programıdır [31].

Yarma - çekme deneyi için üçe kesilen Ø15 x 30 cm’lik silindir numunelerin alt ve üst disk parçalarının yüzeyleri Şekil 4.2’de görüldüğü gibi bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Disk yüzeylerinde bulunan agregalar Adobe Photoshop programı yardımı ile seçilip, Şekil 4.3’de görüldüğü gibi ImageJ programında yüzey analizleri yapılmıştır. Yapılan yüzey analizlerinde agregaların alanları ve x-y koordinatları elde edilmiştir. Buradan elde edilen sonuçlarla agregalar arası mesafe bulunmuştur. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de K1-18 kodlu numunenin yüzey analizinden sonra elde edilen, alt ve üst yüzeyler için agrega arası mesafelerin adetleri yüzdesel olarak verilmektedir.

Yüzey analizi yapılırken, ilk olarak fotoğrafı çekilerek Şekil 4.2’deki gibi bilgisayar ortamına kopyalanan numunenin yüzeyindeki agregalar Adobe Photoshop programı yardımı ile seçilmiştir. Photoshop programında uygulanan işlemler aşağıdaki gibidir.

1. Photoshop programı 'File' menüsünden 'Open' ile analizi yapılacak numune seçilir.
2. 'Magnetic Lasso Tool' yardımıyla yüzeydeki agregalar seçilir.
3. Seçilen agregalar 'Select' menüsünden 'Save Selection' seçilerek kaydedilir.
4. Sırasıyla seçilen agregalar için aynı işlem yapılır. Açılan 'Save Selection' penceresinde 'Channel' kısmına ilk seçilen agreganın Channel'i seçilip, 'Operation' kısmında da 'Add to Channel' seçilmelidir.
5. Agregalar seçimi tamamlandıktan sonra 'Select' menüsünden 'Load Selection' seçilir. Açılan pencerede, kullanılan 'Channel' seçilir. Bütün agregaların seçilmiş olduğu görülür.
6. 'Edit' menüsünden 'Fill' seçilerek açılan pencerede 'Contents-Use' seçeneği 'Black' olarak seçilir. Seçilen agregalar yüzeylerinin Şekil 4.3'deki gibi siyah olduğu görülür.
7. 'Select' menüsünden 'Inverse' seçilir.
8. 'Edit' menüsünden 'Fill' seçilerek açılan pencerede 'Contents-Use' seçeneği 'White' olarak seçilir. Agregalar Şekil 4.4'de olduğu gibi beyaz zemin üzerinde gözükmektedir.
9. 'File' menüsünden 'Save As' seçilir. Dosya formatı olarak 'JPEG' seçilir ve kaydedilir.

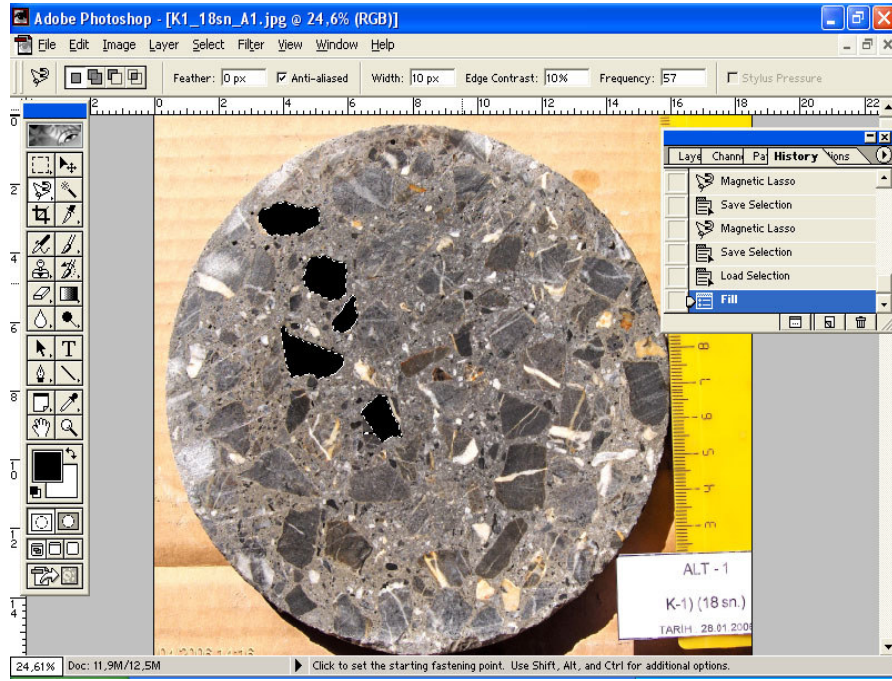
Agregalar Photoshop yardımıyla Şekil 4.4'deki gibi hazırlandıktan sonra ImageJ programı ile yüzey analizi yapılabilir. ImageJ programında uygulanan işlemler aşağıdaki gibidir.

1. ImageJ programı 'File' menüsünden 'Open' ile analizi yapılacak numune seçilir.
2. 'Image' menüsünden 'Type - 8-bit' seçilir.
3. 'Process' menüsünden 'Binary - Threshold' seçilir.
4. Fotoğraf üzerinde bulunan ölçek yardımı ile bilinen uzaklığın x veya y koordinatı ImageJ programının Toolbar'ının altından ölçülür. Gerçekteki uzunluğun fotoğrafta kaç Pixel'e denk geldiği bulunur.

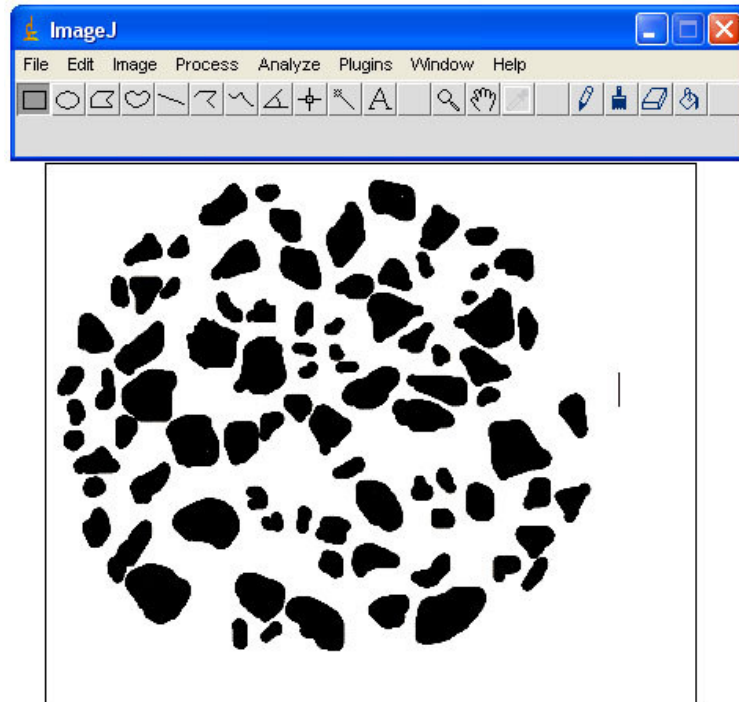
5. 'Analyze' menüsünden 'Set Scale' seçilir. Açılan pencerede 'Distance in Pixels' kısmına '4.' maddede bulunan değer yazılarak çizimin ölçeği ayarlanmış olunur.
6. 'Analyze' menüsünden 'Set Measurements' seçilir. Açılan pencerede hesaplanması istenilen değerler seçilir. Bu çalışmada 'Area' ve 'Center of Mass' değerleri seçilmiştir.
7. 'Analyze' menüsünden 'Analyze Particles' seçilir. Açılan pencereden 'Display Results' işaretlenir. Böylece istenilen değerlerin analizi elde edilmiş olunur.
8. Çıkan değerler 'File' menüsünden 'Save As' seçilerek Excel formatında kaydedilebilir.



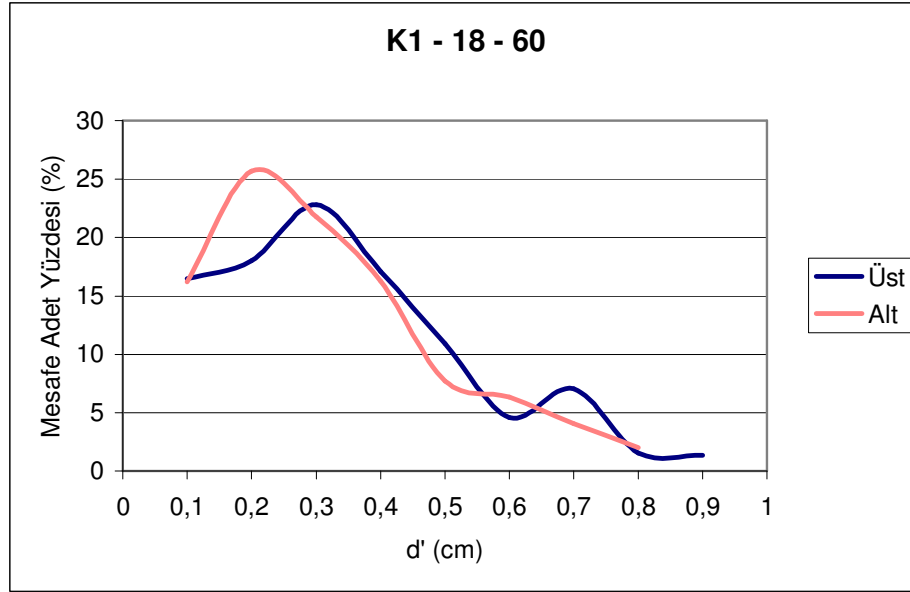
Şekil 4.2: K1-18-60 Kodlu Numunenin Üst Yüzeyi



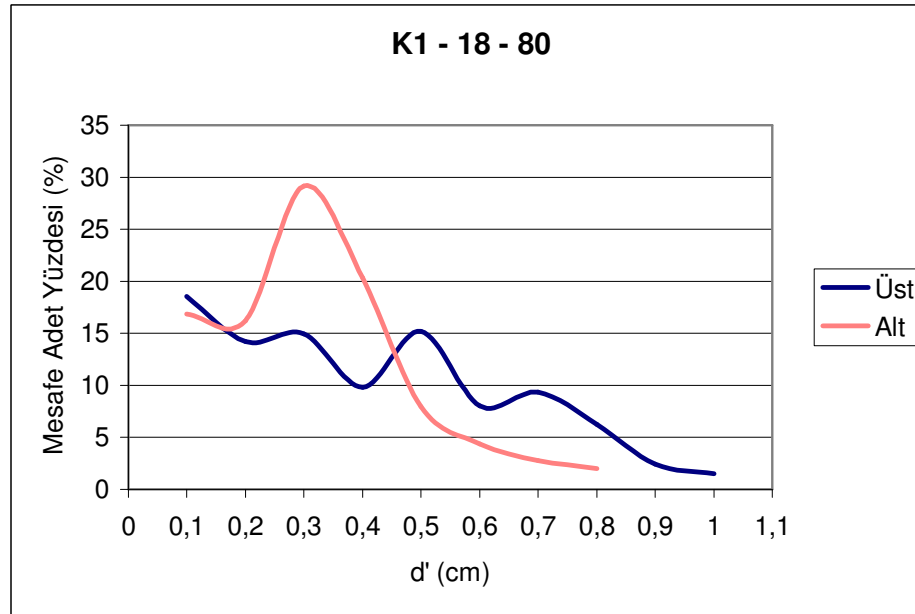
Şekil 4.3: Adobe Photoshop Programı İle Agregaların Seçilmesi



