

BETON BİLEŞENLERİNİN HESAP TABLOLARIYLA TAYİNİ

Hülya TEMİZER

**Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erdiñç ARICI
EYLÜL-2013**

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BETON BİLEŞENLERİNİN HESAP TABLOLARIYLA TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hülya TEMİZER

(111125110)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Eylül 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Eylül 2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdiñç ARICI (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ragıp İNCE (F.Ü)

Doç. Dr. Bahar DEMİREL (F.Ü)

TEMMUZ-2013

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasıyla kendi teziymiş gibi çok yakından ilgilenen ve her türlü bilgi, yardım ve desteğini esirgemeyen Yrd. Doç.Dr. Erdiñ ARICI hocama çok teşekkür ediyorum, minnettarım.

Bilgi ve tecrübelerini paylaşarak beni cesaretlendiren eşim Öğr. El. Uzm. İlker TEMİZER'e çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|---------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ | I |
| İÇİNDEKİLER..... | II |
| ÖZET | III |
| SUMMARY..... | IV |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | V |
| TABLolar LİSTESİ | VI |
| SEMBOLLER LİSTESİ..... | VII |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Betonda Kullanılan Malzemeler | 2 |
| 1.1.1 Çimentolar | 2 |
| 1.1.2 Agregalar..... | 5 |
| 1.1.2.1 İncelik modülü..... | 6 |
| 1.1.2.2 Granülometri | 7 |
| 1.1.3 Beton Karışım ve Temas Suyu | 8 |
| 1.1.4 Hava | 8 |
| 1.1.5 Beton Katkı Maddeleri..... | 8 |
| 1.1.5.1 Kimyasal Katkıları | 8 |
| 1.1.5.2 Mineral katkıları..... | 9 |
| 1.2 Taze Beton Özellikleri | 10 |
| 1.2.1. İşlenebilme | 10 |
| 1.2.2 Kıvam | 11 |
| 1.3 Sertleşmiş Beton Özellikleri..... | 11 |
| 1.3.1 Su emme..... | 12 |
| 1.3.3. Büzülme (rötre)..... | 12 |
| 1.3.4 Sünme..... | 12 |
| 1.3.5 Dayanım..... | 12 |
| 1.3.6 Durabilite..... | 13 |
| 2. BETON KARIŞIM HESAP ESASLARI..... | 13 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. TSE 802 (1985)..... | 13 |
| 2.1.1. En Büyük Agrega Tane Büyüklüğünün Seçilmesi..... | 13 |
| 2.1.2. Tane Dağılımının Seçilmesi..... | 14 |
| 2.1.3. Su Çimento Oranının (W/C) Seçilmesi..... | 17 |
| 2.1.4. Su Miktarının (W) Seçilmesi..... | 20 |
| 2.1.5. Hava Miktarının Seçilmesi..... | 20 |
| 2.1.6. Kıvamın Seçilmesi..... | 20 |
| 2.2. TSE 802 2009 | 26 |
| 2.2.1. Agrega En Büyük Tane Büyüklüğünün Seçilmesi..... | 26 |
| 2.2.2. Tane büyüklüğü dağılımı (granülometri) seçimi..... | 27 |
| 2.2.3. Pompa ile iletilen beton..... | 30 |
| 2.2.4. Pompa ile iletilen betonda karışık (tüvenan) veya farklı agrega sınıflarının..... | 32 |
| belirli oranlarda birleşmesi ile oluşturulan agrega tane dağılım eğrilerine ait sınırlar | |
| 2.2.5. Agreganın tane sınıflarına ayrılması..... | 33 |
| 2.2.6. Su/çimento oranının (s/ç) seçilmesi..... | 36 |
| 2.2.7. Su miktarının (s) seçilmesi..... | 38 |
| 2.2.8. Hava miktarının seçilmesi..... | 41 |
| 2.2.9. Kıvamın seçilmesi..... | 42 |
| 2.2.10. Deney karışımlarının ayarlanması..... | 48 |
| 2.3. ACI 211-1..... | 51 |
| 2.3.1. Beton İçeriği..... | 52 |
| 2.3.2. Temel bağıntı..... | 53 |
| 2.3.3. Kimyasal karışımların, puzolanların ve diğer malzemelerin beton oranları..... | 54 |
| üzerine etkileri | |
| 2.3.4. Ön bilgiler..... | 57 |
| 2.3.5. Prosedür | 58 |
| 2.3.6. Örnek Hesaplamalar..... | 69 |
| 2.3.7. Bölüm 8 | 77 |
| 2.3.7.1. Metrik Sistem Adaptasyonu..... | 77 |
| 2.3.7.2. Dönüşüm Faktörü..... | 77 |
| 2.3.7.3. Metrik(SI) Sistemde Örnek Problemler..... | 83 |
| 2.3.7.4. LABORATUVAR TESTLERİ..... | 88 |

| | |
|---------------------------------------------|------------|
| 2.3.7.5. AĞIR BETONLU KARIŞIM ORANLARI..... | 95 |
| 2.3.7.6. KÜTLE BETON KARIŞIM ORANLARI..... | 96 |
| 3.MATERYAL METOD..... | 113 |
| 4.SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 122 |
| KAYNAKLAR..... | 123 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 125 |

ÖZET

Beton çok yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Beton için uygun karışım oranlarının seçilmesi; ekonomi, işlenebilme, mukavemet, dayanıklılık ve görünüş gibi özelliklerin dengeli elde edilmesini sağlar. Bu etkenler kullanıldığı yere göre değişiklik gösterir. Agreganın durumun ve çimento cinsine göre pek çok karışım oranı hesaplanabilir. Karışım suyunun çimento miktarına oranı, betonun mukavemetine tesir eden en önemli bir etkidir. Diğer önemli bir etken de beton içindeki hava miktarıdır. Bunlar Türk ve Amerikan Standartlarında değişik oranlarda kullanılması ile beton karışım hesaplamaları yapılmaktadır. Bu çalışmada, daha kolay karışım hesabı yapmak ve daha kolay deney hesabı yapmak için, TS-802 ve ACI 211-1 esas alınarak beton karışım tasarımı yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

SUMMARY

Concrete is widely used for making architectural structures. Selecting of the suitable mix proportions for concrete; helps ensure stable features such as economy, workability, strength, durability and appearance. These factor changes as regards phase of use. Mixing ratio can be calculated according to aggregate state and the type of cement. The proportions cement of mixture water that is an important factor influences the strength of the concrete. Another important factor is the amount of air in the concrete. They are used in different proportions Turkish and American standards and calculations of concrete mixture are created. In this study, the program was developed to make mixture design easily and without experiment . This program find out first trial mixture properties according to TS-802 and ACI 211-1.

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1 En büyük tane boyutu 8 mm olan agrega numunelerinin Türk standardına göre gradasyonu sınır değerleri (TS 706, 1980) | 15 |
| Şekil 1.2 En büyük tane boyutu 16 mm olan agrega numunelerinin Türk standardına göre gradasyonu sınır değerleri (TS 706,1980) | 15 |
| Şekil 1.3 En büyük tane boyutu 32 mm olan agrega numunelerinin Türk standardına göre gradasyonu sınır değerleri (TS 706,1980) | 16 |
| Şekil 1.4 En büyük tane boyutu 63 mm olan agrega numunelerinin Türk standardına göre gradasyonu sınır değerleri (TS 706, 1980) | 16 |
| Şekil 1.5. Agrega en büyük tane boyutu (Dmaks) 8 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri | 28 |
| Şekil 1.6. Agrega en büyük tane boyutu (Dmaks) 16 mm olan betonlar için belirlenen gradasyon eğrileri | 29 |
| Şekil 1.7. Agrega en büyük tane boyutu (Dmaks) 32 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri | 29 |
| Şekil 1.8. Agrega en büyük tane boyutu (Dmaks) 64 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri | 30 |
| Şekil 1.9. Pompa ile iletilen betonda kullanılması önerilen ince agregaya ait tane büyüklüğü dağılım eğrisi | 31 |
| Şekil 1.10. En büyük agrega tane boyutu 31,5 mm olan ve pompa ile iletmeye uygun betonda kullanılması önerilen tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar | 33 |
| Şekil 1.11. En büyük agrega tane boyutu 22,4 mm olan pompa ile iletmeye uygun betonda kullanılması önerilen tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar | 33 |
| Şekil 1.12. Tablo 1.17’de verilen s/ç oranı ile basın dayanımı arasındaki yaklaşık ilişkinin grafiksel olarak değerlendirilmesi | 38 |
| Şekil 1.13. Doğal şekillenmiş agregalar ile farklı en büyük tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı | 39 |
| Şekil 1.14. Doğal şekillenmiş agregalar ile farklı en büyük tane büyüklüğü | 39 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı | |
| Şekil 1.15. Kırmataş agregalar ile farklı en büyük tane büyüklüğü ve farklı Beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı | 40 |
| Şekil 1.16. Kırmataş agregalar ile farklı en büyük tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı | 40 |
| Şekil 1.17. Agregaların en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesaplarında kullanılacak uygun hava içerikleri | 42 |
| Şekil 1.18. Örnekte kullanılan agreganın Şekil 1.10’ da verilen pompa ile iletilen betonda kullanılmaya uygun tane dağılım eğrisi | 51 |

TABLULAR LİSTESİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Tablo 1.1 Çeşitli çimentoları kapsayan Türk standartları | 4 |
| Tablo 1.2 Çeşitli yapı elemanı büyüklükleri için uygun en büyük agregatane büyüklükleri | 14 |
| Tablo 1.3. Beton agregasının tane sınıflarına ayrılması | 17 |
| Tablo 1.4. Beton sınıflarına göre karışım hesabına esas alınacak hedef basınç dayanımları (f_{cm}) ile deney numunelerinin sahip olması gereken basınç dayanımları | 18 |
| Tablo 1.5. Müsade edilen en büyük su-çimento oranı | 19 |
| Tablo 1.6. 28 Günlük beton basınç dayanımlarına göre su/çimento oranları (W/C) | 20 |
| Tablo 1.7. Karışım suyu miktarı | 21 |
| Tablo 1.8. Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme değerleri | 21 |
| Tablo 1.9. Hesaplanan agrega değerleri | 24 |
| Tablo 1.10. $1m^3$ dökülmüş ve sıkıştırılmış beton için hesaplanan malzeme miktarı | 24 |
| Tablo 1.11. $1m^3$ dökülmüş ve sıkıştırılmış beton için hesaplanan nihai malzeme miktarı | 25 |
| Tablo 2.1. Çeşitli yapı elemanları için boyutlara bağlı olarak kullanılacak agregaten büyük tane büyüklükleri | 27 |
| Tablo 2.2. Pompa ile iletilen betonda kullanılacak ince agrega için önerilen tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar | 31 |
| Tablo 2.3. Pompa ile iletilen beton için kullanılması önerilen ve en büyük tane boyutları 31,5 mm ve 22,4 mm olan agrega karışımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı sınırları | 32 |
| Tablo 24. Beton agregasının tane sınıflarına ayrılması | 35 |
| Tablo 2.5. Beton sınıflarına göre karışım hesabında esas alınacak hedef basınç dayanımları (f_{cm}) ile deney numunelerinin sahip olması gereken ortalama basınç dayanımları | 36 |
| Tablo 2.6. 28 günlük beton basınç dayanımlarına göre yaklaşık s/ç oranları | 37 |
| Tablo 2.7. Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme (çökme) değerleri | 43 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 2.8. Şekil 1.18’de tespit edilen agrega karışım oranları ile tespit edilen 1 m ³ beton için DKY ve rutubet düzeltmesi yapılmış agrega miktarları | 47 |
| Tablo 2.9. 25 dm ³ Deneme karışımı için hesaplanan miktarlar | 48 |
| Tablo 2.10. 1m ³ beton için malzemelerin yeni miktarı | 49 |
| Tablo 2.11. 1m ³ beton için DKY miktarlar, rutubet düzeltmesi yapılmış ve 40 dm ³ düzeltilmiş numune alma için beton karışım miktarları | 50 |
| Tablo 2.12. Beton birleşimi için titreşim kullanılan uygulamaların çökme oranları | 59 |
| Tablo 2.13. Farklı çöküş ve agrega nominal maksimum boyutları için yaklaşık karışım suyu ve hava içeriği gereksinimleri | 59 |
| Tablo 2.14. Su/çimento veya su-çimento malzeme oranı ve beton basınç dayanımı arasındaki ilişki | 61 |
| Tablo 2.15. İzin verilen maksimum su-çimento veya su-çimento malzemeleri oranları | 62 |
| Tablo 2.16. Birim hacim başına düşen iri agrega hacmi | 66 |
| Tablo 2.17. Taze betonun ilk ağırlık tahminleri | 67 |
| Tablo 2.18. Dönüştürme faktörleri | 77 |
| Tablo2.19. Yapı Türleri İçin Çökme Değerleri | 78 |
| Tablo 2.20. Farklı çökme ve nominal maksimum agrega için gerekli karışım suyu ve hava içerik şartları | 80 |
| Tablo2.21. Su-çimento oranı ve beton basınç mukavemet arasındaki ilişkiler | 81 |
| Tablo2.22. Farklı şartlarda izin verilen maksimum su/çimento oranı | 81 |
| Tablo2.23. Betonun birim hacmi başına düşen iri agrega hacmi | 82 |
| Tablo2.24. Taze betonun ilk kütle tahmini | 82 |
| Tablo 2.25. Malzeme özelliklerine bağlı olarak oluşturulan beton için tipik test programı | 90 |
| Tablo 2.26. Küçük işler için beton karışımları | 92 |
| Tablo 2.27. Tipik ağır agrega | 93 |
| Tablo 2.28. Puzolan ve diğer malzemelerin tipik miktarları | 98 |
| Tablo 2.29. Yapı türleri için önerilen nominal maksimum boyuttaki agregalar | 99 |
| Tablo 2.30. İri agrega gradasyon sınırları | 99 |
| Tablo 2.31. 6in.(150mm) ve 3in. (75mm) nominal maksimum boyuttaki agrega için ideal değerlendirmeler E.Q (A5.3) | 100 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 2.32. İri agreganın yaklaşık içeriği veya ince agreganın üretimi | 101 |
| Tablo 2.33. Çeşitli nominal maksimum boyuttaki agregaların yaklaşık hava ve harç içeriği | 101 |
| Tablo 2.34. Hava sürüklenmiş betonların yaklaşık basınç dayanımı için su/çimento oranı | 102 |
| Tablo 2.35. Pasif bölümler için izin verilen en büyük su-çimento oranı | 102 |
| Tablo 2.36. Deneme karışımlarında beton oranlamaları için önerilen malzeme miktarları | 103 |
| Tablo 2.37. Elekten geçen bireysel yüzde | 108 |
| Tablo 2.38. 6 in nominal maksimum boyutlu öğütülmüş materyal için yüzdeler | 109 |
| Tablo 2.39. Betonun mutlak hacmi, hacim başına düşen birim ağırlığa dönüştürülür | 111 |
| Tablo 2.40. Deneme harmanı: Yukarıdaki bilgilerden mutlak hacim ve m ³ başına düşen ağırlık | 111 |
| Tablo 3.1. Genel değer giriş tablosu | 113 |
| Tablo 3.2. Özel agrega granülometrisi | 114 |
| Tablo 3.3. Yapı tipi ve iklim şartları | 115 |
| Tablo 3.4. Agrega özellikleri | 115 |
| Tablo 3.5. Kıvam tayini | 115 |
| Tablo 3.6. Numune veri girdisi | 116 |
| Tablo 3.7 1m ³ malzeme miktarları | 117 |
| Tablo 3.8. 1m ³ malzeme miktarları | 118 |
| Tablo. 3.9. Gerekli malzeme miktarları | 119 |
| Tablo 3.10. Düzenlenmiş miktarlar | 119 |
| Tablo 3.11. Oluşturulan numune deneme karışım malzeme miktarları | 120 |
| Tablo 3.12. Numune düzenlenmiş malzeme miktarları | 121 |

SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|------------------------------------|----------------------------------------------|
| CaO | : Kalsiyumoksit |
| SiO₂ | : Silisyumoksit |
| Al₂O₃ | : AlimünyumOksit |
| Fe₂O₃ | : Demiroksit |
| MgO | : Magnezyumoksit |
| lb | : Libre |
| ft³ | : Fitküp |
| yd³ | : Yardaküp |
| W/C | : Su – çimento oranı |
| Mpa | : Megapascal |
| TS | : Türk Standartları |
| PÇ | : Portland Çimento |
| ACI | : Amerikan Beton Enstitüsü |
| σ | : Sigma |
| CEM | : Çimento Türü |
| DKY | : Doygun Kuru Yüzey |
| ρ | : Yoğunluk |
| F | : Fahrenheit |
| ASTM | : American Society for Testing and Materials |

1.GİRİŞ

Beton, çimento, beton agregası, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılması ile elde edilen başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşp sertleşen bir yapı malzemesidir. Beton çağdaş toplumlarda yapı teknolojisinin temelini oluşturan malzemelerin başında gelir. Çevremize bakıldığında, binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, havaalanları, kent mobilyaları v.b. betondan yapıldığı görülür. Betonun bu derece yaygın kullanılan bir yapı malzemesi olmasının en önemli nedenleri; kolay şekil verilebilmesi, ekonomik olması, dayanıklı olması ve daha az enerji ile üretilebilmesidir [1].

Betonun özellikleri, karışımda kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin karışım içerisindeki oranları ile direkt ilgilidir. Beton karışım hesabı yapılırken, betonun döküleceği elemanın boyutları, elemanın maruz kalacağı sülfat ve klorür gibi zararlı kimyasal etkiler ile elemanın sahip olması gereken geçirgenlik, dayanım, yoğunluk, işlenebilme, hacim sabitliği, görünüm ve diğer özellikleri göz önünde bulunur. Karışım hesaplamalarına esas olarak alınan ve beton özelliklerini çok etkileyen tane dağılımı, s/ç oranı ve su miktarı için standartlarda verilen sınır değerler, çok sayıdaki deney sonuçlarından elde edilen sonuçlardır. Fakat bu değerler kesin değerler değildir. Bu nedenle karışım hesabı sonucu elde edilen agrega, su, çimento, hava ve katkı maddesi miktarları kullanılarak hazırlanacak beton numuneleri bazı deneylere tabi tutulur. Elde edilen sonucun hesaba esas teşkil eden özelliklere sahip olup olmadığı bu şekilde tespit edilir [2].

1.1 Betonda Kullanılan Malzemeler

1.1.1 Çimentolar

Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket vs) yapıştırma için kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne "klinker" denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (%4-5) oranında, çok ince toz halinde öğütülerek Portland Çimentosu elde edilir. Çimentolar içinde en yaygın olarak bilinen çimento türü Portland çimentodur [3].

Portland çimentosu olarak elde edilen ürün genellikle gri renktedir. Bu gri renk, çimento üretiminde kullanılan hammaddelerde çok küçük miktarda yer alan demir oksitten kaynaklanmaktadır. Pişirilmek üzere seçilen hammadde demir oksit ve mangan oksit bulunmadığı takdirde, üretilen Portland çimentosunun rengi beyaz veya beyaza yakın renkte olmaktadır. Portland çimentosu toz gibi ince tanelidir; tanelerin boyutları 1-200 µm arasında değişmektedir.

Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10-3.15 gr/cm³ kadardır. Torbalanmış durumdaki çimentonun birim ağırlığı 1.5 kg/m³ civarındadır. Çimento ve suyun birleştirildiği andan itibaren bu iki malzeme arasında "hidratasyon" olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve devam etmektedir. Önceleri, yumuşak plastik durumunda olan çimento hamuru, zaman ilerledikçe daha az plastik duruma gelmekte ve katılaşır, sertleşmektedir. Çimento hamurunun katılaşma göstererek şekil verilemez bir duruma gelmesine "priz alma" denilmektedir [4].

Çimentonun sertleşmesi görünüşte fiziksel bir olay olsa da betonda meydana gelen kimyasal reaksiyona hidratasyon denir. Çimentoyu oluşturan bileşik maddelerin her birinin su ile kimyasal olarak reaksiyona girmesine hidratasyon olayı, bu olay sonucu açığa çıkan ısı toplamına da "Hidratasyon ısı" adı verilir. Beton dökümlerinde ısı yükseldikçe iç sıcaklık artar. Baraj vs. gibi kütle betonu dökümlerinde, dökümden sonra ilerleyen zaman içinde soğuma ile birlikte betonda hacim küçülmesi olur. Ayrıca yüksek ısı ile hava kabarcıkları çıkar. Termik rötre ismi verilen bu olaylar çatlamalara neden olur. Hidratasyon ısı çimentonun kimyasal yapısı kadar inceliğine su/çimento

oranına da bağılıdır. C3A, C3S oranı yüksek portland çimentolarında hidrasyon ısısı da yüksektir [5].

Çimentolar, CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve az miktardaki MgO içeren uygun hammaddelerin, (~ 1400 °C) kadar yakıldıktan ve uygun bir soğutma işleminden sonra elde edilen klinkerlerin alçı ve gereğinde yapay (uçucu kül, Curuf) ya da doğal puzolan maddelerle beraber belirli inceliğe kadar öğütülmesiyle meydana gelen hidrolik bağlayıcıdır. Puzolanik malzemeler ise doğal ve yapay olmak üzere iki ana sınıfta ele alınmaktadır.

Yapay puzolanlar; bunlar endüstriyel yan ürünlerdir. Uçucu küller, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu, yapay puzolanlardır.

Doğal puzolanlar; doğada bulunan volkanik küller, volkanik tüfler, volkanik camlar, ısıtma işlem görmüş killer ve şeyler ve diatomlar bu grup içerisindeki puzolanlardır [6,7].

Çimento aslında alçı katılmamış hali ile klinker, çeşitli minerallerin oluşturduğu kompleks bir bileşiktir. Hammadde gibi CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve MgO 'in homojen bir karışımı değildir. Bu oksitler arasında kimyasal birleşmeler olur ve çimentonun esasını teşkil eden bileşik maddeler meydana gelir. Soğutma işlemi sırasında ise bu bileşik maddeler soğutma işleminin şekil ve süresine bağlı olarak değişik biçimde kristalleşirler [8].

Tablo 1.1 Çeşitli çimentoları kapsayan Türk standartları [9].

| İptal Edilen Türk Standardı | İptal Edilen Türk Standardına Göre İşaretleme | Çimento | TS EN 197-1 İşaretleme | Klinker İçeriği, % |
|-----------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------|
| TS 19 | PÇ | Portland Çimento | CEM I | % 95-100 Klinker |
| TS 12139 | PCCÇ | Portland-Cürüflü Çimento | CEM II/A-S | % 80-94 Klinker + % 6-20 Cüruf |
| | | | CEM II/B-S | % 65-79 Klinker + % 21-35 Cüruf |
| TS 12141 | PSFÇ | Portland-Silis Dumanlı Çimento | CEM II/A-D | % 90-94 Klinker+; % 6-10 S.Dumanı |
| TS 10156 TS 26 | KÇ - TÇ | Portland-Puzolanlı Çimento | CEM II/A-P | % 80-94 Klinker + % 6-20 D.Puzolan |
| | | | CEM II/B-P | % 65-79 Klinker + % 21-35 D.Puzolan |
| | | | CEM II/A-Q | % 80-94 Klinker + % 6-20 DK.Puzolan |
| | | | CEM II/B-Q | % 65-79 Klinker + % 21-35 DK.Puzolan |
| TS 640 | UKÇ | Portland-Uçucu Küllü Çimento | CEM II/A-V | % 80-94 Klinker + % 6-20 SU.Kül |
| | | | CEM II/B-V | % 65-79 Klinker + % 21-35 SU.Kül |
| | | | CEM II/A-W | % 80-94 Klinker + % 6-20 KU.Kül |
| | | | CEM II/B-W | % 65-79 Klinker + % 21-35 KU.Kül |
| TS 10156 | KÇ | Portland-Pişmiş Şistli Çimento | CEM II/A-T | % 80-94 Klinker + % 6-20 P.Şist |
| | | | CEM II/B-T | % 65-79 Klinker + % 21-35 P.Şist |
| TS 12140 | PLÇ | Portland-Kalkerli Çimento | CEM II/A-L | % 80-94 Klinker + % 6-20 L.Kalker |
| | | | CEM II/B-L | % 65-79 Klinker + % 21-35 L.Kalker |
| | | | CEM II/A-LL | % 80-94 Klinker + % 6-20 LL.Kalker |
| | | | CEM II/B-LL | % 65-79 Klinker + % 21-35 LL.Kalker |
| TS 12143 | PKÇ | Portland-Kompoze Çimento | CEM II/A-M | % 80-94 Klinker + % 6-20 Katkılar |
| | | | CEM II/B-M | % 65-79 Klinker + % 21-35 Katkılar |
| TS 20 | CÇ | Yüksek Fırın Cürüflü Çimento | CEM III/A | % 35-64 Klinker + % 36-65 Cüruf |
| | | | CEM III/B | % 20-34 Klinker + % 66-80 Cüruf |
| | | | CEM III/C | % 5-19 Klinker + % 81-95 Cüruf |
| TS 12144 | PZÇ | Puzolanik Çimento | CEM IV/A | % 65-89 Klinker + % 11-35 S.Dumanı, Puzolan,U.Kül |
| | | | CEM IV/B | % 45-64 Klinker + % 36-55 S.Dumanı, Puzolan,U.Kül |
| TS 12142 | KZÇ | Kompoze Çimento | CEM V/A | % 40-64 Klinker + % 18-30 Cüruf + % 18-30 Puzolan,SU.Kül |
| | | | CEM V/B | % 20-28 Klinker + % 31-50 Cüruf + % 31-50 Puzolan,SU.Kül |

1.1.2 Agregalar

Agregalar beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin % 60-% 85'ini oluşturan agreganın özellikleri betonun dayanımını ve dayanıklılığını etkilemektedir[10].

Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen organik olmayan, kum, çakıl, kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli bir malzemedir.

Mineral kökenli, 100 mm ye kadar çeşitli boyutlarda tanelerden oluşan kum, çakıl veya kırmataş gibi malzemelere agregaya denir. Agregalar elde edilmiş şekline bağlı olarak iki grupta toplanabilir.

a) Doğal agregaya: Nehirlerden, denizlerden, çöllerden, göllerden ve taş ocaklardan elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır.

b) Yapay Agregaya: Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır.

Agregalar tane boyutlarına göre aşağıda gösterildiği gibi sınıflandırılırlar.

1) İnce agregalar: 4 mm açıklıklı kare delikli elekten geçen agregadır.

2) İri agregalar: 4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

- Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.
- Kırma Taş: Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.
- Yapay Taş: Sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış iri agregadır.

Agrega numunesindeki tanelerin değişik boyutlarda olması, sabit bir hacim içerisinde yer alan agregaya taneleri arasında daha az boşluk bulunmasına yol açmaktadır. Taze betonun işlenebilme özelliği agregaya granülometresi tarafından doğrudan etkilenen bir özelliktir. Hem iri agregayı oluşturan tanelerin hem de ince agregayı oluşturan tanelerin, büyüklüklerine göre, uygun dağılım göstermesi gerekmektedir. Beton için uygun olarak kabul edilen agregaya granülometresi, taze betonun işlenebilmesi, taşınması ve yerleştirilmesi işlemlerinde, iri ve ince tanelerinin ayrışmasına neden olmayarak, betonun üniform olmasını sağlayan, betonda istenilen düzeydeki işlenebilmenin ve yoğunluğun elde edilebilmesine yol açan agregaya tane dağılımıdır [4].

1.1.2.1 İncelik modülü

Agreganın gradasyon özelliğini belirtebilmenin bir başka yolu da, agrega tanelerinin ortalama büyüklüğünün veya başka değerlerin tek bir sayı halinde ifade edilmesidir. Elek analizinde, göz açıklığı en küçük olan standart elek en altta olmak üzere küçükten büyüğe doğru dizilmiş olan standart elekler üzerinde kalan agreganın yığılımlı yüzdelerinin toplamının 100'e bölünmesiyle elde edilen amprik sayısal değer incelik modülü olarak tanımlanır [10].