Şekil 4.4: ImageJ Programı İle Yüzey Analizinin Yapılması



Şekil 4.5: K1-18-60 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

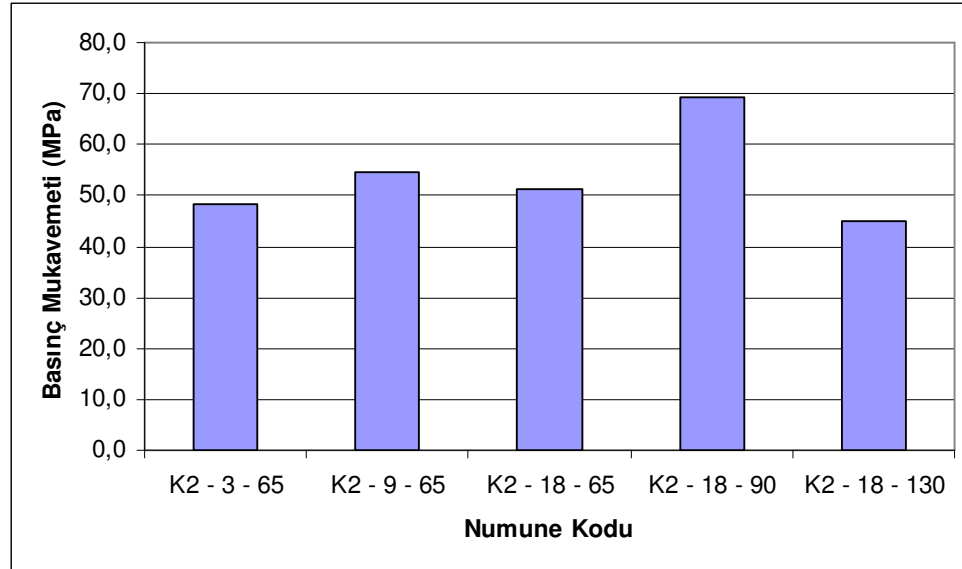


Şekil 4.6: K1-18-80 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

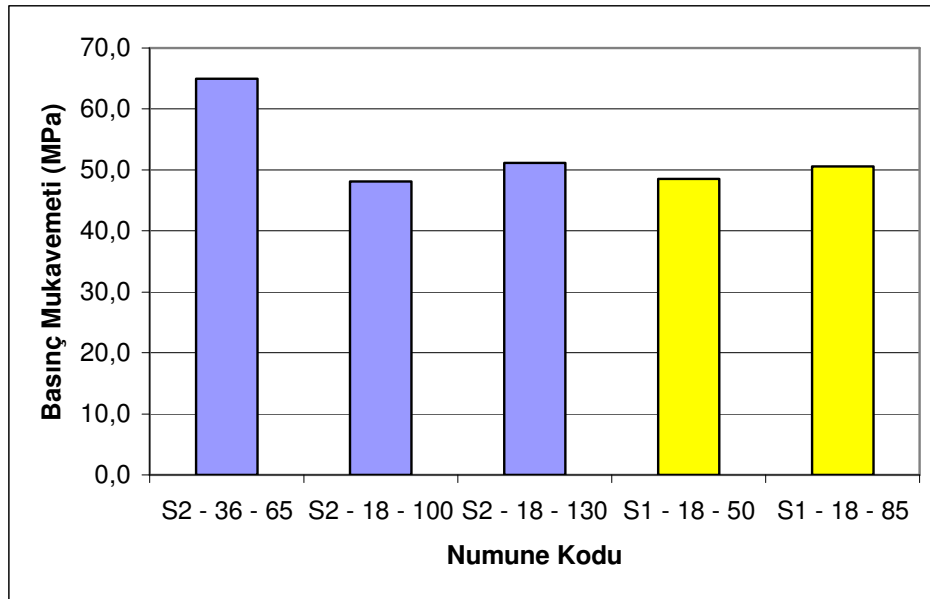
5.1. Basınç Dayanımı

Şekil 5.1’de K-2 kodlu numunenin 3, 9, 18 saniyelik üç farklı vibrasyon süresi ve üç farklı katkı miktarı için basınç mukavemetlerindeki değişim görülmektedir. Segregasyon oluşmasını sağlamak amacıyla vibrasyon süresini arttırdığımız K-2 numunesinde, vibrasyon süresi 3sn’den 9 sn’ye çıkarıldığında basınç mukavemetinin %11 arttığı görülmüş, vibrasyon süresi 9 sn’den 18 sn’ye arttırıldığında ise basınç mukavemetinin %6 azaldığı görülmüştür. Akışkanlaştırıcı katkı maddesinin arttırılarak işlenebilirliğin artırıldığı, kendiliğinden yerleşen beton özelliklerinin görüldüğü K-2 numunesinde, katkı maddesi 65 gr’dan 90 gr’a çıkarıldığında basınç mukavemetinin %26 arttığı görülmüştür. Katkı maddesi 65 gr’dan 130 gr’a çıkarıldığında segregasyon gözle görülebilmıştır. Basınç mukavemetinin ise 65 gr’a göre %12, 90 gr’a göre %35 azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.1: K-2 Kodlu Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Değişimi

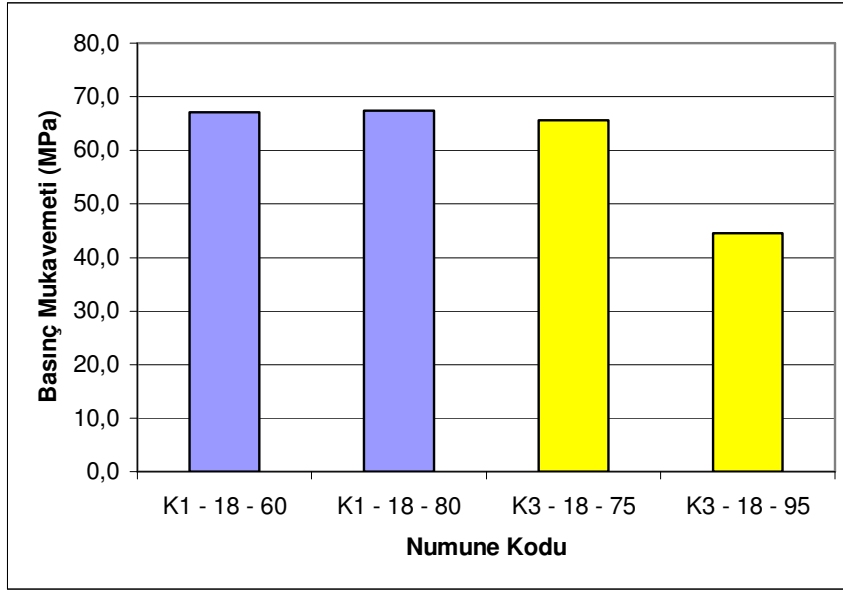
Şekil 5.2’de S-1 ve S-2 kodlu numunelerin basınç mukavemetlerindeki değişim görülmektedir. S-1 kodlu numunede katkı miktarının arttırılması ile oluşturulan segregasyon sonucunda basınç mukavemetlerindeki değişim sadece %4 olarak görülmektedir. S-2 kodlu numunede segregasyon oluşması için üç farklı katkı miktarı kullanılmıştır. Katkı miktarı arttırılarak segregasyon oluşması sağlanmıştır. Katkı miktarı 65 gr’dan 100 gr’a çıkarıldığında oluşan segregasyon nedeniyle basınç mukavemetinin %26 azaldığı görülmektedir. Katkı miktarı 65 gr’dan 130 gr’a çıkarıldığında ise mikser içinde tam bir segregasyon gözlenmiştir. Basınç mukavemetinin de %21 azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.2: S-1 ve S-2 Kodlu Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Değişimi

Şekil 5.3’te K-1 ve K-3 kodlu numunelerin basınç mukavemetlerindeki değişim görülmektedir. K-1 kodlu numunedeki basınç mukavemeti değişimi yalnızca %0,4 gibi çok küçük bir orandır. K-3 numunesinde ise katkının 75 gr’dan 95 gr’a arttırılması ile oluşan segregasyon sonucu basınç mukavemetinin %32 azaldığı görülmektedir.

Numunelerde vibrasyon süresi ve katkı miktarı arttırılarak segregasyon oluşması sağlanmıştır. Numunelerin genelinde bir karşılaştırma yapıldığında segregasyon oluşması ile basınç mukavemetinin azaldığı görülmektedir.



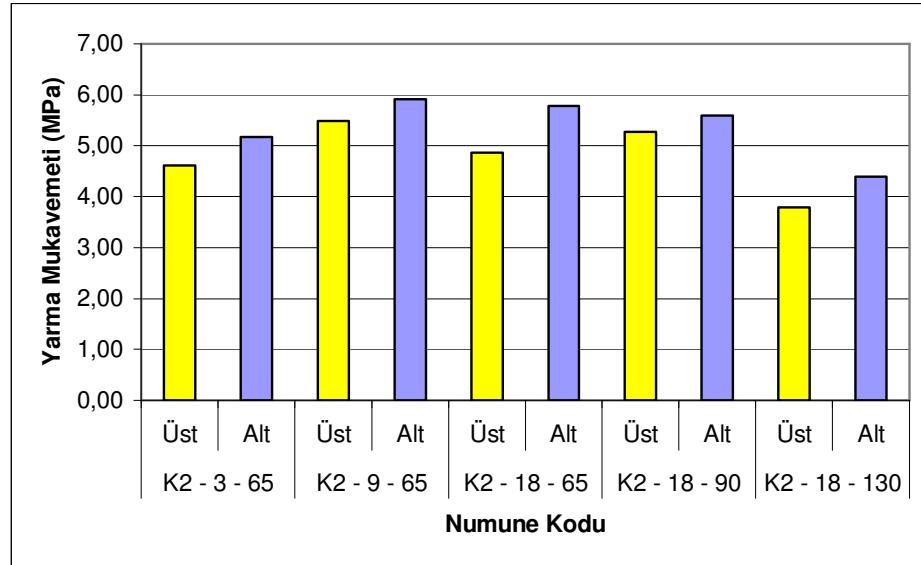
Şekil 5.3: K-1 ve K-3 Kodlu Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Değişimi

5.2. Disk Yarma - Çekme Dayanımı

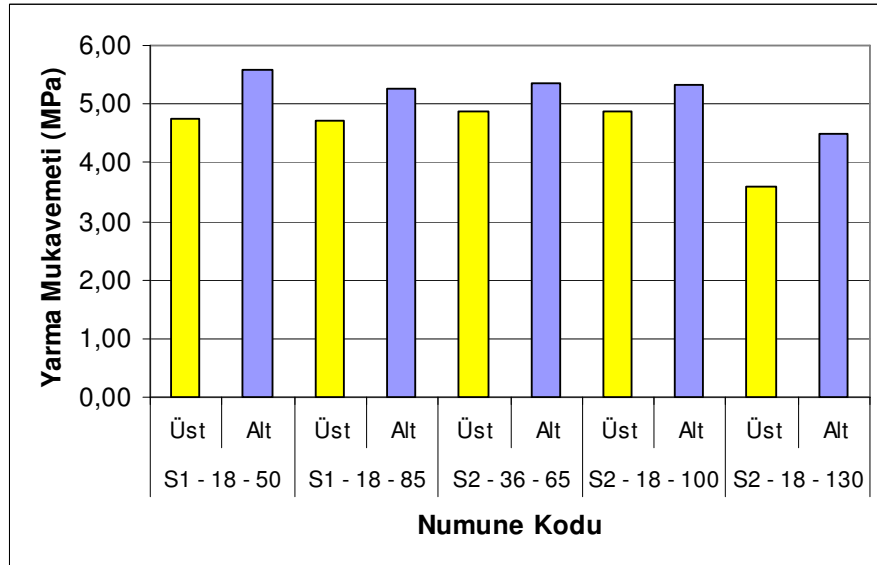
Şekil 5.4’de K-2 kodlu numunenin 3, 9, 18 saniyelik üç farklı vibrasyon süresi ve üç farklı katkı miktarı için yarma-çekme dayanımları verilmektedir. K-2 kodlu numunelerin hepsinde alt kısım mukavemet değerinin üst kısma göre daha yüksek olduğu görülmektedir. K2-3-65 kodlu numunenin alt ve üst mukavemetleri arasındaki fark %11, K2-9-65 kodlu numunede bu fark %7, K2-18-65 kodlu numunede ise fark %16’dır. Basınç mukavemetindeki değişime benzer bir eğilim yarma-çekme mukavemetinde de görülmektedir. Yani segregasyon oluşmaya başlayınca alt ve üst mukavemetler arasındaki farklar artmış ve yarma-çekme mukavemetleri azalmıştır. Aynı şekilde katkı artırılarak segregasyon oluşturulduğunda yarma-çekme mukavemetinin azaldığı görülmektedir.

Şekil 5.5’de S-1 ve S-2 kodlu numunelerin yarma-çekme mukavemetlerindeki değişim görülmektedir. Her iki numunede de alt kısım mukavemet değerlerinin üst kısma göre daha yüksek olduğu görülmektedir. S1-18-50 ve S1-18-85 kodlu numunelerin üst yarma-çekme mukavemetleri arasındaki fark %1, alt yarma-çekme mukavemetleri arasındaki fark %6’dır. Basınç mukavemetlerinde olduğu gibi yarma-çekme mukavemetlerindeki değişiminde oldukça az olduğu görülmektedir. S2-36-65 ve S2-18-100 kodlu numunelerin yarma-çekme mukavemetlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Segregasyon olduğu gözlenen S2-18-130 numunesinde

ise yarma-çekme mukavemetinin üst kısımda %27, alt kısımda %16 azaldığı görülmektedir.



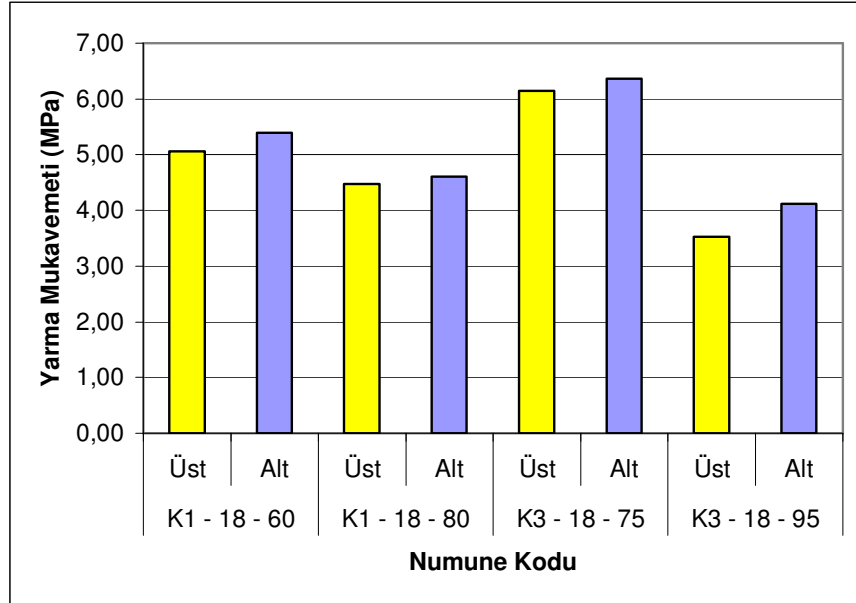
Şekil 5.4: K-2 Kodlu Numunelerin Yarma-Çekme Mukavemetlerinin Değişimi



Şekil 5.5: S-1 ve S-2 Kodlu Numunelerin Yarma-Çekme Mukavemetlerinin Değişimi

Şekil 5.6'da K-1 ve K-3 kodlu numunelerin yarma-çekme mukavemetlerindeki değişim görülmektedir. Segregasyon oluşmaya başlayan K1-18-80 numunesinde K1-18-60 numunesine göre üst kısımdaki yarma-çekme mukavemetinin %11, alt

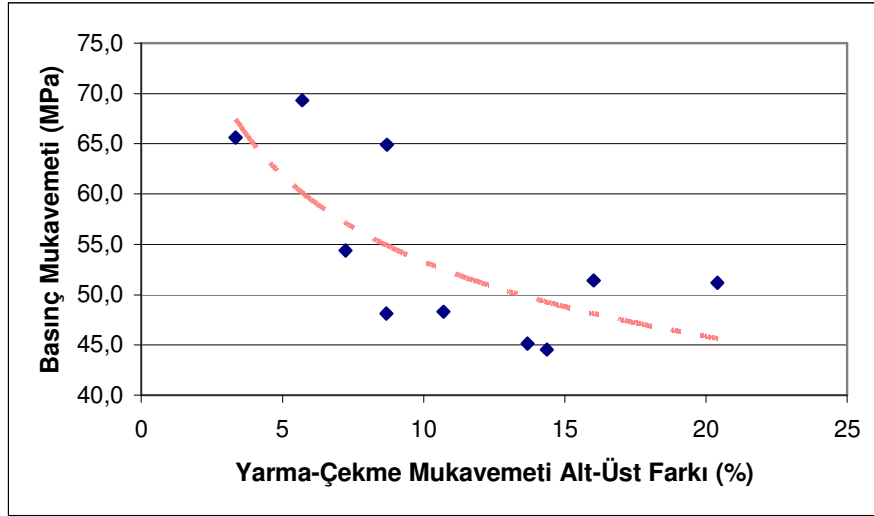
kısımdaki yarma-çekme mukavemetinin %15 azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde K-3 numunesinde, segregasyon oluşan K3-18-95 numunesinin K3-18-75 numunesine göre üst kısımdaki yarma-çekme mukavemetinin %43, alt kısımdaki yarma-çekme mukavemetinin %35 azaldığı görülmektedir. Ayrıca K3-18-75 kodlu numunede alt ve üst yarma-çekme mukavemeti arasındaki fark %3 iken bu fark K3-18-95 numunesinde %14'tür.



Şekil 5.6: K-1 ve K-3 Kodlu Numunelerin Yarma-Çekme Mukavemetlerinin Değişimi

Şekil 5.7’de bütün numunelerin yarma-çekme mukavemeti alt-üst disk farkı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki görülmektedir. Alt ve üst kısım disk yarma-çekme mukavemetleri arasındaki fark arttıkça basınç mukavemetinin azaldığı görülmektedir. Bu farkın da segregasyon olan numunelerde daha fazla olduğunu görmüştük.

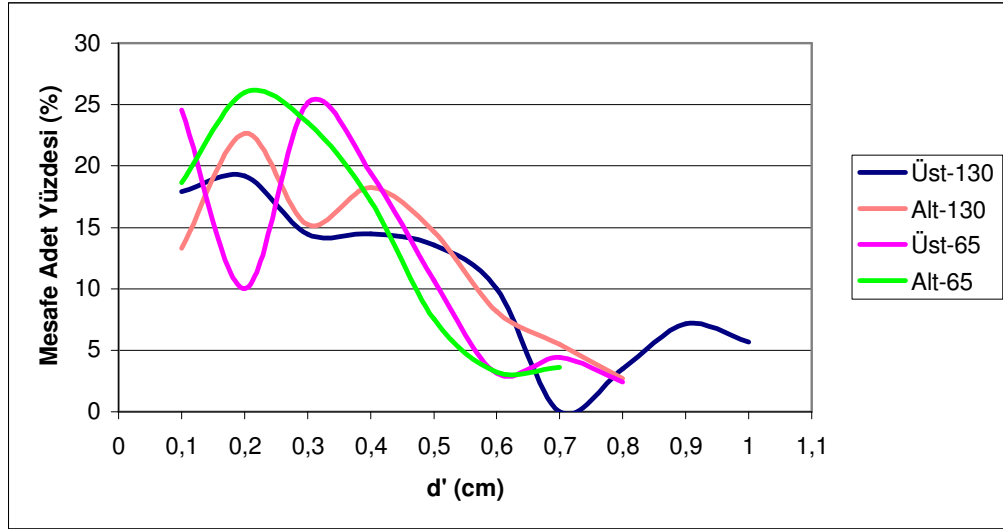
Yarma-çekme mukavemeti sonuçlarına bakıldığında, segregasyon olan numunelerin hepsinde mukavemet değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca segregasyon oluşan numunelerde alt ve üst yarma-çekme mukavemetlerindeki farkın arttığı da görülmektedir.



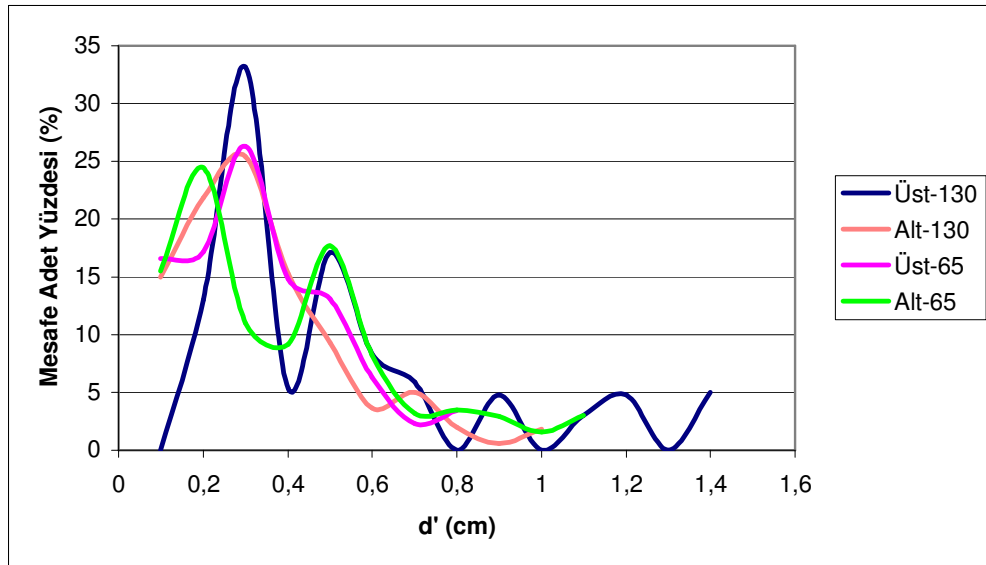
Şekil 5.7: Numunelerin Yarma-Çekme Mukavemeti Alt-Üst Farkı ile Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişki

5.3. ImageJ İle Yüzey Görüntü Analizinin Değerlendirilmesi

Şekil 5.8’de ImageJ programı ile yüzey görüntü analizi yapılan K2-18-65 ve K2-18-130 kodlu numunelerin alt ve üst kısımlarının agregalar arası mesafe adet yüzdesi verilmektedir. Şekil 5.8’de görüldüğü gibi alt kısımlarda küçük mesafe adet yüzdeleri üst kısımlara göre daha fazladır. Yani alt kısımlardaki agregaların üst kısımlardaki agregalara göre birbirine daha yakın olduğu söylenebilir. Ayrıca K2-18-65 numunesi ile segregasyon olduğu gözlenen K2-18-130 numunesinin değerleri karşılaştırıldığında, segregasyon sonucu mesafe adet yüzdelерinin azaldığı görülmektedir. Bir başka deyişle segregasyon oluştuğunda agregalar arası mesafenin arttığı gözlemlenmiştir. Bu davranışın nedeninin segregasyon oluşması ile iri tanelerin aşağıya çökmesi sonucundan kaynaklanabileceği yorumu yapılabilir.



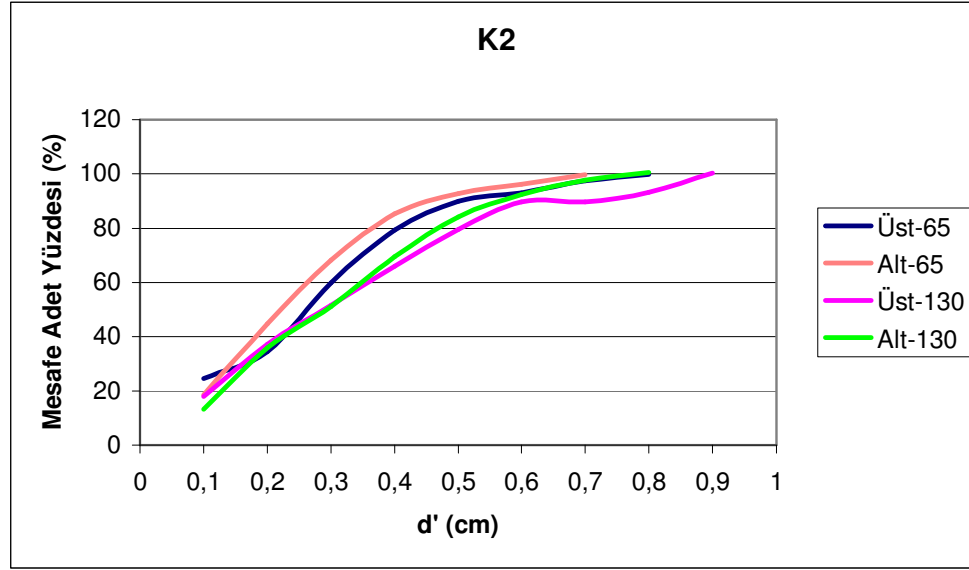
Şekil 5.8: K2-18-65 ve K2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



Şekil 5.9: S2-36-65 ve S2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

Şekil 5.9'da ImageJ programı ile yüzey görüntü analizi yapılan S2-36-65 ve S2-18-130 kodlu numunelerin alt ve üst kısımlarının agregalar arası mesafe adet yüzdesi verilmektedir. Segregasyon oluşan S2-18-130 kodlu numunede alt ve üst yüzeyleri arasındaki fark görülmektedir. Aynı şekilde S2-36-65 kodlu numune ile S2-18-130 kodlu numune karşılaştırıldığında segregasyon sonucu oluşan fark gözükmemektedir.

Şekil 5.10'da ImageJ programı ile yüzey görüntü analizi yapılan K2-18-65 ve K2-18-130 kodlu numunelerin alt ve üst kısımlarının agregalar arası mesafe adet yüzdesi kümülatif olarak verilmektedir. K2-18-65 numunesi ile segregasyon olduğu gözlenen K2-18-130 numunesinin değerleri karşılaştırıldığında, segregasyon sonucu toplam mesafe adet yüzdesi eğrilerinin arasının açıldığı görülmektedir. Diğer numunelerin analizleri Ekler kısmında verilmiştir.



Şekil 5.10: K2-18-65 ve K2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Toplam Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi

5.4. Taze Betonun 8mm ve 4mm'lik Eleklerden Elenmesi İşleminin Değerlendirilmesi

Tablo 5.1'de taze betonda agreganın 8mm ve 4mm'lik eleklerden elenmesi sonucu üst ve alt kısımda 8mm üzeri ve 4-8 mm arası agrega ağırlıklarının farkı yüzdesel olarak verilmiştir.

Fark hesaplanırken alt kısımdan üst kısım çıkarılarak yüzdesel değer bulunduğu için eksi çıkan sonuçlarda üst kısımdaki değer daha büyük anlamındadır. Örneğin K2-18-65 kodlu numunede alt ve üst kısım arasındaki fark 8 mm üzeri için -9 çıktığı görülmektedir. Burada üst kısım alt kısma göre %9 daha fazla anlamındadır. 4-8 mm arasında ise alt kısmın üst kısma göre %24 daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Aynı oranlar segregasyon oluşan K2-18-130 numunesinde 8 mm üzeri için %21, 4-8 mm arası için ise %(-)77'dir. Segregasyon sonucu iri malzemenin çökmesi ile oranların

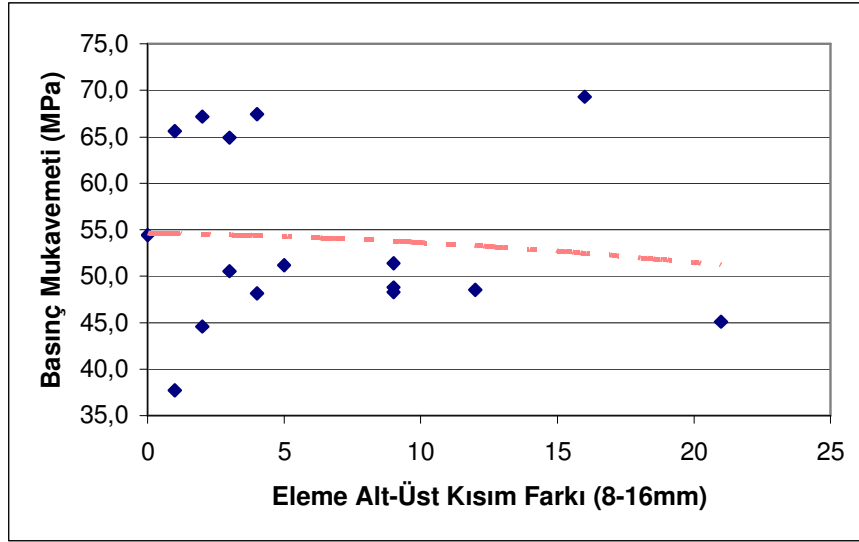
farklı bir şekilde değiştiği açıkça görülmektedir. Benzer bir örnek S2-36-65 kodlu numune ile S2-18-130 kodlu numune arasında da vardır. Oluşan segregasyon ile alt kısımda iri malzeme yüzdesinin arttığı, ince malzeme yüzdesinin azaldığı görülmektedir. Segregasyon görülmeyen numunelerde üst kısımdaki iri malzeme yüzdesinin alt kısımdakine göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Burada beklenen davranışın elde edilememesinin, kullanılan silindir kalıbın yüksekliğinin az olmasından (30 cm) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 5.1: Alt ve Üst Kısım Arasındaki Agrega Ağırlıklarının Yüzdesel Farkı