Beton yapımında agrega kullanılmasının tek nedeni daha ekonomik beton üretmek değildir. Agregası, betonun teknik özelliklerine de önemli katkılarda bulunmaktadır. Beton yapımında kullanılan temel malzemeler arasında en pahalı çimentodur. Agreganın maliyeti, çimento maliyetine göre çok düşüktür. O nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olduğu kadar çok miktarda agrega kullanılması, betonun daha ekonomik olmasına yol açmaktadır [4].

İyi bir beton üretimi için agregalarda bulunması gereken şartlar şunlardır.

1. Tane dağılımı (granülometrik bileşim) TS 706'nın gereklerini yerine getirmelidir. Boşluksuz bir beton karışımı elde edilmesine elverişli olmalıdır.
2. Tane şekli kübik olmalıdır. Şekilce kusurlu (yassı ve uzun) taneler içermemelidir.
3. Tane dayanımı, istenen özellikte bir betonun yapımı için yeterli olmalıdır. Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalıdır. Aşınmaya dayanımlı olmalıdır.
4. Sık sık donma-çözülme etkisinde kalan betonlar için kullanılan agrega, dona dayanıklı olmalıdır.
5. Kil, silt, mil ve toz gibi beton dayanımını ve aderansı olumsuz etkileyen zararlı maddeler içermemelidir.
6. Organik kökenli ve hafif maddeler içermemelidir.
7. Beton ve betonarmenin durabilitesini olumsuz yönde etkilememelidir. Agregalar sertleşmiş betonda zararlı hacim artışına ve bu nedenle tahribata neden olabilen sülfatlar, donatı korozyonuna neden olabilecek bazı tuzlar ve klorür içermemelidir.

8. Betonda alkali silika reaksiyonuna neden olabilecek aktif silisleri içermemelidir [11].

1.1.2.2 Granülometri (Tane boyu dağılımı)

Agrega yığınındaki taneler çeşitli boyutlardadır. Granülometrik bileşim, agrega numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin ne miktarda agregada içinde bulunduğunu ortaya koyar. Bu da agregada üzerinde granülometri deneyi yapılarak bulunur. Agregada granülometrisinin üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır. Granülometri betonun kompasitesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle betonda kullanılacak agregaların özelliği olmayan işlerde kullanılmalarında dahi granülometrik bileşimleri mutlaka belirlenmelidir [12].

Bir agregada yığını içerisinde tanelerinin büyüklüklerine göre gösterdikleri tane dağılım oranına granülometri (gradasyon) denir.

Granülometri eğrisinin özelliklerini şöyle sıralayabiliriz.

1. Granülometri eğrisi artan bir eğridir, sınır durumunda ancak yatay doğru parçaları olabilir.
2. Eğrinin %100 çizgisine yakın olması, karışımın ince olduğunu, %0 çizgisine yakın olması agreganın iri agregada olduğunu gösterir.
3. Eğri tüm elek bölgesinde mevcuttur, eğrinin %100 veya %0 çizgileriyle çakışması, o bölgelerde bulunmadığı anlamına gelmez.
4. Birbirini izleyen iki elek arasında karşılık gelen %ordinatların farkı, agregada yığınında o iki elek arasında kalan malzeme % sini verir.
5. Eğer eğride yatay bir çizgi varsa, bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında tane yok demektir. Bu tür bir granülometriye sahip olan agregalara “kesikli (süreksiz)” granülometri agregalar denilir.

1.1.3. Beton Karışım ve Temas Suyu

Beton karma suyu, betonda işlenebilirliği ve çimento hidratasyonunu sağlamak için kullanılan çok hassas ve önemli bir hammaddedir. Hassas ve önemli olmasının nedeni, su miktarının, taze ve sertleşmiş betonun önemli olmasının nedeni, su miktarının, taze ve sertleşmiş betonun tüm özelliklerini etkileyebilmesidir [13].

1.1.4. Hava

Agrega, su ve çimentodan oluşan ve kompozit bir malzeme olan beton içerisinde betonun taze haldeyken tam olarak sıkıştırılmamasından dolayı oluşan boşluklar hapsolmuş hava boşlukları olarak adlandırılır. Betonun hava miktarı hava sürüklenmemiş beton ve çeşitli iklim şartlarında dökülecek hava sürüklenmiş betonlar için, agrega en büyük tane büyüklüğü ve iklim şartları göz önünde bulundurularak belirlenmelidir [14].

1.1.5. Beton Katkı Maddeleri

Betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim sırasında veya dökümden önce transmikserde az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayırmak mümkündür

1.1.5.1. Kimyasal Katkılar Kimyasal katkıların özellikleri TS EN 934-2'ye göre belirlenir. Kimyasal katkıların belli çeşitleri aşağıda sıralanmıştır:

a) Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar) Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar.

b) Priz Geciktiriciler

Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdırlar.

c) Priz Hızlandırıcılar

Priz geciktiricilerin aksine, bu katkılar betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

d) Antifrizler

Betonun donmaya karşı kendisini korumasını ve geç priz almamasını sağlar. Antifriz suyun donma sıcaklığının üzerindeki hava sıcaklığında kullanılmalıdır.

e) Hava Sürükleyici Katkılar

Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.

f) Su Geçirimsizlik Katkıları

Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır. Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir.

1.1.5.2.Mineral katkılar

Çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf , uçucu kül , silis dumanı, vb. çeşitli maddelere 'Mineral Katkı' adı verilir. Mineral katkılar tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkılardan yüksek dayanımlı beton üretiminde de yararlanır [15].

Günümüzde çeşitli endüstriyel atıklar betonda puzolanik malzeme olarak kullanılmaktadır. Puzolanlar tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan ancak ince öğütülüp normal sıcaklıkta ve nemli ortamlarda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği gösteren malzeme olarak tanımlanırlar. Puzolanlar betonlarda mineral katkı olarak kullanılmaktadır. Mineral katkılar betonun dayanımını arttırarak durabilitesini (dayanıklılık) ve akıcılığını geliştirmek için kullanılmaktadır. Beton veya çimento içerisine puzolanik malzeme eklenmesinin hidrasyon ısını düşürmesi, yüksek hedef dayanımı ve düşük permeabilite sağlaması,

alkali silika reaksiyonunu ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi birçok yararlar sağladığı bilinmektedir.

Ülkemizde endüstriyel atıklardan uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve diğer doğal puzolanlar, mineral katkı maddesi olarak bilinirler. Harç ve beton üretiminde genellikle ikincil bağlayıcı madde olarak portland çimentosunun ağırlık yüzdesi oranında, çimentonun bir kısmı yerine veya ilave olarak bazen de çimentoya önceden karıştırılarak katkılı çimento şeklinde kullanılmışlardır. Betonda kullanılan mineral katkı maddeleri, portland çimentosuna benzer minerolojik ve kimyasal bileşimler ile fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık yetenekleri yoktur. Bu maddeler puzolanik aktiviteleri nedeniyle hidrasyon ürünlerinin oluşumunda etkinlik göstererek bağlayıcı hamur yapısını değiştirirler. Böylece betonun çeşitli özellikleri iyileştirilirken, puzolanik aktivitesi yüksek olan mineral katkı maddeleri, boşluk yapısını iyileştirerek daha yoğun bir bağlayıcı hamurun oluşmasını, agrega-hamur ara yüzeyindeki aderansın artmasını sağlamakta ve yüksek mukavemetlere erişilmesi mümkün olabilmektedir [16].

1.2 Taze Beton Özellikleri

Çimentonun, suyun, agreganın (ve gerektiğinde, katkı maddelerinin) birlikte karılması sonucunda elde edilen beton karışımı, şekil verilebilir, yumuşak bir karışımdır. Ancak, çimento ve suyun birleştiği anda başlayan hidrasyon devam ettikçe, çimento hamuru giderek daha katı bir durum almakta ve bir süre sonra şekil verilmez olmaktadır.

Taze beton, henüz tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur. Betonun taşınıp kalıplarındaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumdayken yapılabilir.

1.2.1 İşlenebilme

Taze betonun kolayca karılabilmesi, segregasyon yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilmesi, betonun ne ölçüde

işlenebilir olduğunu göstermektedir. O nedenle, bu özelliklerin tümü, işlenebilme adı altında tek bir özellik olarak ifade edilmektedir.

İşlenebilme, taze betonun katılaşma göstermeden önceki durumuyla ilgili bir özellik olduğundan, betonun karılma işleminden itibaren ne kadar süre içerisinde katılaşma göstereceği (yani, piriz süresi), betonun kullanılacağı yapı tipi için oldukça önemli olmaktadır. Çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların yer alma hızı (hidratasyon hızı), piriz süresinin kısalığı veya uzunluğu etkileyen önemli bir faktördür. İşlenebilme, taze betonun en önemli özeliğidir. Yeterli işlenebilmeye sahip olmayan taze beton, sertleştiğinde, yeterli dayanımı ve dayanıklılığı göstermez.

1.2.2 Kıvam

Kıvam, taze beton karışımının ıslaklık derecesi anlamına gelmektedir. (Kıvam teriminin taze betondaki su miktarı olarak tanımlanması yanlıştır. Kıvam, betonun ne ölçüde ıslak veya kuru olduğunu tanımlamaktadır).

Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte. Daha rahat pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak beton kıvamının çok yüksek olması, betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Zira aşırı derecede sulu bir beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde betondaki çimento harcı ile iri agregalar kolayca segregasyon gösterebilmektedir; yani, bu tür betonlar yeterli işlenebilmeye sahip olamamaktadırlar.

1.3 Sertleşmiş Beton Özellikleri

1.3.1 Su emme

Sertleşmiş betonun içerisindeki boşlukların tümü suyla dolu durumda değil ise, ıslak ortamda, betonun içerisindeki boşluklara dışarıdan su girebilmektedir. Bu işlem, betonun suya doymun duruma gelmesine kadar devam edebilmektedir. Beton tarafından içerisindeki boşluklara fiziksel olarak su çekilmesi işlemine su emme denilir.

Betonun emebileceği su miktarı, betonun içerisindeki boşlukların toplam hacmi ile ilgilidir. Betondaki toplam boşluk hacmi ise, betonda kullanılan su / çimento oranı, agrega cinsi, kür koşulları, kür süresi, karbonatlaşma, beton elemanın boyutu gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Su emme kapasitesi yüksek olan betonların dayanımları daha düşük olmaktadır. Sülfat, asit, klor, ve benzeri zararlı maddeleri içeren suların beton tarafından emilmesi, betonda hasar yaratacak kimyasal olayların başlamasına neden olmaktadır. Betonun geçirimliliği beton içerisinde su akışın gösterdiği için, geçirimlilik ve su emme farklı özelliklerdir. Ancak, su emme, betonun geçirimliliğini de etkileyen önemli bir özellik durumundadır.

1.3.2 Geçirimlilik

Geçirimlilik, sıvıların ve gazların, betonun içerisinde akış gösterebilmelerine imkan tanıyan bir özelliktir. Sıvıların ve gazların betonun içerisinde akış gösterebilmeleri betonda yer alan boşlukların birbiriyle bağlantılı olması nedeniyle gerçekleşebilmektedir. Geçirimli betonların içerisine sızan sular ve bu sulardaki yabancı maddeler, betonda bazı kimyasal ve fiziksel olaylara yol açmaktadır.

1.3.3 Büzülme (rötre)

Beton içerisindeki suyun fiziksel ve kimyasal nedenlerle azalması (kaybolması) sonucunda betonun boyunda ve hacminde yer alan küçülmeye " büzülme " denilir. Bu olay rötre olarak da anılmaktadır. Sertleşmiş betondaki su kaybı, hem fiziksel hem de kimyasal nedenlerle gerçekleşebilmektedir.

1.3.4 Sünme

Malzemelerin üzerine uygulanan sabit gerilmelerin etkisiyle, zaman geçtikçe malzemenin gösterdiği deformasyona sünme denir. Betondaki sünme olayı düşük gerilmeler altında ve normal sıcaklık ortamında da meydana gelebilmektedir. Yük altında belirli bir deformasyon göstermiş olan beton, yük kaldırıldıktan sonra, hiçbir zaman ilk boyutlarına dönememektedir.

1.3.5 Dayanım

Beton teknolojisinde betonun dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır. Beton üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği dirençtir.

Sertleşmiş betonun belirli dayanımda olmasının yanı sıra, yeterli dayanıklılığı göstermesi, su geçirimsizliğinin az olması gibi diğer bazı özelliklere de sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerin her biri çok önemli olmakla beraber, beton özellikleri arasında en çok aranan ve kullanılan; "Dayanım özelliğidir". Sertleşmiş betonda aranan hacim sabitliği, dayanıklılık, su geçirimsizlik ve dayanım gibi birçok özellik arasında deneysel olarak en kolay tespit edileni, betonun dayanım özelliğidir.

1.3.6 Durabilite

Betonun içerisine sızan su, karbon dioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türdeki kimyasal olayların yer almasına neden olmaktadır. Betonun içerisindeki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına yol açan reaksiyonlar da kimyasal olaylar sonucunda yer almaktadır. Isınma - kuruma, donma - çözülme, ısınma - soğuma ve aşınma gibi olaylar betonun yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır.

Beton dayanıklılığı, hava koşullarından, sülfatlı veya asitli sulardan veya betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklılık, "durabilite" veya "kalıcılık" olarak da adlandırılmaktadır. Beton tasarımında, betonun hedeflenen dayanımdan daha düşük dayanıma sahip olmaması gerekmektedir [17].