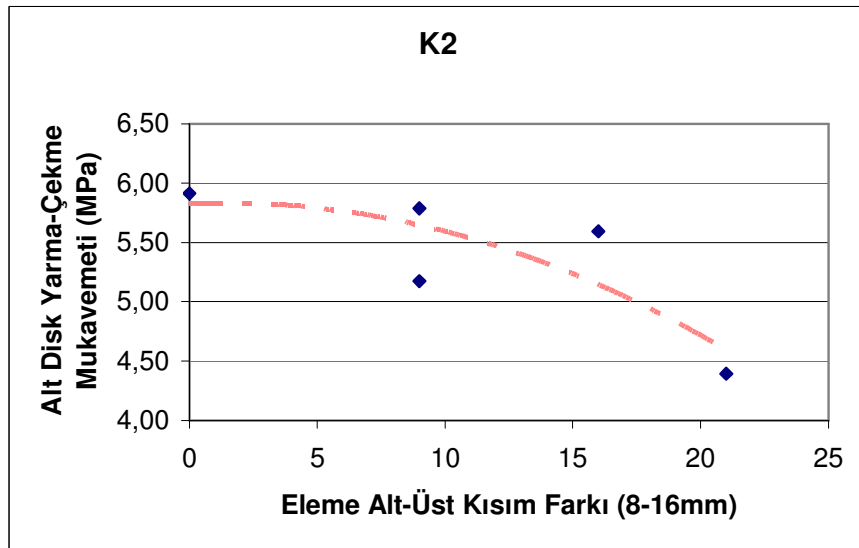
Karışım	Alt ve Üst Kısım Arasındaki Fark (%)	
	8 mm Üstü	4-8 mm Arası
K2 - 3 - 65	-9	24
K2 - 9 - 65	0	0
K2 - 18 - 65	-9	24
K4 - 18 - 110	-1	4
K3 - 18 - 75	-1	2
K1 - 18 - 60	-2	13
S1 - 18 - 50	-12	12
S1 - 18 - 50 (Tekrar)	-9	10
S2 - 36 - 65	-3	5
S2 - 18 - 130	5	-11
S2 - 18 - 100	-4	7
S1 - 18 - 85	3	-4
K1 - 18 - 80	4	-30
K2 - 18 - 90	16	-54
K3 - 18 - 95	2	-6
K2 - 18 - 130	21	-77

Şekil 5.11’de eleme işlemi sonucunda alt ve üst kısımlar arasındaki fark ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki gösterilmektedir. Alt ve üst kısım arasındaki farkın değişmesi ile basınç mukavemetinin değişmediği görülmektedir.

Şekil 5.12’de K2 kodlu numunelerin alt ve üst kısım eleme farkı ile numunelerin alt diskine ait yarma-çekme mukavemeti arasındaki ilişki verilmiştir. Alt ve üst kısım arasındaki fark yüzdesi arttıkça yarma-çekme mukavemetinin düştüğü görülmektedir.

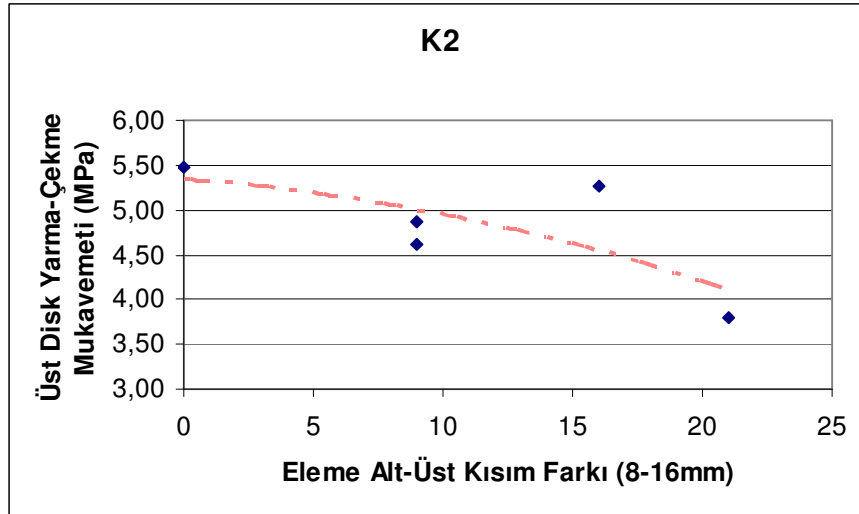


Şekil 5.11: Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişki



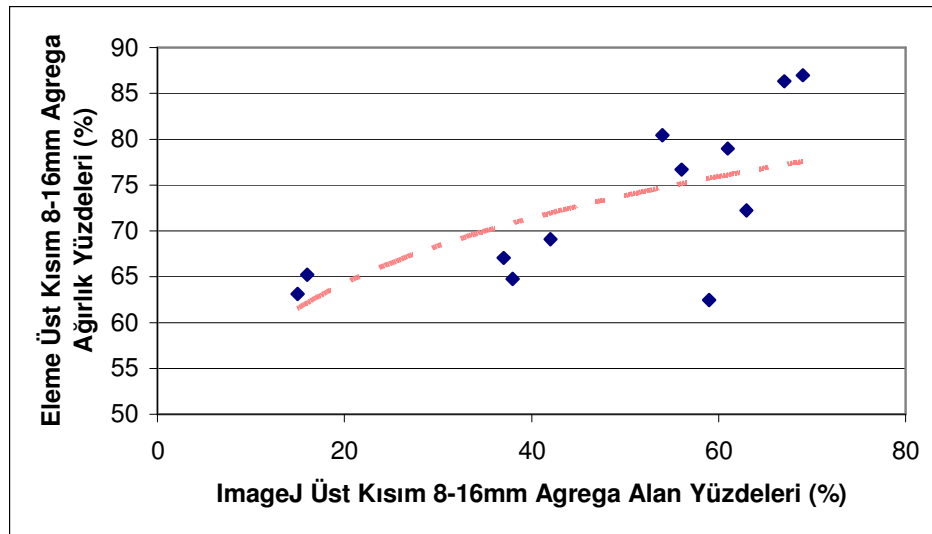
Şekil 5.12: K2 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Alt Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki

Şekil 5.13’de K2 kodlu numunelerin alt ve üst kısım eleme farkı ile numunelerin üst diskine ait yarma-çekme mukavemeti arasındaki ilişki verilmiştir. Alt ve üst kısım arasındaki fark yüzdesi arttıkça yarma-çekme mukavemetinin düştüğü görülmektedir. Diğer numunelerin sonuçları Ekler kısmında verilmiştir.



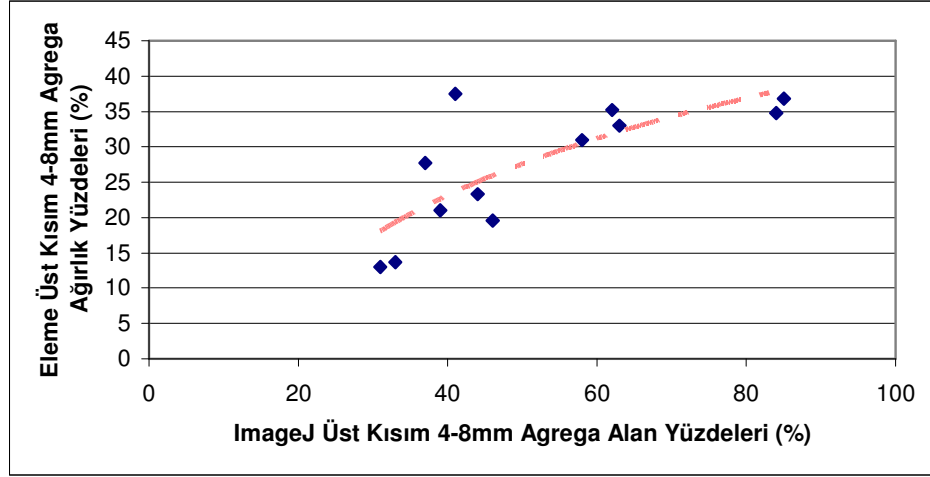
Şekil 5.13: K2 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Üst Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki

Şekil 5.14’de ImageJ programı yardımı ile bulunan numunenin üst kısmındaki 8-16mm arasındaki agregaların alan yüzdeleri ile eleme işlemi sonucunda bulunan numunenin üst kısmındaki 8-16mm arasındaki agregaların ağırlık yüzdelерinin ilişkisi verilmiştir. Şekil 5.14’de görüldüğü gibi 8-16mm arasındaki agrega alan yüzdeleri arttıkça 8-16mm arasındaki agrega ağırlık yüzdelерinin de arttığı görülmektedir.

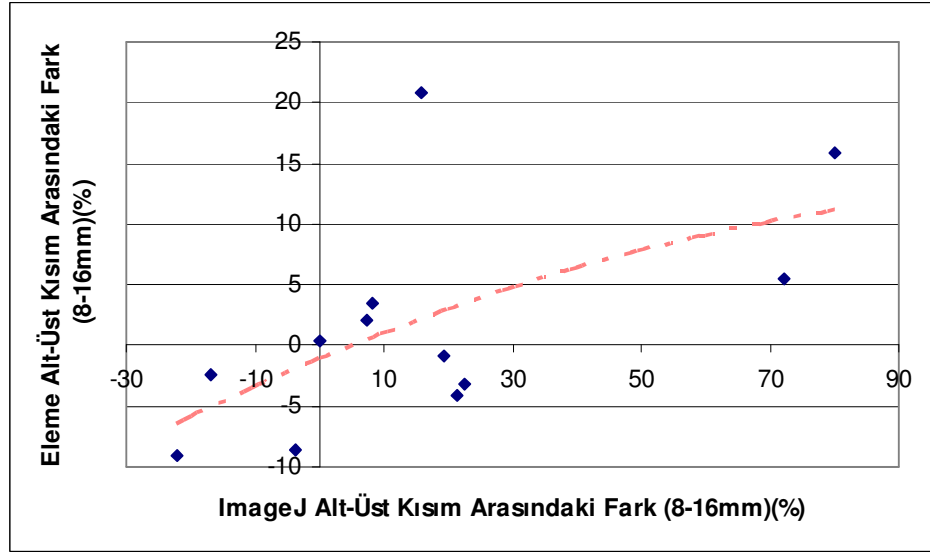


Şekil 5.14: Üst Kısım Agrega Alan Yüzdeleri (8-16mm) İle Ağırlık Yüzdeleri (8-16mm) Arasındaki İlişki

Şekil 5.15’de ImageJ programı yardımı ile bulunan numunenin üst kısmındaki 4-8mm arasındaki agregaların alan yüzdeleri ile eleme işlemi sonucunda bulunan numunenin üst kısmındaki 4-8mm arasındaki agregaların ağırlık yüzdelerinin ilişkisi verilmiştir. Şekil 5.15’de görüldüğü gibi 4-8mm arasındaki agrega alan yüzdeleri arttıkça 4-8mm arasındaki agrega ağırlık yüzdelerin de arttığı görülmektedir.



Şekil 5.15: Üst Kısım Agregası Alan Yüzdeleri (4-8mm) İle Ağırlık Yüzdeleri (4-8mm) Arasındaki İlişki



Şekil 5.16: ImageJ Alt-Üst Kısım Arasındaki Fark (8-16mm) İle Eleme Alt-Üst Kısım Arasındaki Fark (8-16mm) İlişkisi

Şekil 5.16'da 8-16mm arasındaki agregaların, ImageJ programı ile bulunan alt-üst kısım arasındaki farkı ile eleme sonucu bulunan alt-üst kısım arasındaki farkı verilmiştir. ImageJ alt-üst kısım farkı arttıkça eleme alt-üst kısım farkının da arttığını görülmektedir.

5.5. Sürekli ve Kesikli Granülometri İle Hazırlanan Beton Karışımlarının Karşılaştırılması

Kesikli ve sürekli granülometri ile hazırlanan beton karışımların basınç mukavemetleri incelendiğinde çok büyük bir farkın olmadığı görülmektedir. Kesikli granülometri ile hazırlanan karışımlarda segregasyon oluşan numuneler ile normal numuneler arasındaki fark, sürekli granülometri ile hazırlanan karışımlardaki farka göre daha azdır. Yarma-çekme mukavemetlerindeki değişiminde benzer şekilde olduğu gözlemlenmiştir. Segregasyon oluşan numuneler incelendiğinde alt ve üst diskler arasındaki farkın sürekli granülometride daha fazla olduğu görülmektedir. ImageJ ile yüzey görüntü analizi sonuçlarına bakıldığında, kesikli granülometriye sahip karışımların agregalar arası mesafe eğrilerindeki değişimin sürekli granülometriye sahip karışımlara göre daha az olduğu görülmüştür. Taze betonun 8 mm ve 4 mm'lik eleklerden elenmesi işleminin sonuçları incelendiğinde, sürekli granülometriye sahip karışımlarda segregasyon oluşan numunelerdeki alt ve üst kısım arasındaki fark kesikli granülometriye göre daha az olduğu görülmektedir.

Sertleşmiş beton deney sonuçlarına göre, kesikli granülometri ile hazırlanan karışımların mekanik davranışlarının daha iyi olduğu görülmüştür. Taze beton deney sonuçlarına göre ise, sürekli granülometri ile hazırlanan karışımların kesikli granülometri ile hazırlanan karışımlara göre segregasyona daha dirençli oldukları görülmektedir.

6. GENEL SONUÇLAR

- Normal numuneler ile segregasyon oluşan numunelerin basınç mukavemetleri karşılaştırıldığında, segregasyon oluşması ile birlikte basınç mukavemetinin düştüğü görülmüştür. Bu azalmanın kesikli granülometriye sahip karışımlarda %32'ye, sürekli granülometriye sahip karışımlarda ise %26'ya kadar çıktığı görülmektedir.
- Yarma-çekme dayanımları segregasyon sonucu oluşan aderans ve betonun homojenliğini kaybetmesi probleminden dolayı azalmaktadır. Numunelerde alt disklerin yarma-çekme mukavemetleri üst disklere göre daha yüksektir. Segregasyon oluştukça yarma-çekme mukavemetlerinin azaldığı, alt ve üst diskler arasındaki mukavemet farkının arttığı görülmüştür.
- ImageJ programı ile yüzey görüntü analizi sonuçlarına bakıldığında, segregasyon oluşan numunelerde alt diskteki agregaların üst diske göre birbirine daha yakın oldukları görülmüştür. Segregasyon oluşan numuneler ile normal numuneler karşılaştırıldığında alt ve üst disklerdeki agregalar arası mesafe farkının arttığı görülmektedir.
- Beton taze haldeyken yapılan eleme sonucunda segregasyon oluşan numunelerde alt kısımdaki iri malzeme oranının (>8mm) üst kısma göre arttığı, ince malzeme oranının (4mm-8mm) ise üst kısma göre azaldığı görülmüştür. Ayrıca segregasyon oluşan numunelerle normal numuneler karşılaştırıldığında alt ve üst kısımlar arasındaki malzeme oranı farkının segregasyon oluşan numunelerde daha fazla olduğu görülmektedir.
- Kesikli ve sürekli granülometri ile hazırlanan karışımlar karşılaştırıldığında, taze beton deney sonuçlarına göre sürekli granülometri ile hazırlanan karışımların segregasyona karşı daha dirençli oldukları görülmektedir. Buna karşın sertleşmiş beton deney sonuçlarına göre ise kesikli granülometri ile hazırlanan karışımların mekanik davranışlarının daha iyi oldukları görülmüştür.

- Yarma-çekme mukavemeti ile basınç mukavemeti arasındaki ilişkiye bakıldığında, alt ve üst diskler arasındaki yarma-çekme mukavemeti farkı arttıkça basınç mukavemetinin azaldığı görülmüştür.
- Beton taze haldeyken elenmesi işlemi sonucunda, alt ve üst kısım arasındaki iri malzeme (8-16mm) farkının artmasıyla basınç mukavemetinin düştüğü gözlemlenmiştir. Aynı fark ile numunelerin alt ve üst yarma-çekme mukavemetleri arasındaki ilişkiye bakıldığında, alt ve üst kısım arasındaki fark arttıkça yarma-çekme mukavemetinin azaldığı görülmektedir.
- Eleme işlemi ile ImageJ sonuçları karşılaştırıldığında, alt ile üst kısım için iri agreg (8-16mm) ve ince agreg (4-8mm) yüzdelere bakıldığında ImageJ’de agreg alan yüzdeleri arttıkça agreg ağırlık yüzdelerinin de arttığı görülmüştür. Aynı şekilde alt ve üst kısım arasındaki farka bakıldığında ImageJ alt-üst kısım farkı arttıkça eleme alt-üst kısım farkının da arttığı görülmektedir.

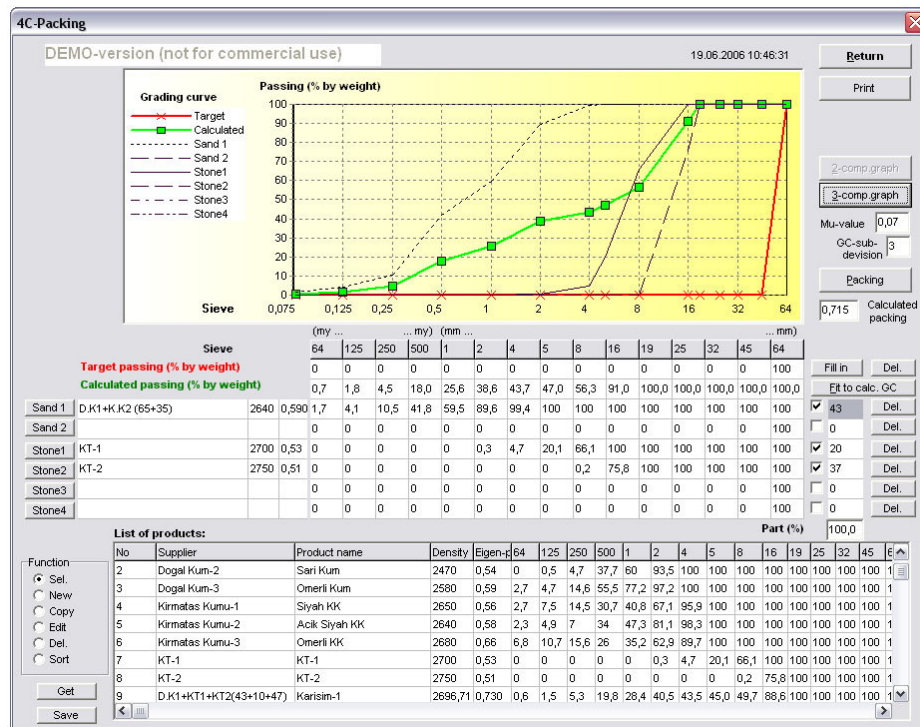
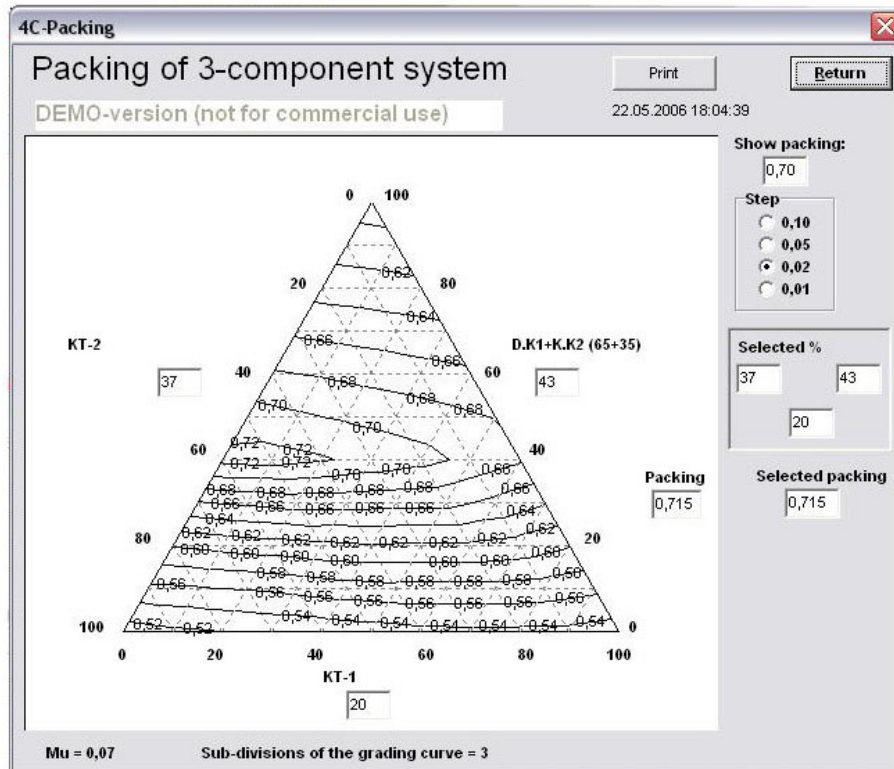
KAYNAKLAR

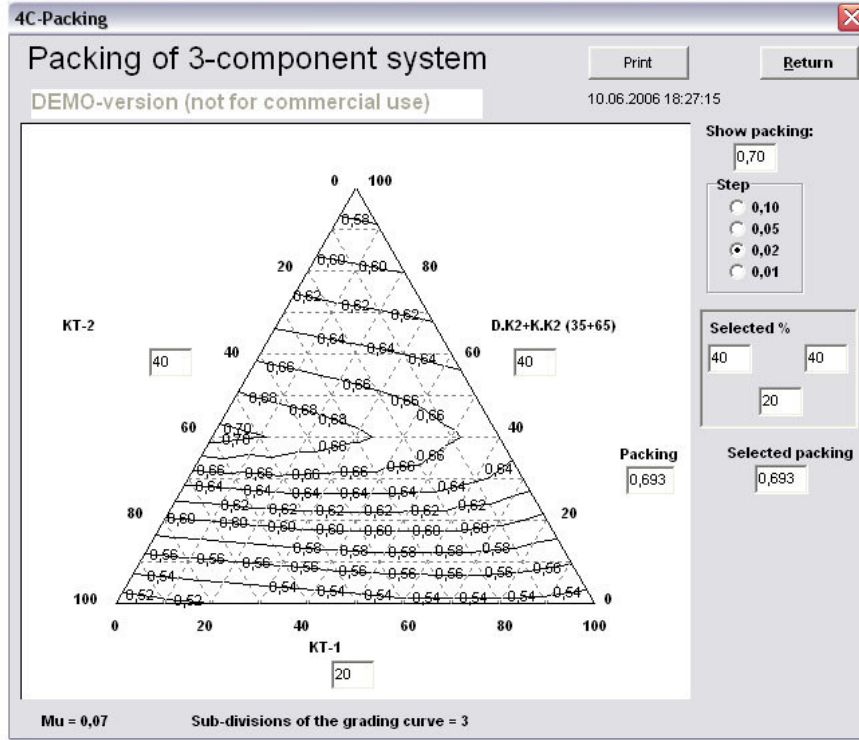
- [1] **Kocataşkın, F.**, 1991. Betonun Dünyü Bugünü Yarını, 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası) Sf. 23-42.
- [2] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [3] **Glavind, M., Pedersen, E. J.**, 1999. Packing Calculations Applied For Concrete Mix Design, *Proceedings Creating with Concrete, May 1999, University of Dundee.*
- [4] **Ağar, E., Öztaş, G., Sütaş, İ.**, 1998. Beton Yollar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [5] **Wong, S., Michel Alexander, A.**, 2000. Portland-Cement Concrete Rheology and Workability : *Final Report.*
- [6] **Mindess, S., Young, F. J.**, 1981. Concrete, Prentice-Hall, New Jersey.
- [7] **Murdock, L.J., Brook, K.M., Dewar J. D.**, 1991. Concrete Materials and Practice, Edwar Arnold a Division of Hodder & Stoughton, London.
- [8] **Tattersall, G. H.**, 1991. Workability and Quality Control of Concrete, Department of Civil and Structural Engineering University of Sheffield.
- [9] **Iowa Department of Transportation**, 2003. Aggregate Proportioning Guide.
- [10] **TS EN 206-1**, Nisan 2002. Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- [11] **Dekelbab, W.**, 2002. Particle Packing Using Computational and Experimental Simulation, *Doctor of Philosophy*, Wayne State University Detroit Michigan, December 2002.
- [12] **Johansen, V., Andersen, P.J.**, 1991. Particle Packing and Concrete Properties, *Materials Science of Concrete II*, pp.111-146.

- [13] **Jones, M.R., Zheng, L., Newlands, M.D.**, 2002. Comparison of Particle Packing Models for Proportioning Concrete Constituents for Minimum Voids Ratio, *RILEM Technical Commitee*, Materials and Structures **Vol. 35**, June 2002, pp. 301-309.
- [14] **Fuller, W.B., Thompson, S.E.**, The Laws of Proportioning Concrete, *Trans.*, *ASCE* **59**, 1907, pp. 67-143.
- [15] **Suenson, E.**, 1911. Building Materials III: Stone, pottery, mortar, concrete, artificial stone, glass (in Danish).
- [16] **Powers, T.C.**, 1968. The Properties of Fresh Concrete, John Wiley & Sons, Inc.. New York.
- [17] **Bache, H.H.**, 1992. New Concrete - New Technology (in Danish), *Beton-Teknik*. 8/04/1992.
- [18] **Furnas, C.C.**, 1931. Grading The Aggregates I-Mathematical Relations for Beds of Broken Solids of Maximum Density, *Ind. Eng. Chem.* **23 (9)**, pp. 1052-58.
- [19] **Glavind, M., Jensen, I.B.**, 1996. Design of a Stable Air Void System in Concrete by Optimization of The Composition of The Aggregate, *Radical Concrete Technology*, Edited by R.K. Dhir and P.C., E & FN Spon, London, pp. 331-341.
- [20] **Glavind, M., Olsen, G.S., Munch-Petersen, C.**, 1993. Packing Calculations and Concrete Mix Design, Nordic Concrete Research, Publication no. 13, *The Nordic Concrete Federation* **2**, pp. 21-34.
- [21] **Dewar, J.D.**, 1999. Computer Modeling of Concrete Mixtures, E & FN Spon, London.
- [22] **de Larrard, F.**, 1999. Concrete Mixture Proportioning, E & FN Spon, London.
- [23] **Postacıoğlu, B.**, 1987. Beton – Cilt-2, Agregalar, Beton, Matbaa Teknisyenleri Basımevi , İstanbul.
- [24] **Doğan, Ü., A.**, 2000. Yeni Kuşak Süper Akışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25] http://www.yks-yapkim.com/MBTurkey/Products/Category_01
- [26] **Glavind, M., Olsen, G.S., Petersen, C.**, Packing Calculations, DK, Taastrup.
- [27] **4C – Packing**, Beton Merkezi, Danimarka Teknoloji Enstitüsü.