2. BETON KARIŞIM HESAP ESASLARI

2.1. TSE 802 (1985)

2.1.1. En Büyük Agregata Tane Büyüklüğünün Seçilmesi

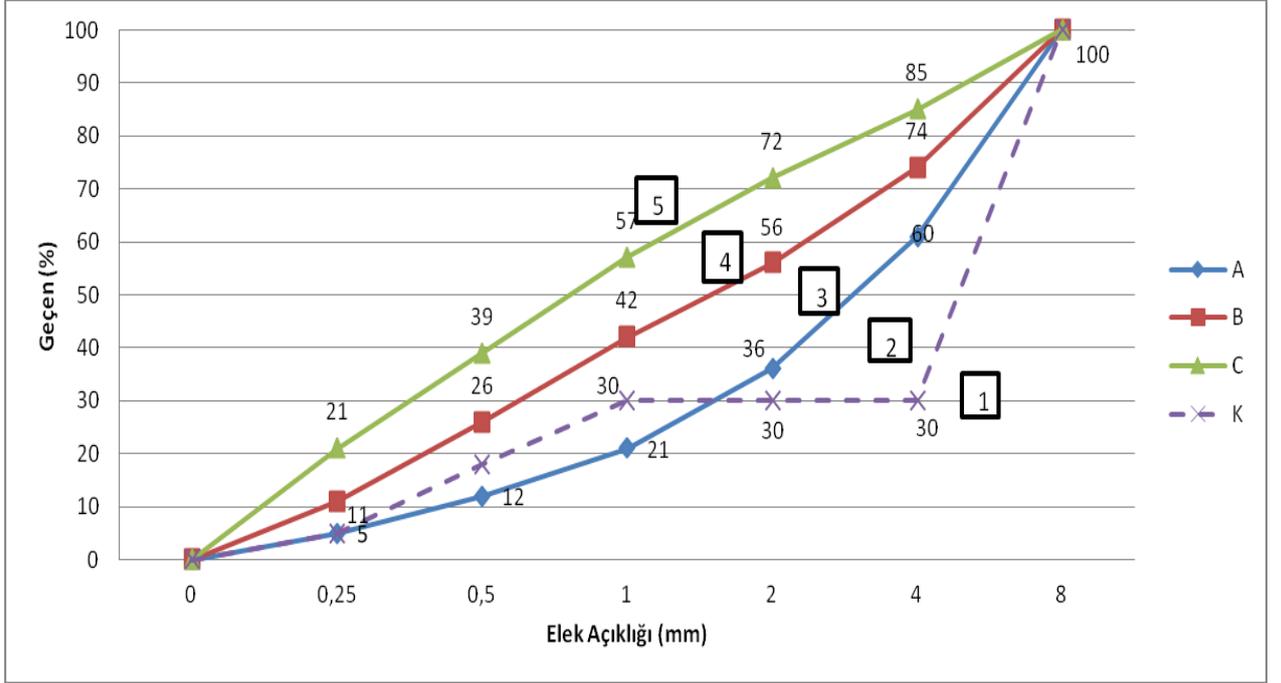
Betonu oluşturacak agreganın TS 3530'a uygun olarak tayin edilen en büyük tane büyüklüğü, betonun kullanılacağı yapı elemanının cins ve en dar kesitinin boyutu ile ilişkilidir. En büyük tane büyüklüğü, en dar kesitin kalıp genişliğinin 1/5'inden, döşeme derinliğinin 1/3'ünden, donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4'ünden küçük seçilmelidir. Bazı eleman boyutları için kullanılabilir en büyük tane büyüklükleri, donatı aralığına ait yukarıdaki husus da dikkate alınmak şartıyla Tablo 1.2 'de verilmiştir. En büyük tane büyüklüğü büyük olan karışımlar, en büyük tane büyüklüğü küçük olan karışımlara oranla daha az boşluğa sahip oldukları için daha az harca ihtiyaç duyarlar. Yüksek dayanımlı beton yapılmak istendiğinde en büyük tane büyüklüğü büyük seçilmelidir.

Tablo 1.2 Çeşitli yapı elemanı büyüklükleri için uygun en büyük agregata tane büyüklükleri

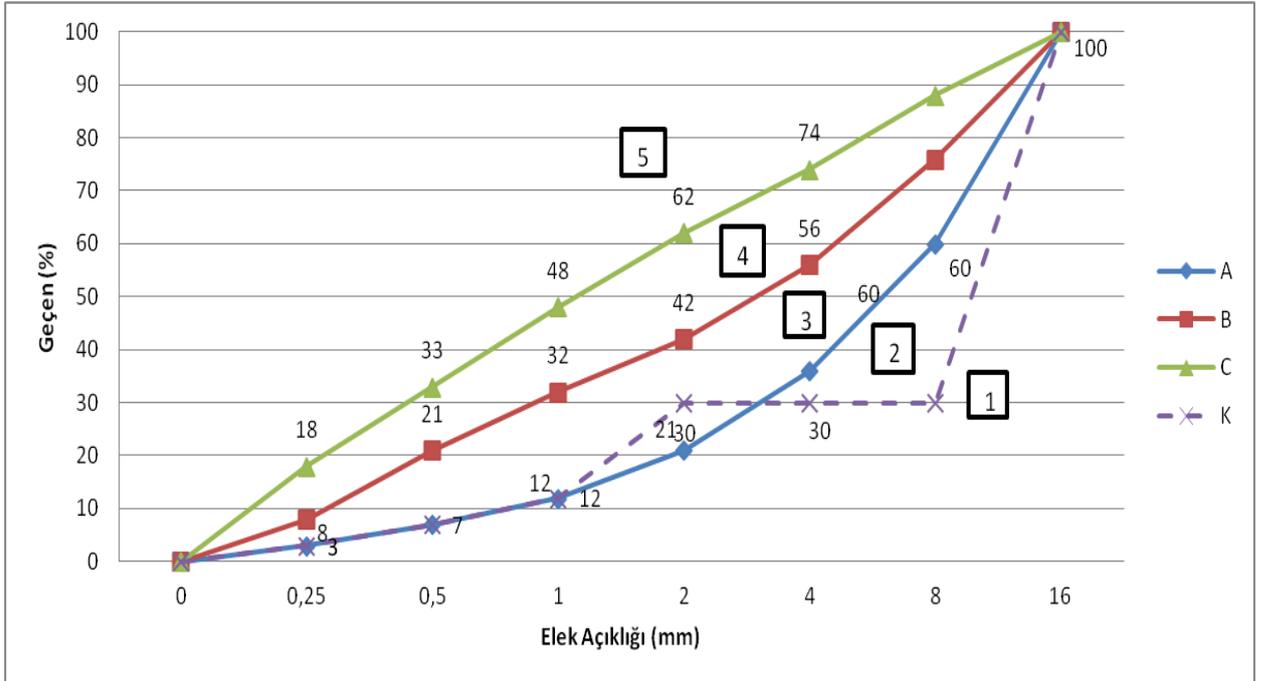
| Yapı kesitinin boyutu | Agregata en büyük tane büyüklüğü (maksimum) (mm) | | | |
|-----------------------|---------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| | Donatılı perde, kiriş ve kolonlar | Sık donatılı döşemeler | Seyrek donatılı ve donatısız döşemeler | Donatısız perdeler |
| 6-14 | 16 | 16 | 32 | 16 |
| 15-29 | 32 | 32 | 63 | 32 |
| 30-74 | 63 | 63 | 63 | 63 |

2.1.2. Tane Dağılımının Seçilmesi

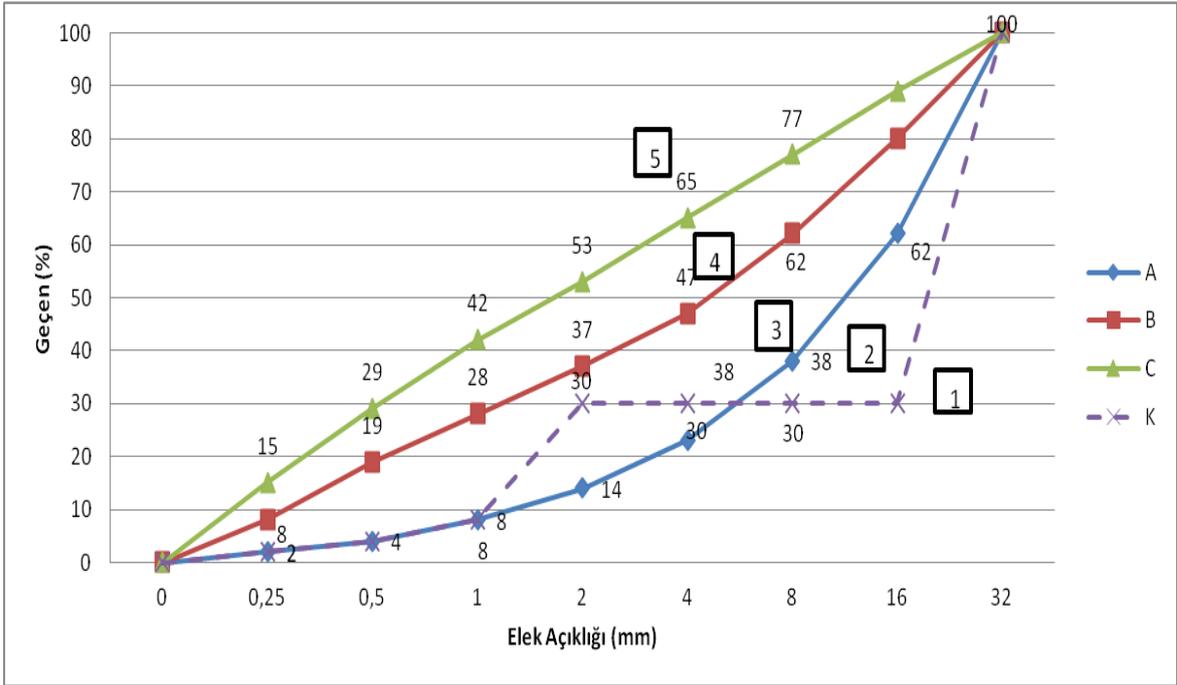
Betonu oluşturacak agreganın tane dağılımı, en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak TS 706 'da belirtildiği gibi, Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3 veya Şekil 1.4 'te gösterilen 3 ve 4 numaralı bölgelerde bulunacak şekilde seçilmelidir. 3 numaralı bölgeye düşecek tane dağılımları, uygun bölge olduğu için tercih edilmelidir. Bunun mümkün olmaması halinde 4 numaralı kullanılabilir bölgeye düşen tane dağılımları kullanılmalıdır. Zorunlu durumlarda 2 numaralı bölgeye düşen kesikli tane dağılımları da granülometri kullanılabilir [18].



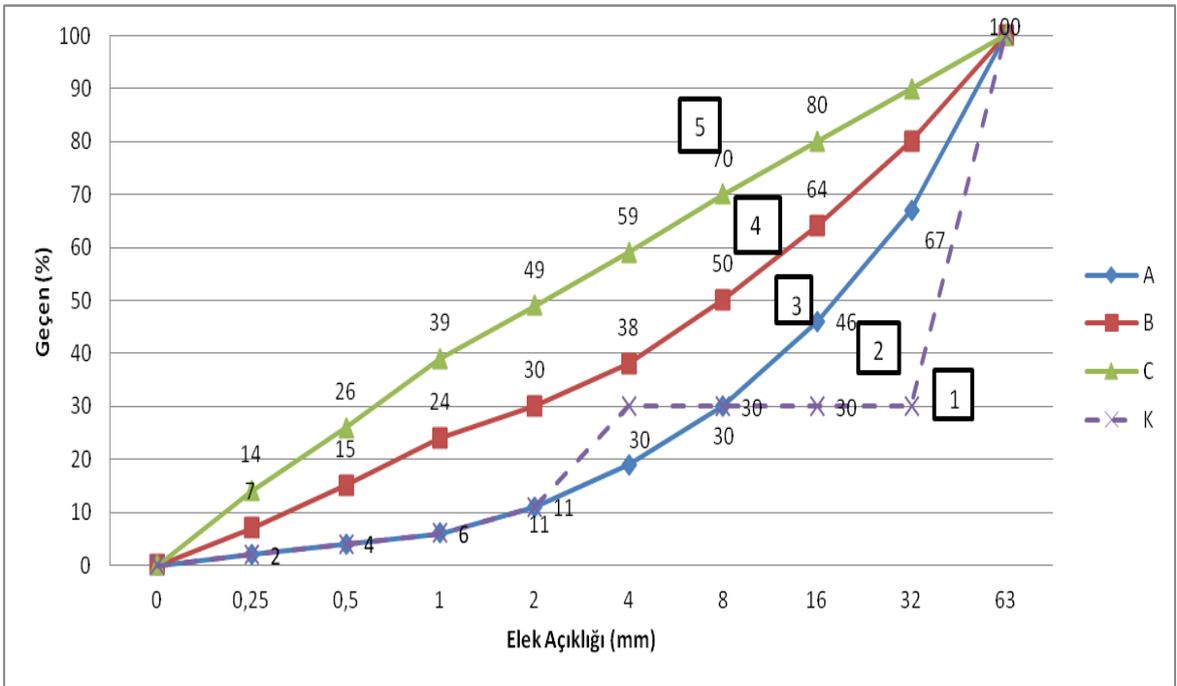
Şekil 1.1 En büyük tane boyutu 8 mm olan agrega numunelerinin Türk standardına göre gradasyonu sınır değerleri (TS 706, 1980)



Şekil 1.2 En büyük tane boyutu 16 mm olan agrega numunelerinin Türk standardına göre gradasyonu sınır değerleri (TS 706, 1980)



Şekil 1.3 En büyük tane boyutu 32 mm olan agrega numunelerinin Türk standardına göre gradasyonu sınır değerleri (TS 706,1980)



Şekil 1.4 En büyük tane boyutu 63 mm olan agrega numunelerinin Türk standardına göre gradasyonu sınır değerleri (TS 706,1980)

Beton yapımı sırasında agreganın karıştırıcıya, genellikle 2 veya 3 tane sınıfına ayrılmış olarak konacağı karışım hesaplarında göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun için Tablo 1.3.'den yararlanılabilir [18].

Tablo 1.3. Beton agregasının tane sınıflarına ayrılması

| Beton sınıfı | KARIŞIMDAKİ EN BÜYÜK TANE BÜYÜKLÜĞÜ | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|-------|--------|--------|------|-------|--------|--------|--------|
| | 8 | | | 16 | | | 32 | | | 63 | | | | | |
| | TANE SINIFI ADEDİ | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| BS 14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| BS 16 | | | | | | | 0/4 | 4/32 | - | - | 0/4 | 4/32 | 32/63 | - | - |
| BS 20 | 0/4 | 4/8 | - | 0/4 | 4/16 | - | | | | | | | | | |
| BS 25 | | | | | | | 0/4* | 4/16* | 16/32* | | 0/4* | 4/16* | 16/32* | 32/63* | |
| BS 30 | | | | | | | | | | | | | | | - |
| BS 35 | | | | | | | | | | | | | | | |
| BS 40 | 0/2 | 2/4 | 4/8 | 0/2 | 2/8 | 8/16 | 0/2 | 2/8 | 8/32 | - | 0/2 | 2/8 | 8/32 | 32/63 | |
| BS 45 | | | | | | | | | | | | | | | |
| BS 50 | | | | | | | 0/2* | 2/8* | 8/16* | 16/32* | 0/2* | 2/8* | 8/16* | 16/32* | 32/63* |

*Tane şekli sınıfı ve / veya su emmesi çok farklı olan agregalar bu şekilde bir fazla sayıda tane sınıfına ayrılabilir.