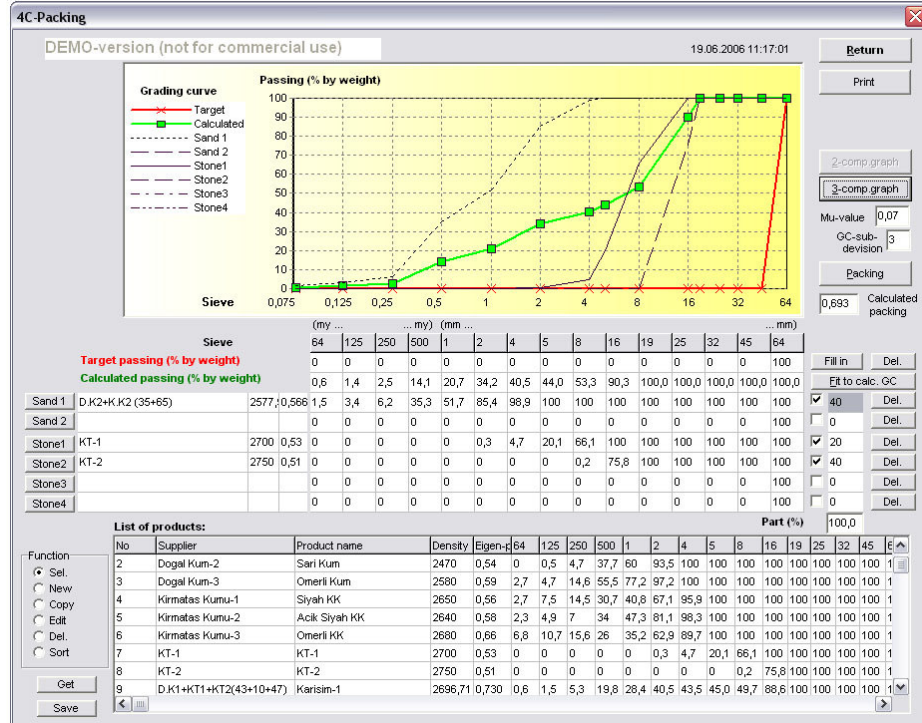
- [28] <http://www.danishtechnology.dk/building/2783>
- [29] **de Larrard, F., Sedran, T.**, 2002. Mixture-Proportioning of High-Performance Concrete, *Cement and Concrete Research* **32** (2002), pp.1699–1704.
- [30] **Ferraris, C.F., Fowler, D.W., Koehler, E.P.**, 2003. Summary of Concrete Workability Test Methods, *The University of Texas at Austin*, August 2003.
- [31] <http://rsb.info.nih.gov/ij/>
- [32] **Şimşek, O.**, 2004. Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [33] **TS 802**, Ocak 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- [34] **TS 706 EN 12620**, Nisan 2003. Beton Agregaları, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- [35] **TS EN 1097-6**, Mart 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- [36] **TS 3530 EN 933-1**, Nisan 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

EKLER

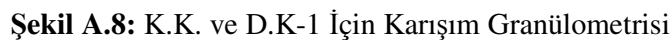


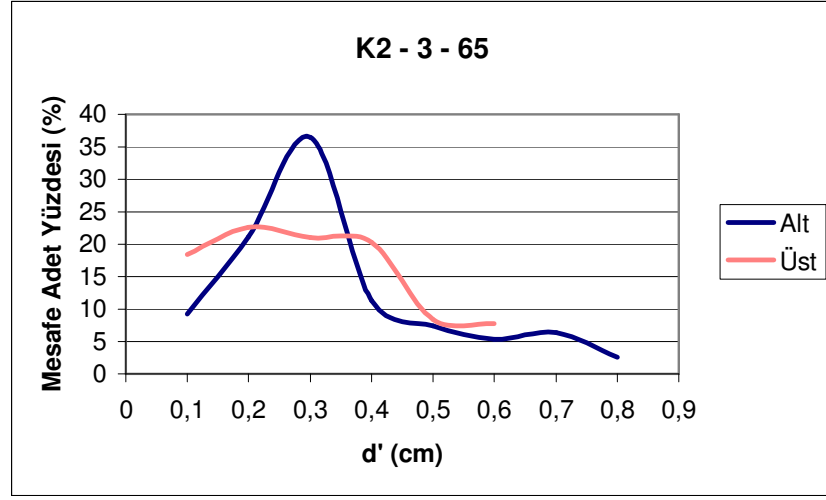


Şekil A.5: K-4 Kodlu Numunenin Üçgen Doluluk Haritası

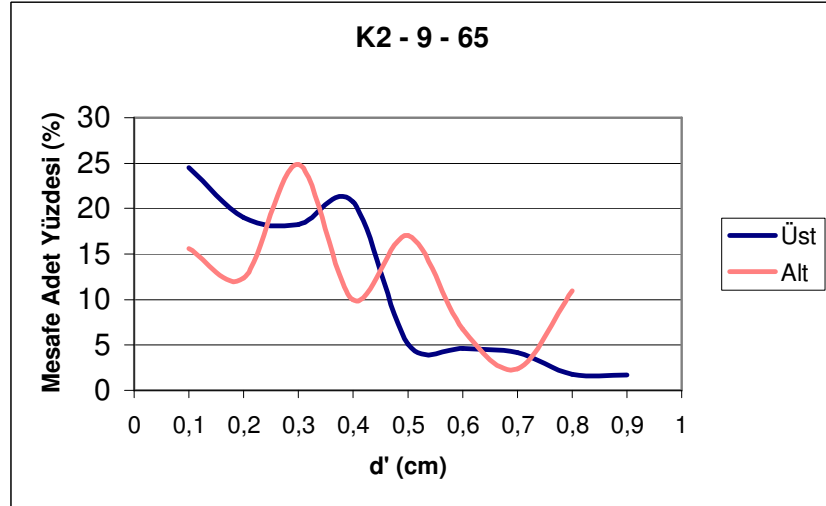


Şekil A.6: K-4 Kodlu Numunenin Karışım Granülometrisi

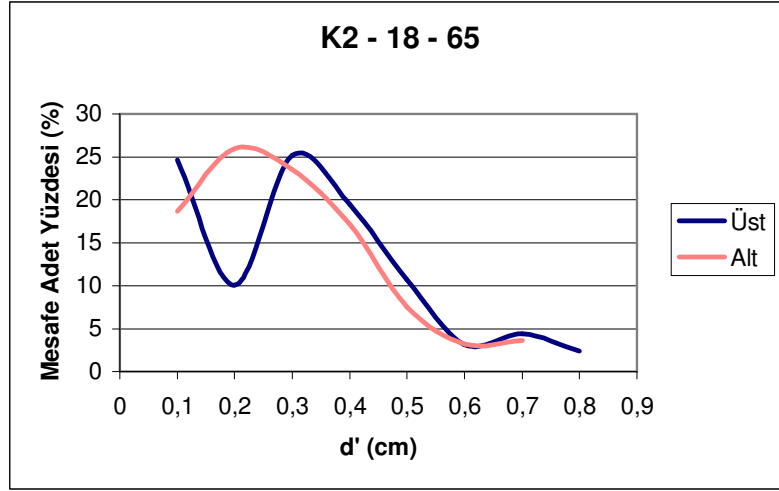




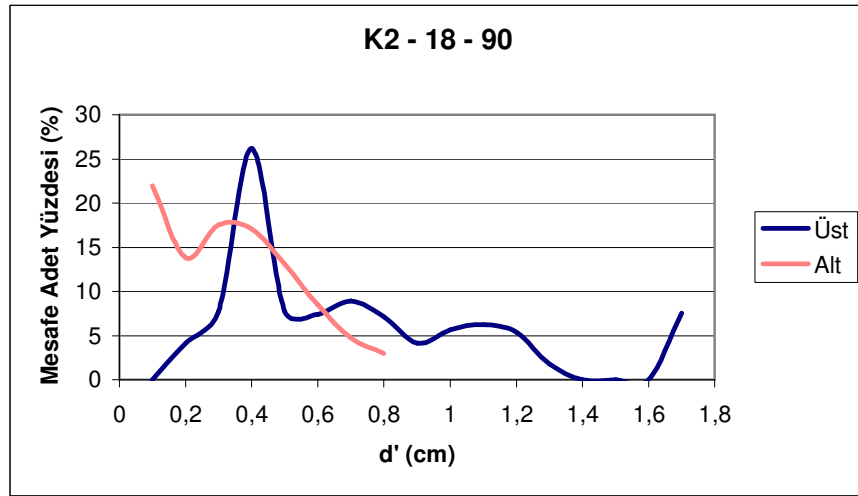
Şekil B.1: K2-3-65 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



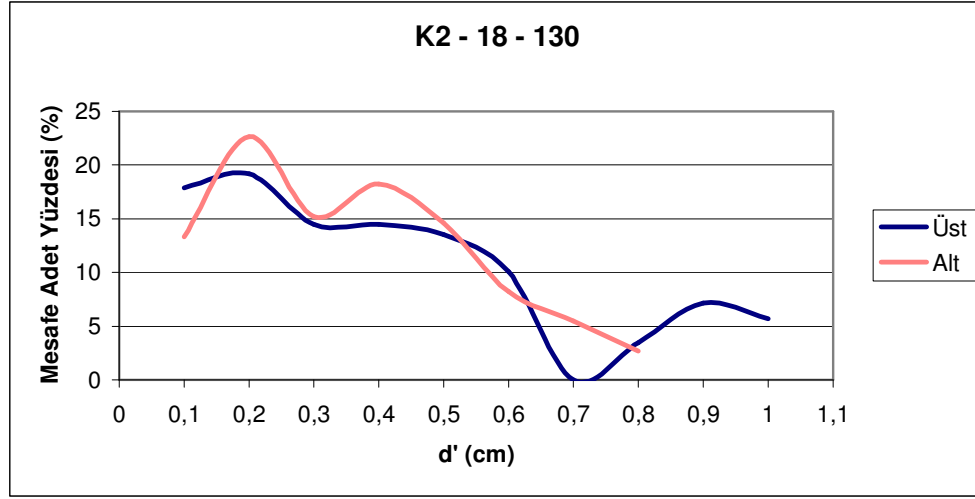
Şekil B.2: K2-9-65 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



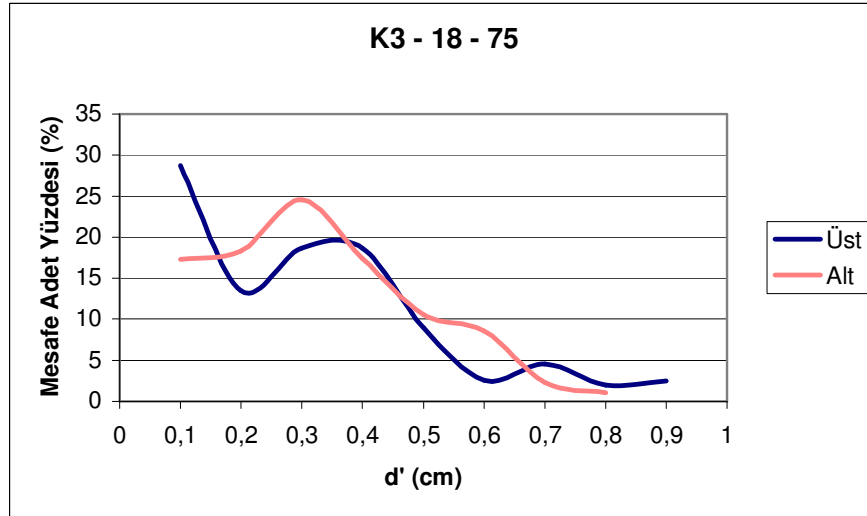
Şekil B.3: K2-18-65 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



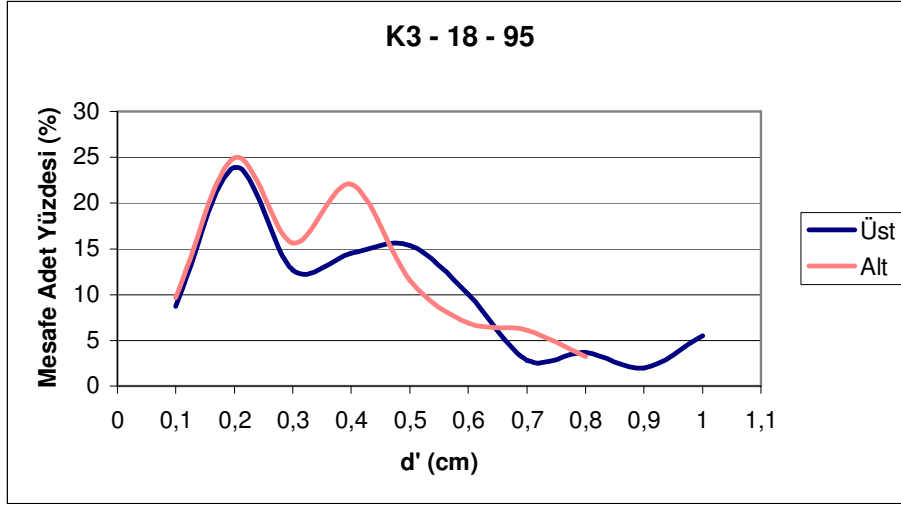
Şekil B.4: K2-18-90 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



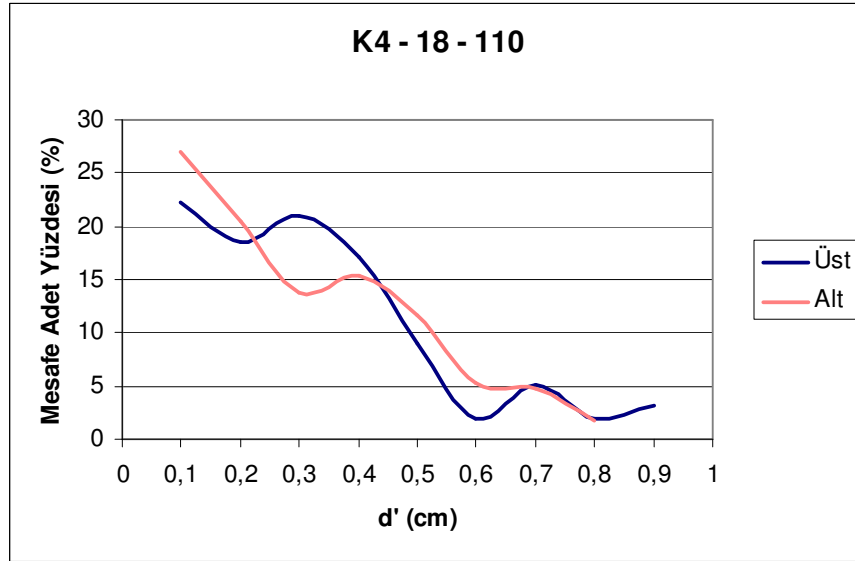
Şekil B.5: K2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



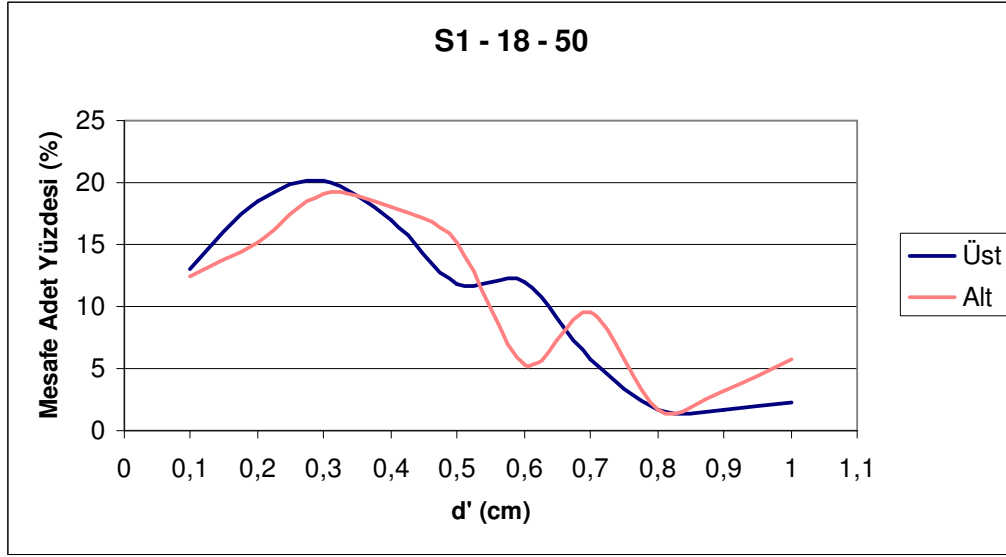
Şekil B.6: K3-18-75 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



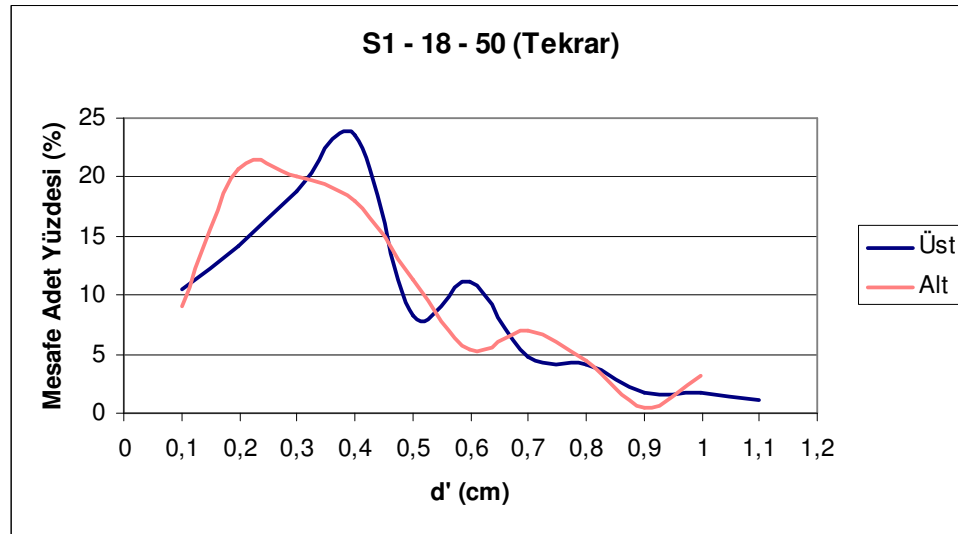
Şekil B.7: K3-18-95 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



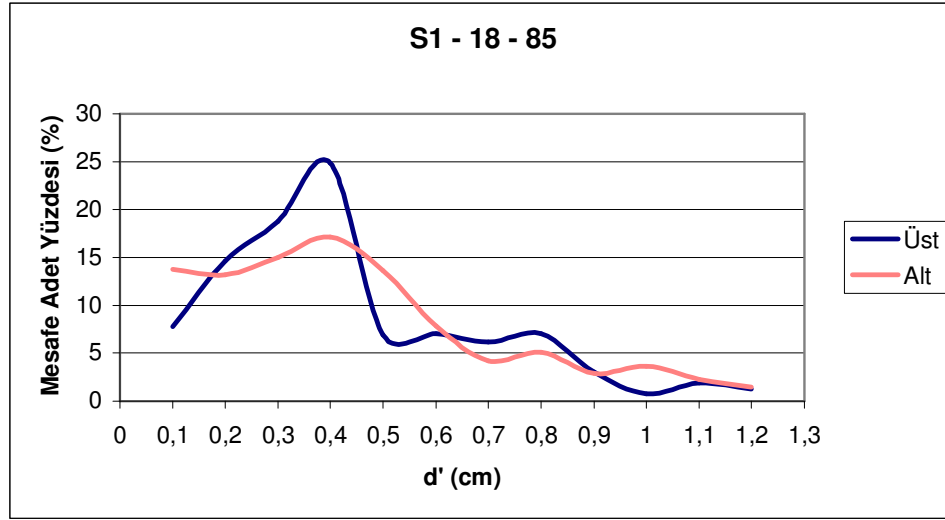
Şekil B.8: K4-18-110 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



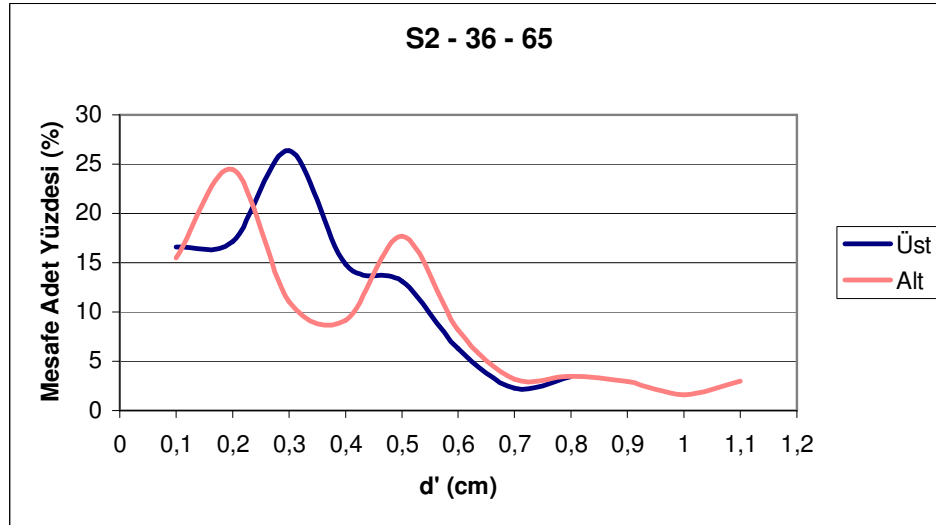
Şekil B.9: S1-18-50 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



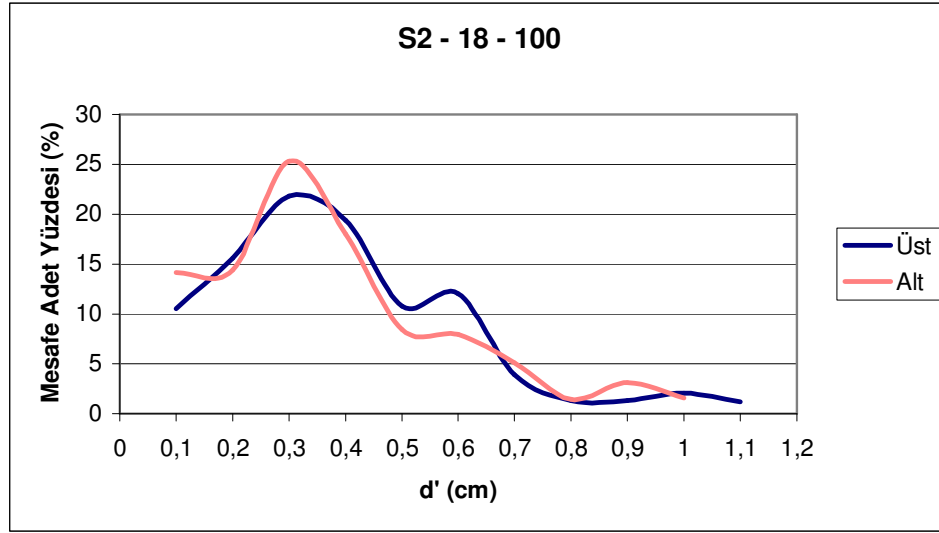
Şekil B.10: S1-18-50 (Tekrar) Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



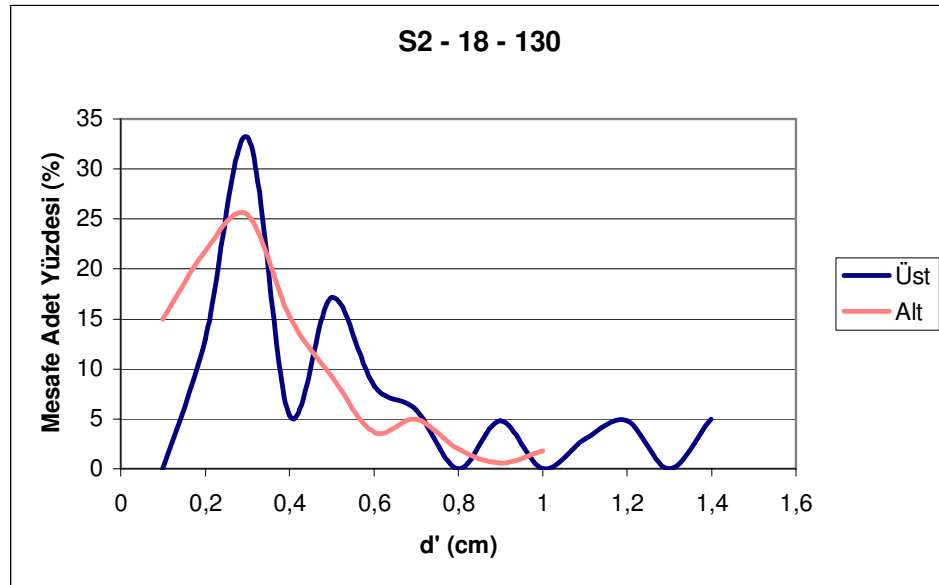
Şekil B.11: S1-18-85 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



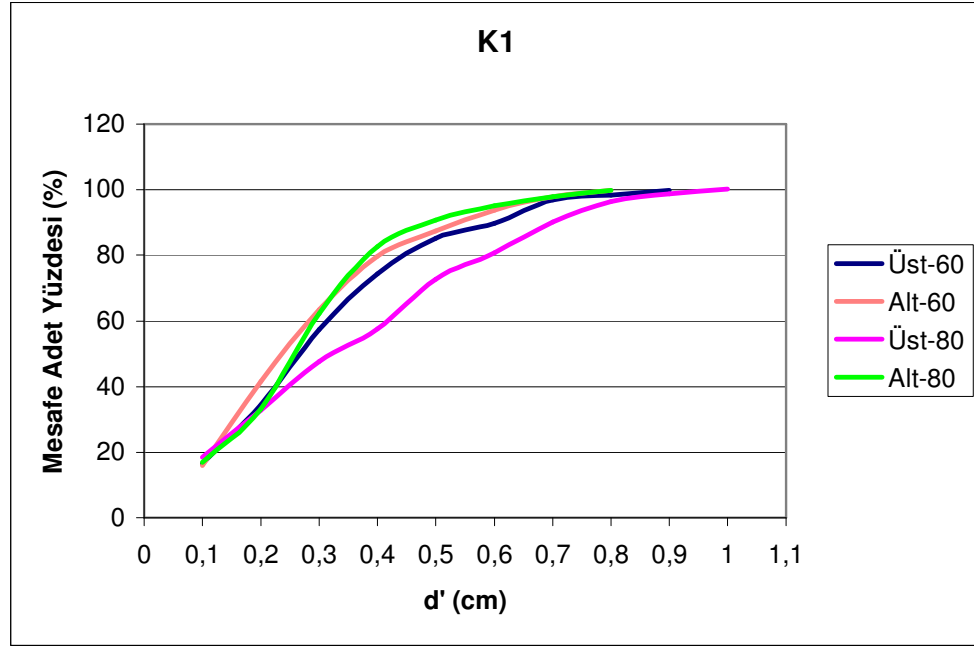
Şekil B.12: S2-36-65 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



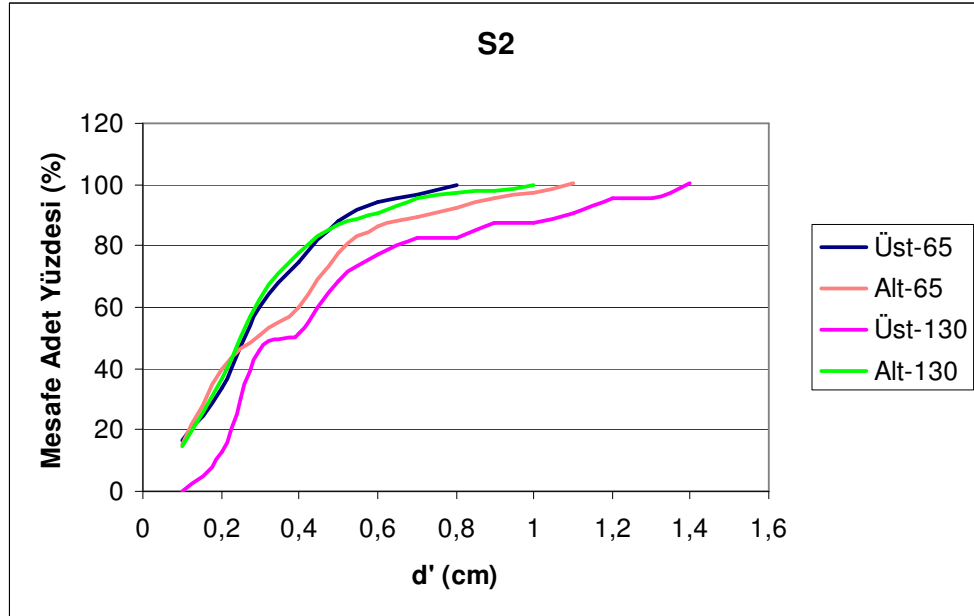
Şekil B.13: S2-18-100 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