2.1.3. Su Çimento Oranının (W/C) Seçilmesi

Su çimento oranı (w/c), betonun (katkılı veya katkısız) sınıfı ve karşı karşıya kalacağı dış etkilerin şiddeti ile ilişkilidir. Karışım hesabında kullanılacak basınç dayanımları, beton sınıflarına bağlı olarak Tablo 1.5'te, 28 günlük basınç dayanımlarına bağlı olarak su / çimento oranları ise Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.4. Beton sınıflarına göre karışım hesabına esas alınacak hedef basınç dayanımları (f cm) ile deney numunelerinin sahip olması gereken basınç dayanımları

| Beton sınıfı | F _{ck} , karakteristlik basınç dayanımı | | | | f _{cm} , ortalama silindir basınç dayanımları kgf/cm ² (N/mm ²) | | Deney numunelerinin silindir basınç dayanımları kgf/cm ² (N/mm ²) | |
|--------------|--------------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| | silindir | | küp | | Standard sapma biliniyorsa | Standard sapma bilinmiyorsa | fc (tek numune) en az | fcm (ortalama) en az |
| | kgf/cm ² | N/mm ² | kgf/cm ² | N/mm ² | | | | |
| BS 14 (C14) | 140 | (14) | 160 | (16) | fcm= fck+1,28σ | 180 (18) | fck-30 (fck-3) | fck+30 (fck+3) |
| BS 16 (C16) | 160 | (16) | 200 | (20) | | 200 (20) | | |
| BS 20 (C20) | 200 | (20) | 250 | (25) | | 260 (26) | | |
| BS 25 (C25) | 250 | (25) | 300 | (30) | | 310 (31) | | |
| BS 30 (C30) | 300 | (30) | 350 | (35) | | 360 (36) | | |
| BS 35 (C35) | 350 | (35) | 400 | (40) | | 430 (43) | | |
| BS 40 (C40) | 400 | (40) | 450 | (45) | | 480 (48) | | |
| BS 45 (C45) | 450 | (45) | 500 | (50) | | 530 (53) | | |
| BS 50 (C50) | 500 | (50) | 550 | (55) | 580 (58) | | | |

Tablo 1.5. Müsade edilen en büyük su-çimento oranı

| ÇİZELGE-4 ÇEŞİTLİ YAPI TİPLERİ VE DIŞ ETKİLERE GÖRE MÜSAADE EDİLEN EN BÜYÜK SU-ÇİMENTO ORANI,W/C | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
| YAPI TİPİ | DIŞ ETKİLER | | | | | |
| | Sıcaklık farklarının çok olduğu veya sık sık donma ve çözülme etkisinde kalan bölgelerde | | | Pek az donma etkisinde kalan ılımlı sıcaklıkta yağmurlu veya kurak bölgelerde | | |
| | Havada | Su seviyesinde veya su etkisinde kalan kısımlarda | | Havada | Su seviyesinde veya su etkisinde kalan kısımlarda | |
| | | Tatlı suda | Deniz suyunda veya sülfat etkisi altında | | Tatlı suda | Deniz suyunda veya sülfat etkisi altında |
| Korkuluk,bordür,eşik,çıkıntı, süs gibi ince veya pas payı 2.5 cm den az olan elemanlarda, betonarme kazıklarda,borular da kullanılacak betonlar, görünür betonlar | 0,49 | 0,44 | – | 0,53 | 0,49 | – |
| İstinat duvarı,köprü kenar ve orta ayakları,kirişler gibi orta kalınlıklı elemanlarda ve kolonlarda kullanılacak betonlar | 0,53 | 0,49 | – | 4) | 0,53 | – |
| Su altında dökülecek betonlar | – | 0,44 | 0,44 | – | 0,44 | 0,44 |
| Zemin üzerindeki döşeme betonları,kanal kaplama betonları | 0,53 | 0,5 | 0,5 | 4) | 0,5 | 0,5 |
| Hava etkilerine karşı korunacak,bina içi veya zemin altındaki betonlar | 4) | – | – | 4) | – | – |
| Uzun yıllar korunmadan donan çözülme etkisi altında kalacak,veya arkası toprakla dondurulacak yapılarda kullanılacak betonlar | 0,53 | – | – | 4) | – | – |

- 1)Sert hava şartlarına açık bütün betonlarda hava sürüleyici katkı maddesi kullanılması uygundur. Beton karışımının işlenebilme özelliğini arttırmak için ılımlı hava şartlarında da hava sürükleyici katkı katılabilir.
- 2)Toprak veya yer altı suyunun %0,2 den fazla sülfat konsantrasyonu bulunduğu hallerde.
- 3)Sülfatlara dayanıklı çimento kullanıldığı hallerde,su-çimento oranı 0,05 kadar arttırılabilir.
- 4)Su-çimento oranı,istenilen dayanım ve işlenebilme özelliği esaslarına göre seçilmelidir.

Tablo 1.6. 28 Günlük beton basınç dayanımlarına göre su/çimento oranları (W/C)

| 28 Günlük beton basınç dayanımları | | Su çimento oranı(Ağırlık esasına göre)(w/c) | |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------|--------------------|
| kgf/cm ² | N/mm ² | Hava katkısız beton | Hava katkılı beton |
| 450 | 45 | 0,38 | – |
| 400 | 40 | 0,43 | – |
| 350 | 35 | 0,48 | 0,40 |
| 300 | 30 | 0,55 | 0,46 |
| 250 | 25 | 0,62 | 0,53 |
| 200 | 20 | 0,70 | 0,61 |
| 150 | 15 | 0,80 | 0,71 |

2.1.4. Su Miktarının (W) Seçilmesi

Beton yapımı için gerekli karma suyu miktarı (w) , doymun agreganın yüzeysel nem suyu ve ilave olarak verilecek suyun miktarıdır. Bu toplam su miktarı çimento miktarı ile büyük ölçüde bağlantılı olmayıp betonun kıvamı, agreganın tane dağılımı, tane şekli, yüzey alanı, çok ince agreganın ve karışıma girecek havanın miktarı ile ilişkili olup taze ve sertleşmiş betonda aranan işlenebilme dayanımı ve dayanıklılık özelliklerini sağlayacak en az miktar olarak seçilmelidir.

Tablo 1.7’de yerleştirilmiş 1m³ betonun karışımı hesabında kullanılacak yaklaşık değerler verilmiştir.

2.1.5. Hava Miktarının Seçilmesi

Hava miktarı, Tablo 1.7’de verilenlere uygun olarak seçilmelidir.

2.1.6. Kıvamın Seçilmesi

Beton kıvamı, randımanlı döküm ve homojen bir kütle oluşmasını sağlayacak en düşük değerde olmalıdır. Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme değerleri Tablo 1.8’de verilmiştir[18].

Tablo 1.7. Karışım suyu miktarı

| Tane dağılımı çökme değerleri | BELİRTİLEN TANE DAĞILIMLARI İÇİN KARIŞIM SUYU MİKTARI | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | HAVA KATKISIZ BETON | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | 16 | | | 32 | | | 63 | | | |
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C | |
| 2 | 158 | 177 | 196 | 138 | 158 | 182 | 132 | 151 | 172 | 122 | 139 | 162 | |
| 4 | 160 | 180 | 200 | 140 | 160 | 185 | 135 | 155 | 175 | 125 | 140 | 165 | |
| 6 | 163 | 186 | 207 | 147 | 166 | 190 | 138 | 159 | 178 | 127 | 146 | 170 | |
| 7 | 168 | 190 | 208 | 147 | 167 | 191 | 138 | 160 | 179 | 128 | 147 | 171 | |
| 10 | 175 | 195 | 215 | 155 | 175 | 200 | 145 | 165 | 190 | 135 | 155 | 175 | |
| 12 | 188 | 207 | 231 | 166 | 188 | 213 | 155 | 177 | 202 | 145 | 165 | 193 | |
| 13 | 190 | 210 | 233 | 168 | 190 | 215 | 157 | 181 | 205 | 147 | 168 | 193 | |
| 15 | 195 | 215 | 240 | 175 | 195 | 220 | 165 | 185 | 215 | 150 | 175 | 200 | |
| 17 | 202 | 224 | 248 | 179 | 203 | 229 | 169 | 194 | 221 | 157 | 180 | 209 | |
| Tavsiye edilen hapsolmuş hava | 3 | | | 2 | | | 1 | | | 0,5 | | | |
| | HAVA KATKILI BETON | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | 123 | 152 | 171 | 118 | 138 | 162 | 117 | 136 | 157 | 107 | 124 | 147 |
| | 4 | 135 | 145 | 175 | 120 | 140 | 165 | 120 | 140 | 160 | 110 | 124 | 147 |
| 6 | 133 | 161 | 182 | 127 | 146 | 170 | 123 | 144 | 163 | 112 | 131 | 155 | |
| 7 | 143 | 165 | 183 | 127 | 147 | 171 | 123 | 145 | 164 | 113 | 132 | 156 | |
| 10 | 150 | 170 | 190 | 135 | 155 | 180 | 130 | 150 | 175 | 120 | 140 | 160 | |
| 12 | 163 | 182 | 206 | 146 | 188 | 203 | 140 | 162 | 187 | 130 | 150 | 178 | |
| 13 | 165 | 185 | 208 | 148 | 170 | 195 | 142 | 166 | 190 | 132 | 153 | 168 | |
| 15 | 170 | 190 | 215 | 155 | 175 | 200 | 150 | 170 | 200 | 140 | 160 | 185 | |
| 17 | 177 | 199 | 223 | 159 | 183 | 209 | 154 | 179 | 216 | 147 | 165 | 194 | |
| Tavsiye edilen hapsolmuş+sürüklenmiş hava | 8 | | | 6 | | | 4,50 | | | 4 | | | |
| incelik modülü | 3,64 | 2,27 | 2.89 | 4,61 | 2.75 | 3,66 | 5,48 | 3,30 | 4,20 | 6,15 | 3,72 | 4,92 | |

Tablo 1.8. Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme değerleri[18].

| Yapı elemanları | çökme değerleri | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------|
| | Maksimum | minimum |
| Betonarme temeller | 8 | 3 |
| Donatısız beton temeller,kesonlar ve alt yapı duvarları,kanal kaplama betonları | 7 | 2 |
| Döşeme,kiriş,kolon,betonarme perdeler,tünel yan ve kemer betonları | 10 | 5 |
| Yol kaplama betonları,köprü ayakları | 5 | 3 |
| Tünel taban kaplama betonları | 5 | 2 |

TS 802(1985) ÖRNEK SORUSU

En dar boyutu 25 cm, donatısının pas payı 35mm olan sık sık donma çözülmeye maruz kalabilecek bir kolon için, hava sürükleyici katkı kullanılmadan yapılacak BS 25

betonun karışım hesabının yapılması istenmekte olup betonun yapılacağı şantiyenin çalışma şartları bilinmemektedir.

Kullanılacak Malzemeler :

Çimento : $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$

Agrega : Agrega ocağından alınan doğal karışık dağılımı TS 802 1985'te verilmiştir.

Tane şekli ve su emme oranı her tane sınıfı yaklaşık aynı (su emme oranı = %0.5)

Yoğunluk : $2,80 \text{ kg/dm}^3$ (doğun kuru yüzey hali)

Hesaplama :

- En büyük tane büyüklüğü ;

Kullanılacak uygun en büyük tane büyüklüğü TS 802'de Tablo 1.2'nin 2. Satırının 1. Sütunundan 32 mm olarak bulunur.

- Tane dağılımı ;

Karışımın önce düzenlenmesi ve TS 802 1985'te ki tablodan seçilen 3 numaralı eğriye uygun hazır karışık agregaya haline getirilmiş olması gerekir.

- Tane sınıflarına ayırma ;

Yapılacak betonun sınıfı BS 25 olduğu için agregayı TS 802'de Tablo 1.3'e uygun olarak 2 veya 3 tane sınıfına ayırmak gereklidir. Agregaya tane şekli ve su emme oranının her tane sınıfı için yaklaşık aynı olduğu daha önce belirlenmiş olduğu için 0/4 , 4/32 olarak iki tane sınıfına ayırmak yeterlidir.

- Su – çimento oranı ;

$$\frac{W}{C} = 0.53 \text{ olarak seçilecektir}$$

- Çökme değeri ; 7 cm olarak alınabilir[18].

-Karışım suyu miktarı;

TS 802'de Tablo 1.7 'de 7cm çökme değerine ait satırın B₃₂ ye ait sütunundan 160 lt olarak bulunur.

- Hava miktarı;

Tablo 1.7'de karışım suyunun alındığı kolondan %1 olarak bulunur. Bu 1000 dm³ beton için 10 dm³ hava miktarına karşılık gelir.

- Çimento miktarı;

Madde 2.7.2.1 deki bağıntı yardımı ile $W_c = 160/0,53=302$ kg olarak hesaplanır.

- Çimento hacmi; 1000dm³ betonda bulunacak çimento hacmi

$C/Y = 302/3.15 = 96$ olarak hesaplanır.

- Agregat hacmi;

Madde 2.7.2.4 teki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$W/Y_a = 1000 - (96 + 160 + 10) = 734$ dm³

- Agregat miktarı;

Her tane sınıfı için gerekli agregat miktarı, düzenlenmiş agregat tane dağılımına ait grafik değerleri kullanılarak;

Tablo 1.9. Hesaplanan agrega değerleri

| Tane sınıfı | Karışım oranı | Agrega hacmi dm ³ | Kütlesi kg |
|-------------|---------------|------------------------------|---------------|
| 0/4 | % 40 | 0.40×734=294 | 294×2.80=823 |
| 4/32 | % 60 | 0.60×734=440 | 440×2.80=1232 |

Tablodaki sonuçlar elde edilir.

Tablo 1.10. 1m³ dökülmüş ve sıkıştırılmış beton için hesaplanan malzeme miktarı

| Malzeme adı | Kütlesi kg | Yoğunluğu kg/dm ³ | Gerçek hacim dm ³ |
|-----------------|------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Çimento | 302 | 3.15 | 96 |
| Su | 160 | 1 | 160 |
| Hava | | - | 10 |
| Çimento+hava+su | 462 | | 266 |
| Agrega | | | 734 |
| 0/4 (%40) | 823 | 2.80 | 294 |
| 4/32 (%60) | 1232 | 2.80 | 440 |
| Toplam | 2517 | | 1000 |

Deney karışımlarının ayarlanması;

$W = 100/32 = 0.60$ olur. Aslında bu oranın 0.53 olması gerektiğinden, karışım oranlarının ayarlanması gerekir. 20 dm³ fazla su ilave edilmesi ile elde edilecek beton 1020 dm³ hacim işgal edeceği için 1000 dm³ lük beton için,

$1020/1000 = 176$ litre su kullanılması gerekir[18].

Su / çimento oranının $w = 0.53$ olarak sağlanabilmesi için gerekli çimento miktarı ise

$176 / 0.53 = 332$ kg'dır.

Bu duruma göre agrega miktarı;

$$0/4 : 0.40 [1000 - (332 /3.15 +176 +10)] =0.4 \times 709 =284 \text{ dm}^3,$$

$$4/32 : 0.60 \times [1000- (332/3.15 +176 + 10)] = 0.6 \times 709 =425 \text{ dm}^3,$$

$$0/4 : 284 \text{ dm}^3 \times 2.80 =795 \text{ kg},$$

$$4/32 : 425 \text{ dm}^3 \times 2.80 =1190 \text{ kg},$$

bu durumda ayarlanmış deney karışımı aşağıdaki gibi olacaktır.

Tablo 1.11. 1m³ dökülmüş ve sıkıştırılmış beton için hesaplanan nihai malzeme miktarı [18].

| MALZEME | KÜTLE (kg) | HACİM(dm ³) | TOLERANS % |
|---------|-------------|--------------------------|------------|
| ÇİMENTO | 332 | 105 | - |
| SU | 176 | 176 | - |
| HAVA | | 10 | - |
| 0/4 | 795 | 284 | - |
| 4/32 | 1190 | 425 | - |
| TOPLAM | 2493 | 1000 | 0.5 |

2.2. TS 802 (2009)

Beton karışım hesabı yapılırken, betonun döküleceği elemanın boyutları, elemanın maruz kalacağı sülfat ve klorür gibi zararlı kimyasal etkiler, donma-çözülme, ıslanma-kuruma, aşırı sıcaklık, aşınma gibi fiziksel dış etkiler ile elemanın sahip olması gereken geçirimsizlik, dayanım, yoğunluk, işlenebilme, hacim sabitliği görünüm ve diğer özelliklerin göz önünde bulundurulur. Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, su/çimento oranı, su, çimento, hava ve katkı maddesi miktarları bu standartta verilen çizelgelerden alınabilir veya hesapla bulunur. Hesapla bulunan karışım elemanları miktarları ile en az 3 veya 4 farklı çimento dozajında aynı kıvamda beton karışımları hazırlanarak alınan numunelerin 28 günlük basınç dayanımı yönünden denenmesi ile elde edilen deney sonuçları grafiksel ortamda (çimento içeriği ile basınç dayanımı) değerlendirilmesi ile istenen beton sınıfı için karışım tasarımı elde edilmiş olacaktır.

2.2.1. Agreganın En Büyük Tane Büyüklüğünün Seçilmesi

Beton imalatında kullanılacak agreganın TS 3530 EN 933-1'e uygun olarak tayin edilen en büyük tane büyüklüğü; betonun kullanılacağı elemanın şekli, cins ve en dar kesitinin boyutu, beton örtü tabakası (pas payı) kalınlığı ile betonun dökümünde kullanılacak yöntemle bağlıdır. Agreganın en büyük tane büyüklüğü, en dar kesite ait kalıp genişliğinin 1/5'ini, döşeme derinliğinin 1/3'ünü, donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4'ünü aşmayacak tarzda seçilmelidir. Bunların dışında beton pompa ile iletilecek ve dökülecekse betonda kullanılacak agreganın en büyük tane büyüklüğü pompa borusu iç çapının 1/3'ünü aşmamalıdır. Bazı eleman boyutları için kullanılacak en büyük tane büyüklükleri, donatı aralığına ait yukarıdaki husus da dikkate alınmak şartıyla Tablo 2.1'de verilmiştir[19].

Tablo 2.1. Çeşitli yapı elemanları için boyutlara bağlı olarak kullanılacak agrega en büyük tane büyüklükleri

| Yapı kesitinin boyutu | Agrega en büyük tane büyüklüğü (maksimum) (mm) | | | |
|-----------------------|-------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| | Donatılı perde, kiriş ve kolonlar | Sık donatılı döşemeler | Seyrek donatılı ve donatsız döşemeler | Donatsız perdeler |
| 6-14 | 16 | 16 | 32 | 16 |
| 15-29 | 32 | 32 | 63 | 32 |
| 30-74 | 63 | 63 | 63 | 63 |

2.2.2. Tane büyüklüğü dağılımı (granülometri) seçimi

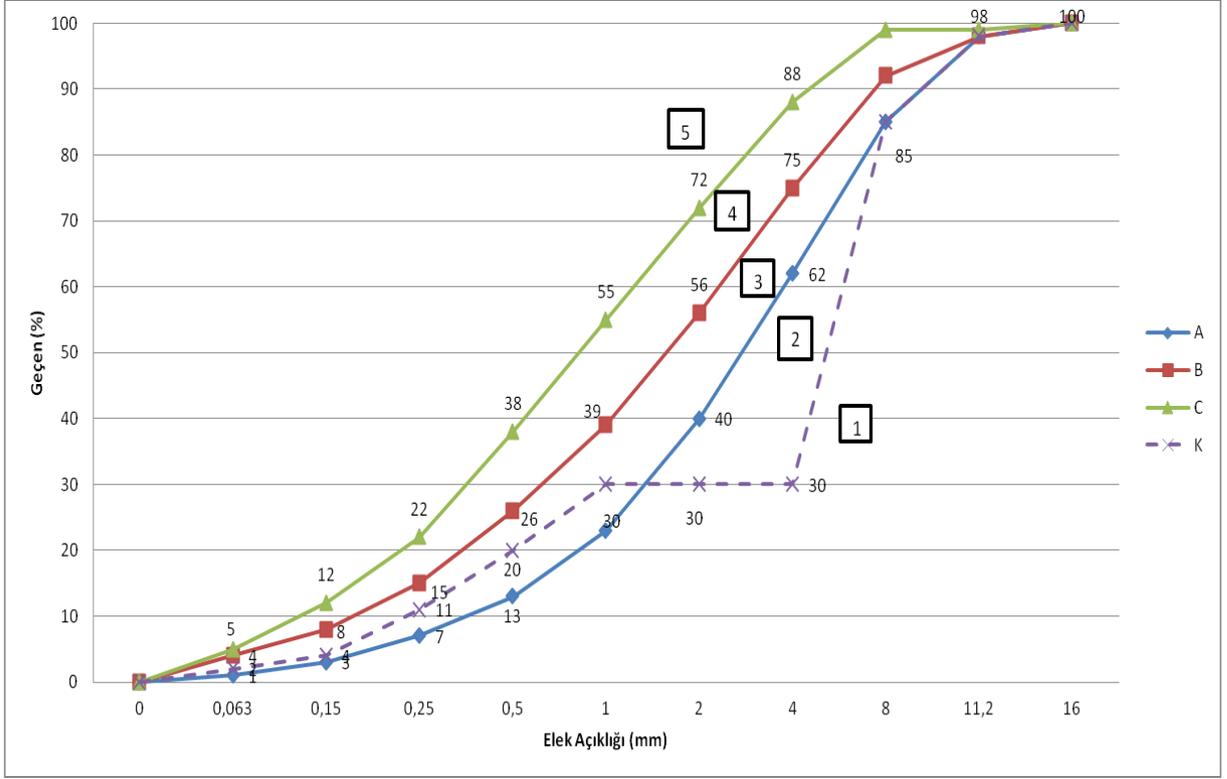
Beton yapımında kullanılacak agregalara ait tane büyüklüğü dağılımı; TS 3530 EN 933-1'e göre agrega tane sınıfına (d/D) bağlı olarak belirlenmelidir. İri ve ince agregalar TS 706 EN 12620 Madde 4.3.3'de iri agregalar için verilen d/D tane sınıfı gösterilişine ve Madde 4.3.3'de ince agregalar için verilen üst elek göz açıklığına (D) uygun olarak Tablo 1.13'de verilen tane büyüklüğü dağılımı özelliklerine uygun olmalıdır. Karışık (tüvenan) agregalar, $D \leq 45$ mm ve $d=0$ olan iri ve ince agregaların bir karışımından oluşmalı ve TS 706 EN 12620 Madde 4.3.5 şartlarını sağlamalıdır.

Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, yassılık-uzunluk indeksi, donma/çözölmeye dayanıklılığı, aşınmaya dayanıklılığı, incelik modülü gibi özellikleri, aşağıda verilenler dikkate alınarak seçilmelidir:

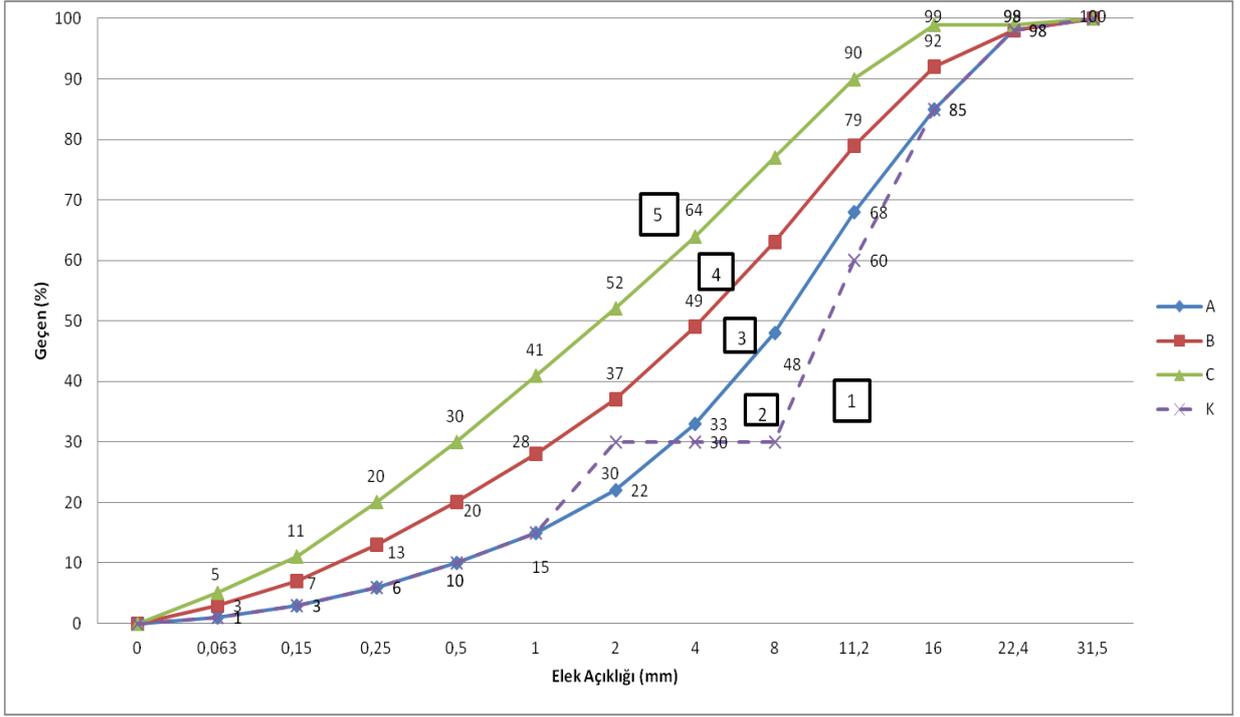
- Yapım (inşaat) yöntemi
- Betonun yapıda kullanım amacı,
- Betonun maruz kalacağı çevre şartları,
- Yüzey bitirme işlemlerinin gerektirdiği diğer özellikler.

Aşağıda verilen ve en büyük tane büyüklüğü farklı agregalar için gösterilen tane dağılımları Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te gösterilen 3 numaralı ve 4 numaralı bölgelerde bulunacak şekilde seçilmelidir. 3 numaralı bölgeye düşecek tane dağılımları, uygun bölge olduğu için tercih edilmelidir. Bunun mümkün olmaması halinde 4 numaralı kullanılabilir bölgeye düşen tane dağılımları kullanılmalıdır. Zorunlu

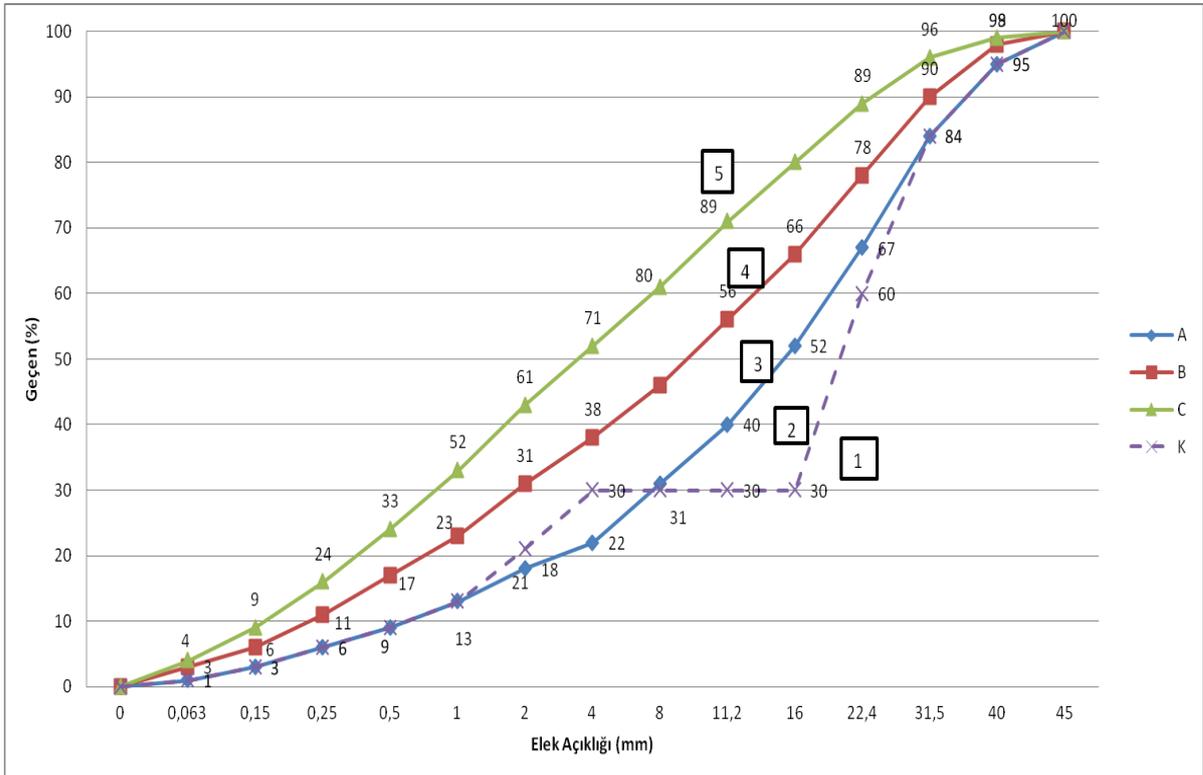
durumlarda 2 numaralı bölgeye düşen kesikli tane dağılımları da kullanılabilir. 5 numaralı bölgeye düşen tane dağılımları kullanılmamalıdır.