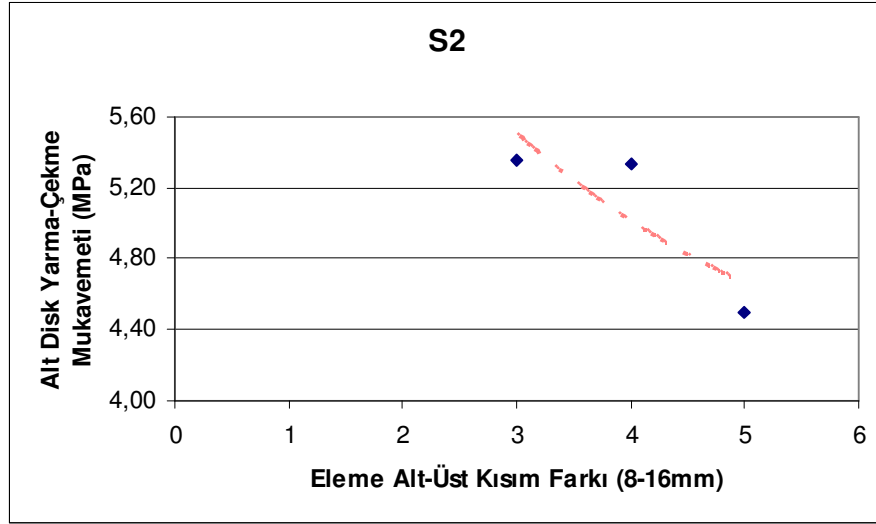
Şekil B.14: S2-18-130 Kodlu Numunenin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



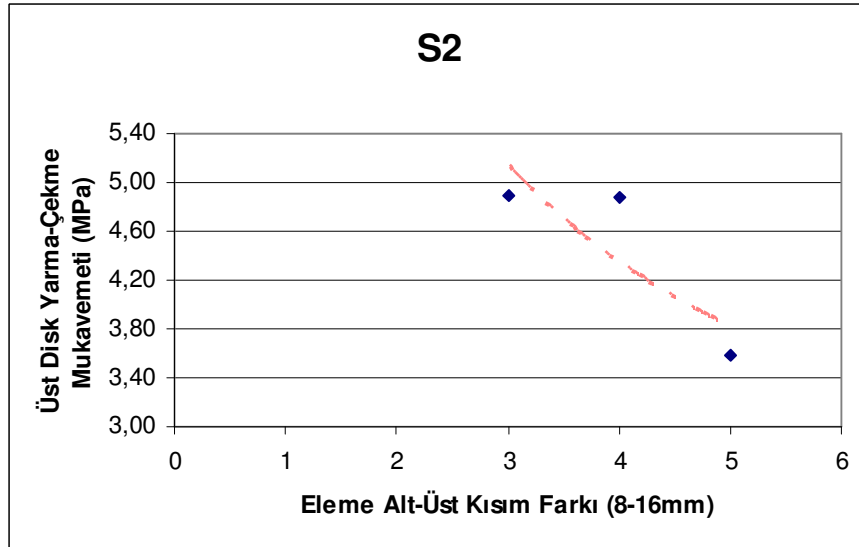
Şekil B.15: K1-18-60 ve K1-18-80 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Toplam Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



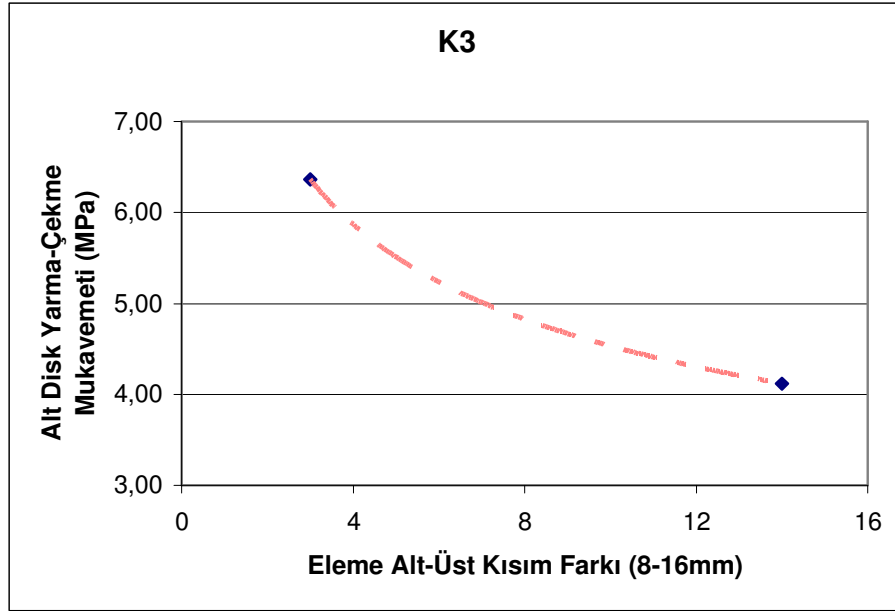
Şekil B.16: S2-36-65 ve S2-18-130 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Yüzeyi İçin Toplam Agregalar Arası Mesafe Adet Yüzdesi



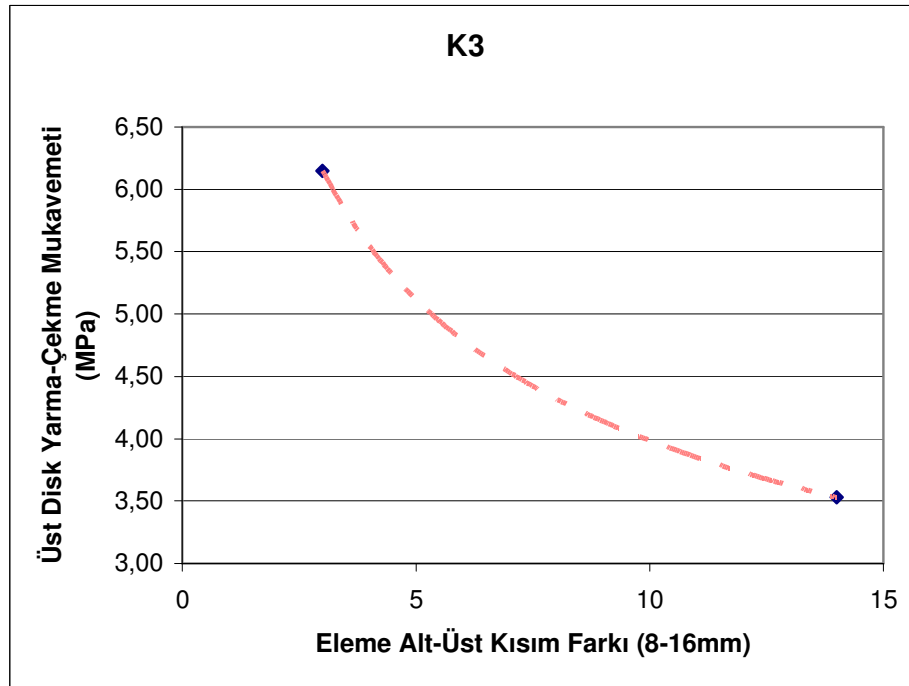
Şekil B.17: S2 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Alt Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki



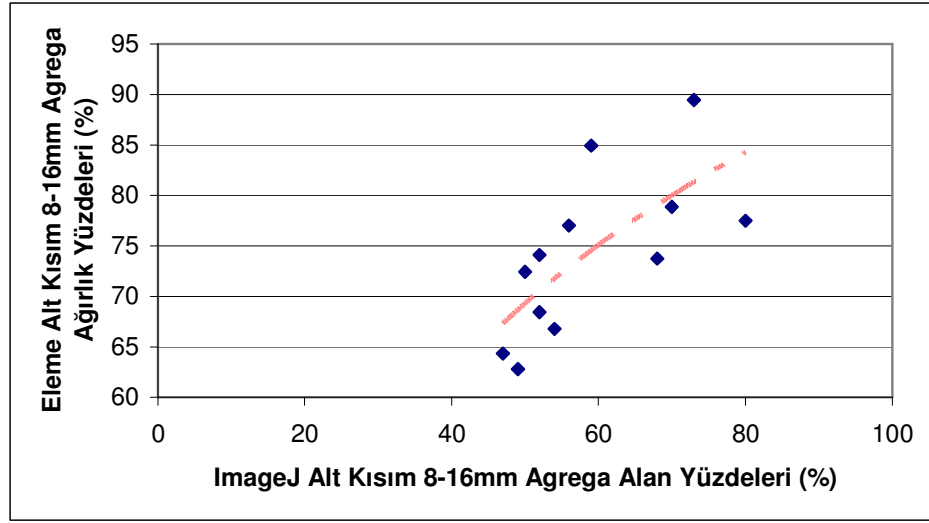
Şekil B.18: S2 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Üst Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki



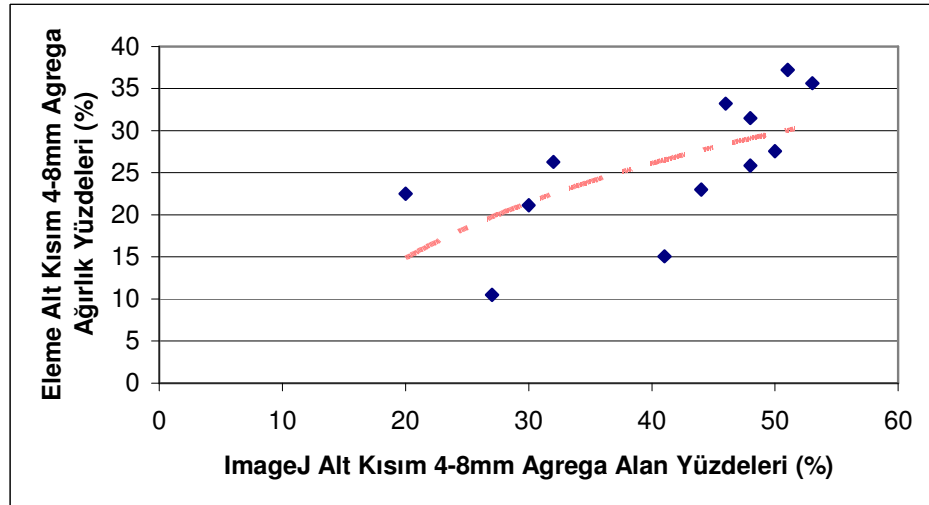
Şekil B.19: K3 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Alt Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki



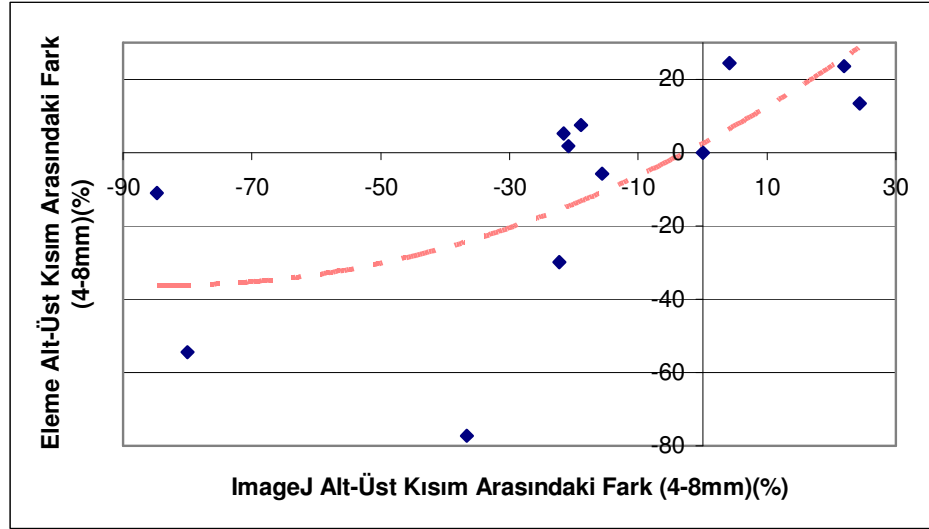
Şekil B.20: K3 Kodlu Numunelerin Alt ve Üst Kısım Eleme Farkı İle Üst Disk Yarma-Çekme Mukavemeti Arasındaki İlişki



Şekil B.21: Alt Kısım Agregat Alan Yüzde (%) ile Ağırlık Yüzde (%) (8-16mm) Arasındaki İlişki



Şekil B.22: Alt Kısım Agregat Alan Yüzde (%) ile Ağırlık Yüzde (%) (4-8mm) Arasındaki İlişki



Şekil B.23: ImageJ Alt-Üst Kısım Arasındaki Fark (4-8mm) İle Eleme Alt-Üst Kısım Arasındaki Fark (4-8mm) İlişkisi



Şekil C.1: Yarma-Çekme Deneyi Düzeneği



Şekil C.2: K2-18-65 Kodlu Numunenin Alt Diskinin Yarma-Çekme Deneyi Sonrası Görünüşü



Şekil C.3: K2-18-130 Kodlu Numunenin Alt Diskinin Yarma-Çekme Deneyi Sonrası Görünüşü

ÖZGEÇMİŞ

Seda Gülşahin, 1981 yılında Edirne’ de doğdu. Lise öğrenimini İstanbul’da İsmail Rüştü Olcay Lisesi’ nde tamamladı. 1998 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 1998–1999 öğretim yılında başladığı lisans öğrenimini 2002 yılında tamamladı. 2002–2003 yılında İ.T.Ü. Yabancı Diller Yüksek Okulu’nda İngilizce Hazırlık yeterliliğini tamamladıktan sonra, 2004 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilimdalı’ nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen bu bölümde Tez çalışmasına devam etmektedir.