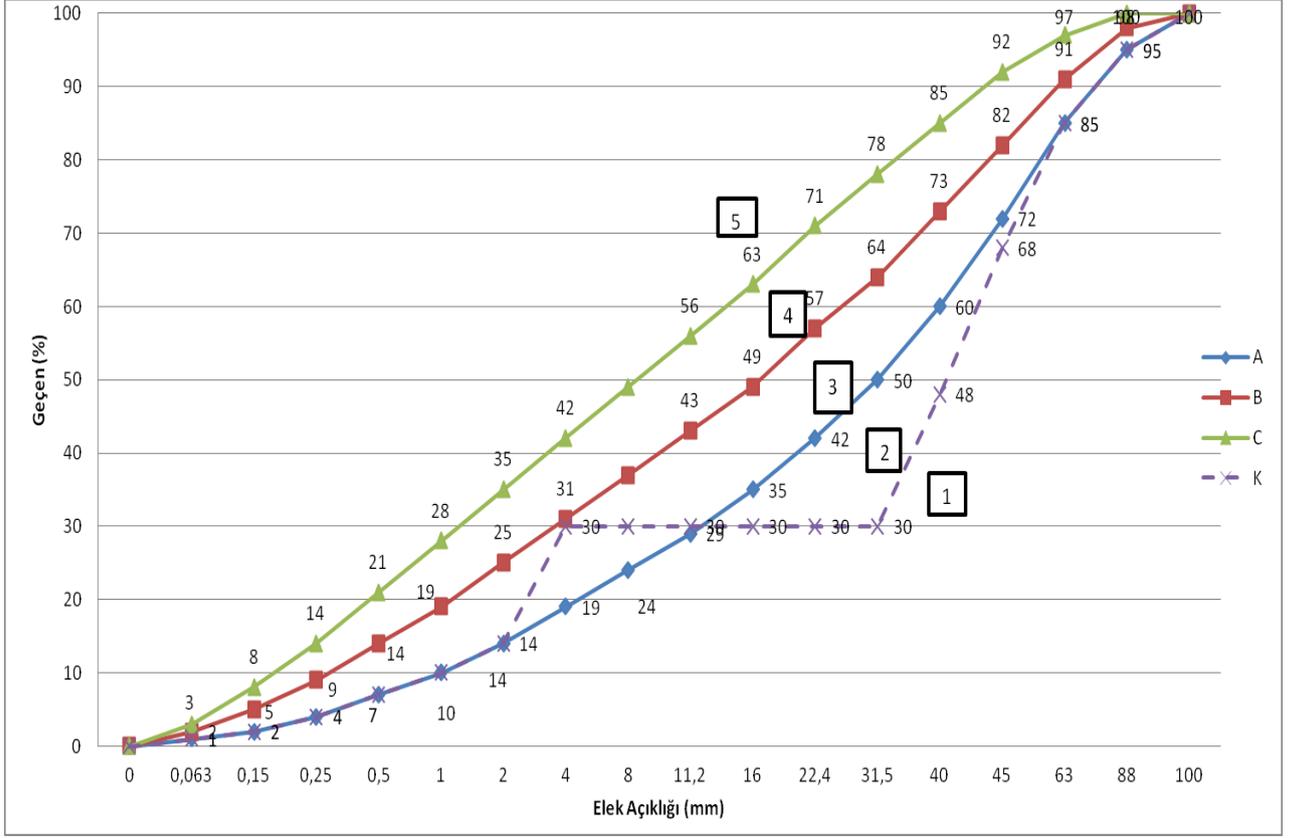
Şekil 2.1. Agrega en büyük tane boyutu (D_{maks}) 8 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri



Şekil 2.2. Agrega en büyük tane boyutu (Dmaks) 16 mm olan betonlar için belirlenen gradasyon eğrileri



Şekil 2.3. Agrega en büyük tane boyutu (Dmaks) 32 mm olan betonlar için belirlenen gradasyon eğrileri



Şekil 2.4. Agrega en büyük tane boyutu (Dmaks) 64 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri [19].

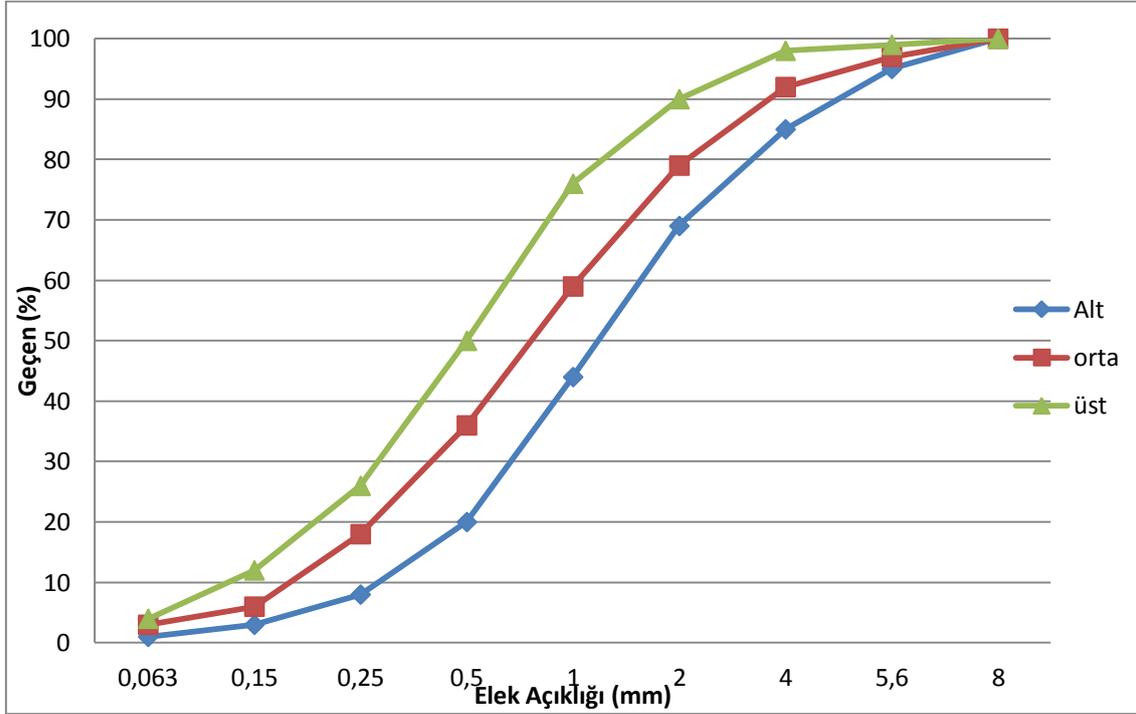
2.2.3. Pompa ile iletilen beton

Döküleceği yere bir pompa vasıtası ile bir hortum veya boru içerisinde aktarılan beton olarak tanımlanmaktadır. Pompa ile iletilen beton için agrega en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak Madde 5.3.1 ve Madde 5.3.2'ye uygun olarak agrega tane dağılımı eğrileri uygulanmalıdır. Pompa ile betonun sorunsuz bir şekilde iletilmesi için betonun uygun işlenebilirlik (TS EN 12350-2 standardına göre belirlenmiş en az 100 mm çökme), uygun kohezyon ve ayrışmaya (segregasyona) uğramaması gibi özellikleri bir arada barındırması gerekmektedir.

Pompa ile iletilen betonlarda ince agreganın tane dağılımı iri agregaya göre daha önemlidir. Pompalanmaya uygun ince agrega(kum) için önerilen elek göz açıklıkları ve yığışimli elekten geçen sınırlar aşağıda Tablo 2.2'de veya Şekil 2.1'deki gibi olmalıdır. Pompa ile iletmeye uygun betonda ince agreganın incelik modülü 2.30 ile 3.10 arasında olacak şekilde seçilmelidir. İncelik modülü ve hesaplaması ile ilgili bilgiler TS 706 EN 12620'de tarif edilmektedir.

Tablo 2.2. Pompa ile iletilen betonda kullanılacak ince agrega için önerilen tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar

| Elek göz açıklığı, (mm) | Elekten geçen,(%) (yığışımli) | Elekte kalan,(%) (yığışımli) |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 8 | 100 | 0 |
| 5.6 | 95-100 | 0-5 |
| 4 | 85-98 | 2-15 |
| 2 | 69-90 | 10-31 |
| 1 | 44-74 | 26-56 |
| 0.5 | 20-50 | 50-80 |
| 0.25 | 8-25 | 75-92 |
| 0.15 | 3-10 | 90-97 |
| 0.063 | 0-3 | 97-100 |
| Pan | 0 | 100 |



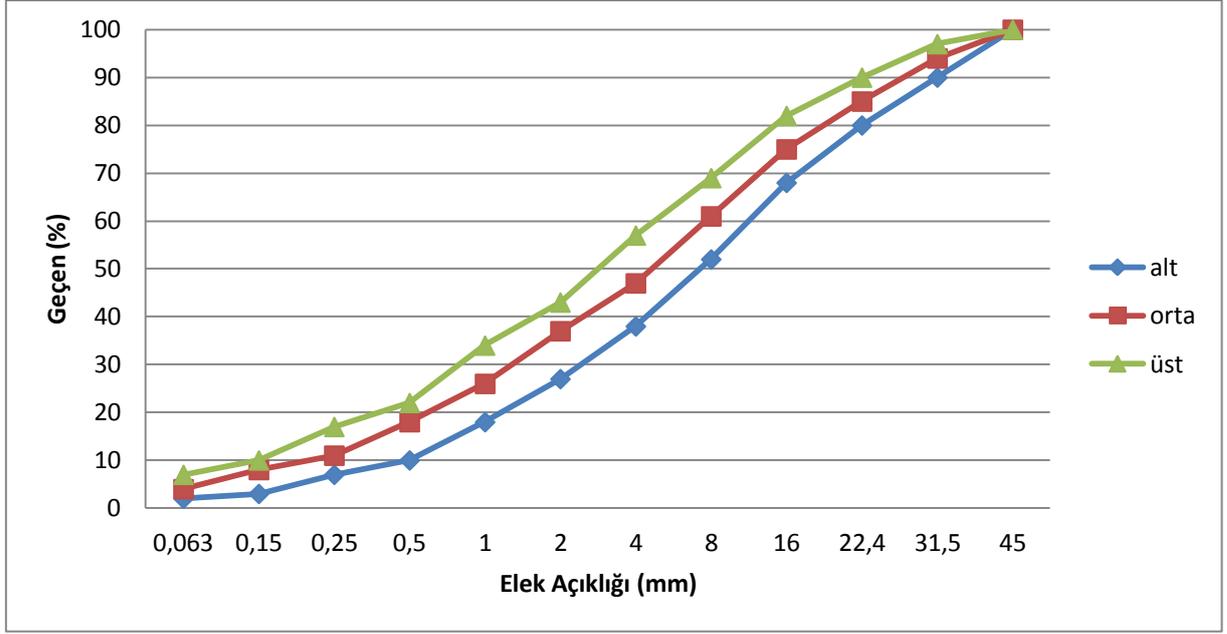
Şekil 2.5. Pompa ile iletilen betonda kullanılması önerilen ince agregaya ait tane büyüklüğü dağılım eğrisi

2.2.4. Pompa ile iletilen betonda karışık (tüvenan) veya farklı agregaya sınıflarının belirli oranlarda birleşmesi ile oluşturulan agregaya tane dağılım eğrilerine ait sınırlar

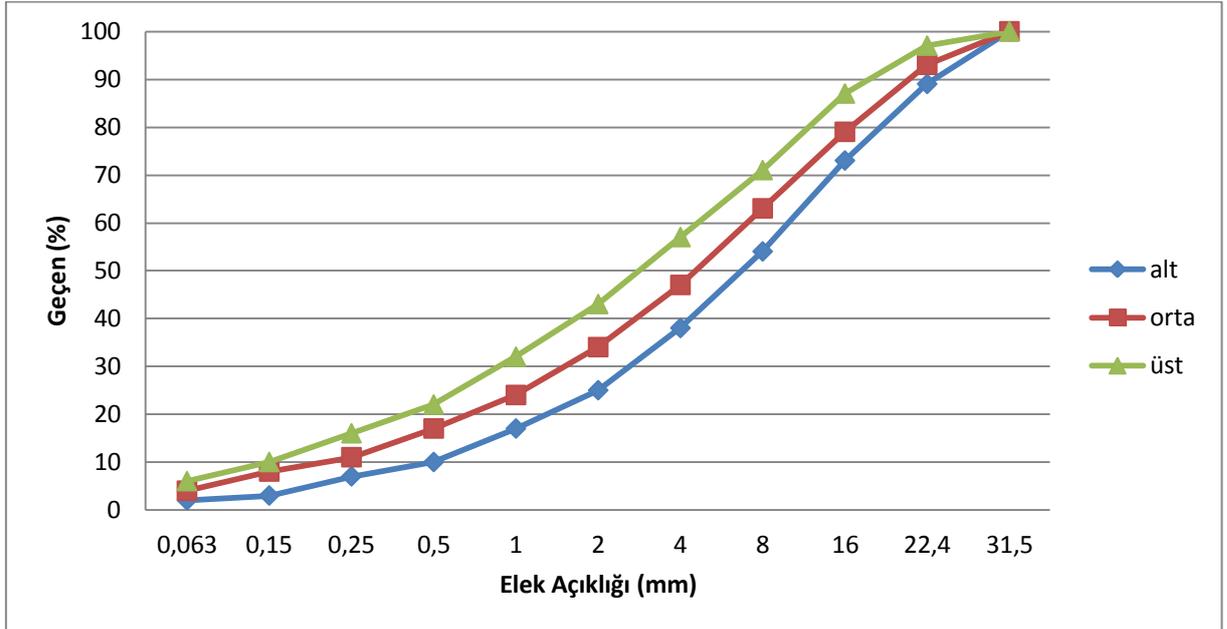
Agrega en büyük tane büyüklüğü 31.5 mm ve 22.4 mm olan karışık (tüvenan) ve iri ve ince agregaya sınıflarının birlikte olduğu karışımlar için, pompa ile iletmeye uygun tane dağılım eğrileri Tablo 2.3'e uygun olmalıdır. Tablo 2.3'te verilen tane dağılım sınırları Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Pompa ile iletmeye uygun betonlarda kullanılan tüvenan veya sınıflandırılmış agregaya içindeki ince agregaya kısmı Şekil 2.5'te verilen tane dağılımına da uygunluk sağlamalıdır[19].

Tablo 2.3. Pompa ile iletilen beton için kullanılması önerilen ve en büyük tan boyutları 31.5 mm ve 22.4 mm olan agregaya karışımlarına ait tane büyüklüğü dağılımı sınırları

| Elek göz açıklığı,mm | Elekten geçen,%(yığışimli) | |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | En büyük tane boyutu 31.5mm | En büyük tane boyutu 22.4mm |
| 45 | 100 | - |
| 31.5 | 90-97 | 100 |
| 22.4 | 80-90 | 89-96 |
| 16 | 68-82 | 73-86 |
| 8 | 52-69 | 54-71 |
| 4 | 37-56 | 37-56 |
| 2 | 26-43 | 25-43 |
| 1 | 17-33 | 16-32 |
| 0.5 | 10-23 | 10-22 |
| 0.25 | 6-16 | 6-15 |
| 0.15 | 3-10 | 3-10 |
| 0.063 | 1-5 | 1-5 |
| Pan | 0 | 0 |



Şekil 2.6. En büyük agrega tane boyutu 31.5 mm olan ve pompa ile iletmeye uygun betonda kullanılan önerilen tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar



Şekil 2.7. En büyük agrega tane boyutu 22.4 mm olan pompa ile iletmeye uygun betonda kullanılması önerilen tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar

2.2.5. Agreganın tane sınıflarına ayrılması

Betonun agrega en büyük tane büyüklüğüne göre sınıflandırılmasında, betonda kullanılan agrega en büyük tane sınıfının üst anma büyüklüğü ($D_{en\ büyük}$) esas alınır. Beton karışım tasarımı yapılırken en büyük agrega tane büyüklüğünün seçimi tüm beton

içindeki agregayı temsil edecek kadar olmalıdır. Bazı durumlarda betondaki agreganın en büyük tane büyüklüğü, TS 3530 EN 933-1'e göre yapılan agreganın elek analizi sonucunda kullanılan elek serisi arasında malzemenin kaldığı en üst elek üzerinde % 10'dan fazla elekte kalan varsa bir üst elek açıklığı, % 10'dan daha az kaldığında ise bu elek göz açıklığı $D_{en\ büyük}$ olarak kabul edilir. Agregaların d/D gösterilişi kullanılarak agreganın tane sınıfı cinsinden belirtilmelidir. Agreganın tane sınıfları TS 706 EN 12620 Madde 4.2'de verilen temel elek serisi veya temel elek serisi + seri 1 veya temel elek serisi + seri 2 sütunlarından seçilen bir elek göz açıklığı çifti kullanılarak belirtilmeli ve istenilen şartları sağlamalıdır[19].

Not – TS 706 EN 12620'ye göre, üst anma büyüklüğü $D_{en\ büyük}$ agreganın büyüklüğüne bağlı olarak tarif edilen en büyük elek göz açıklığıdır.

Beton imalatında kullanılacak olan agreganın tüvenan olarak değilse, beton yapımı sırasında agreganın karıştırıcıya, genellikle 3 tane, 4 tane veya 5 tane sınıfına ayrılmış olarak koyulacağı karışım hesaplarında göz önünde bulundurulmalıdır. Bu hususta Tablo 2.4 'ten yararlanılmalıdır. Tablo 2.4'te verilen agreganın tane büyüklüğü sınıfları, uygulanması gereken en az sınıflardır. Gerekli durumlarda tane sınıfı müşterinin izniyle artırılabilir veya azaltılabilir. Bununla birlikte Tablo 2.4 'te verilen agreganın tane büyüklüklerinden başka diğer elek göz açıklıkları da gerekli görüldüğünde agreganın tane büyüklüğü dağılımı ve sınıflandırması için kullanılabilir.

Tablo 2.4.Beton agregasının tane sınıflarına ayrılması

| Beton sınıfı | Karışımdaki agrega en büyük tane büyüklüğü (D _{max}), mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------------------------------------|-----|-----|------|------------|---|-----|------------|----------|-----|------------|-------------------|-------------------|-----|------------|-----------------|-----|-------------------|-----------------|-----|------------|-------------------|-----------------|
| | Tane sınıfı sayısı | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| | 8 | | | 11.2 | | | 16 | | | | 22.4 | | | | 32 | | | 45 | | | | 63 | |
| C16/20 | 0/4 | 4/8 | | 0/4 | 4/1 1.2 | | 0/4 | 4/1 6 | | 0/4 | 4/1 1.2 | 11. 2/2 2.4 | | 0/4 | 4/1 1.2 | 2/3 2 | | 22. 4/4 5 | | 0/4 | 4/1 6 | 16/ 32 | 32/ 63 |
| C20/25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C25/30 | 0/2 | 2/4 | 4/8 | 0/2 | 2/4 | | 0/4 | 4/8 6 | 8/1 6 | 0/2 | 2/4 | 4/1 1.2 | 11. 2/2 2.4 | 0/4 | 4/8 6 | 16/ 32 | 0/4 | 11. 2/2 2.4 | 22. 4/4 5 | 0/4 | 4/1 1.2 | 11. 2/2 2.4 | 22. 4/6 3 |
| C30/37 | 0/2 | 2/4 | 4/8 | 0/4 | 4/1 1.2 | | 0/4 | 4/8 6 | 8/1 6 | 0/4 | 4/1 1.2 | 11. 2/2 2.4 | | 0/4 | 4/1 1.2 | 11. 2/3 2 | | 22. 4/4 5 | | 0/4 | 4/1 6 | 16/ 32 | 32/ 63 |
| C35/45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C40/45 | | | | 0/2 | 2/4 | | | 4/1 1.2 | | 0/2 | 2/4 | 4/1 1.2 | 11. 2/2 2.4 | 0/2 | 2/4 | 11. 2/3 2 | | 22. 4/4 5 | | 0/4 | 4/8 | 8/1 6 | 16/ 32 |
| C45/55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C50/60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2.2.6. Su/çimento oranının (s/ç) seçilmesi

Su /çimento oranı, betonun (katkılı veya katkısız) dayanım sınıfı ve maruz kalacağı dış etkilerin şiddeti ile ilişkilidir. TS EN 206-1’de yer alan farklı iklim şartlarına ve çevre etkilerine maruz kalan betonlarla ilgili kısımda betonun içinde bulunacağı çevre etki sınıfı belirlenmeli ve bu sınıfa uygun en az çimento dozajı, en düşük karakteristik basınç dayanımı ve en büyük s/ç oranı gibi parametreler belirlenmelidir. Karışım tasarımında kullanılacak hedef basın dayanımları, beton sınıflarına bağlı olarak Tablo 1.16 ’da ve 28 günlük basınç dayanımlarına bağlı olarak s/ç oranları ise Tablo 2.6’da verilmiştir. Betonun döküleceği ortamın iklim ve çevre şartları öncelikle belirlenmeli ve beton, dayanım sınıfından önce durabilite yönünden değerlendirilmeye alınmalıdır. Betonda zararlı kimyasal ortamlarla ilgili ilave bilgiler, alınması gerekli önlemler ve kriterler için TS 3440 standardına bakılmalıdır[19].

Tablo 2.5. Beton sınıflarına göre karışım hesabında esas alınacak hedef basınç dayanımları (f_{cm}) ile deney numunelerinin sahip olması gereken ortalama basınç dayanımları

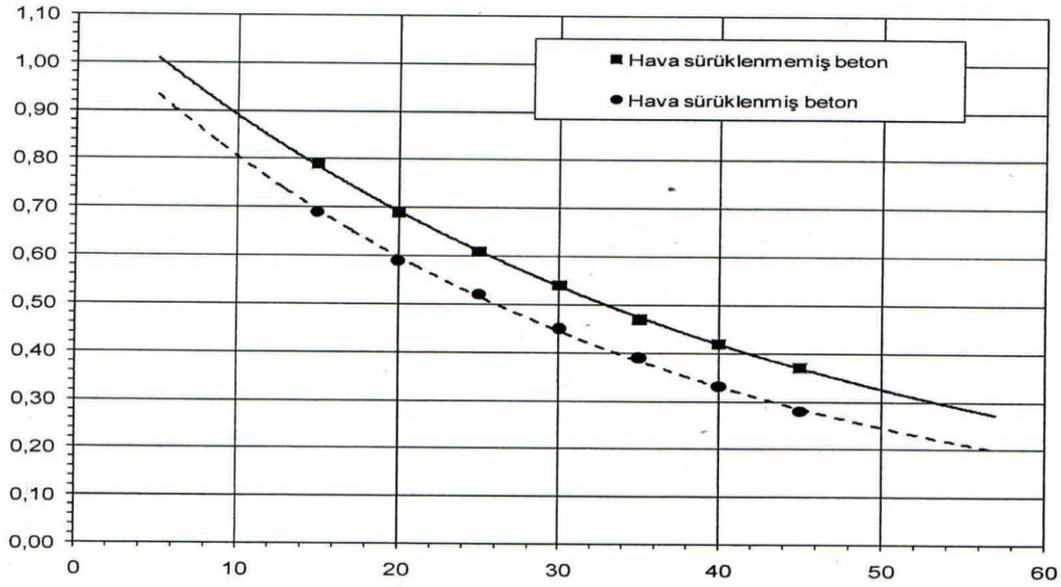
| Beton sınıfı | Karakteristik basın dayanımı, f_{ck} (MPa) | | f_{cm} , ortalama silindir basın dayanımları kgf/cm ² (N/mm ²) | | |
|--------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | Karakteristik silindir (150x300) f_{ck} (MPa) | Eşdeğer küp (150x150x150) (mm) f_{ck} (MPa) | Standard sapma biliniyorsa | Standard sapma bilinmiyorsa | |
| | | | | (150x300) (mm) silindir | (150x150x150) (mm) küp |
| C14/16 | 14 | 16 | f _{cm} = f _{ck} +1,48σ | 18 | 20 |
| C16/20 | 16 | 20 | | 20 | 24 |
| C18/22 | 18 | 22 | | 22 | 26 |
| C20/25 | 20 | 25 | | 26 | 31 |
| C25/30 | 25 | 30 | | 31 | 36 |
| C30/37 | 30 | 37 | | 36 | 43 |
| C35/45 | 35 | 45 | | 43 | 53 |
| C40/50 | 40 | 50 | | 48 | 58 |
| C45/55 | 45 | 55 | | 53 | 63 |
| C50/60 | 50 | 60 | | 58 | 68 |
| C55/67 | 55 | 67 | | 63 | 75 |
| C60/75 | 60 | 75 | | 68 | 83 |
| C70/85 | 70 | 85 | | 78 | 93 |
| C80/95 | 80 | 95 | | 88 | 103 |
| C90/105 | 90 | 105 | | 98 | 113 |
| C100/115 | 100 | 115 | 108 | 123 | |

Tablo 2.6. 28 günlük beton basınç dayanımlarına göre yaklaşık s/ç oranları

| Basınç dayanımı (28 gün) (150x300)mm silindir (Mpa) | Su/çimento oranı | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | Hava sürüklenmemiş beton | Hava sürüklenmiş beton |
| 45 | 0.37 | ---- |
| 40 | 0.42 | ---- |
| 35 | 0.47 | 0.39 |
| 30 | 0.54 | 0.45 |
| 25 | 0.61 | 0.52 |
| 20 | 0.69 | 0.6 |
| 15 | 0.79 | 0.7 |

Not 1 – Tablo 2.6’da verilen basınç dayanımları; 28 günlük basınç dayanımı TS EN 197-1’e uygun yalnızca CEM I 42.5 Portland çimentosu kullanılarak, en büyük tane büyüklüğü 19mm ve 25mm arasında olan, doğal şekillenmiş agrega tane dağılımı uygun, TS EN 12390-2’ye göre kür edilmiş betonun (150x300) mm silindir dayanımlarıdır. Hava sürüklenmiş betonun hava içeriği yaklaşık % 6’dır. Eşdeğer küp numune dayanımları bu değerlerden yaklaşık % 20 kadar daha büyük olarak kabul edilebilir. CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V çimentoları için Tablo 2,6’da verilen dayanımlar uygun olmayabilir, ancak yaklaşım olarak kullanılabilir.

Not 2 – Aynı s/ç oranı için elde edilecek beton basınç dayanımları; 28 günlük basınç dayanımları CEM I 42,5’ten yüksek çimento kullanıldığında Tablo 2.6’da verilen değerlerden daha fazla olur. Bununla birlikte, agrega en büyük tane büyüklüğü 25 mm’den büyük olursa çimento dozajı azalacağından Tablo 2.6’da verilen değerlerden daha az olacaktır. Diğer tip çimentolar için Tablo 2.6 ve Şekil 2.8’den elde edilen bilgiler geçerli değildir.



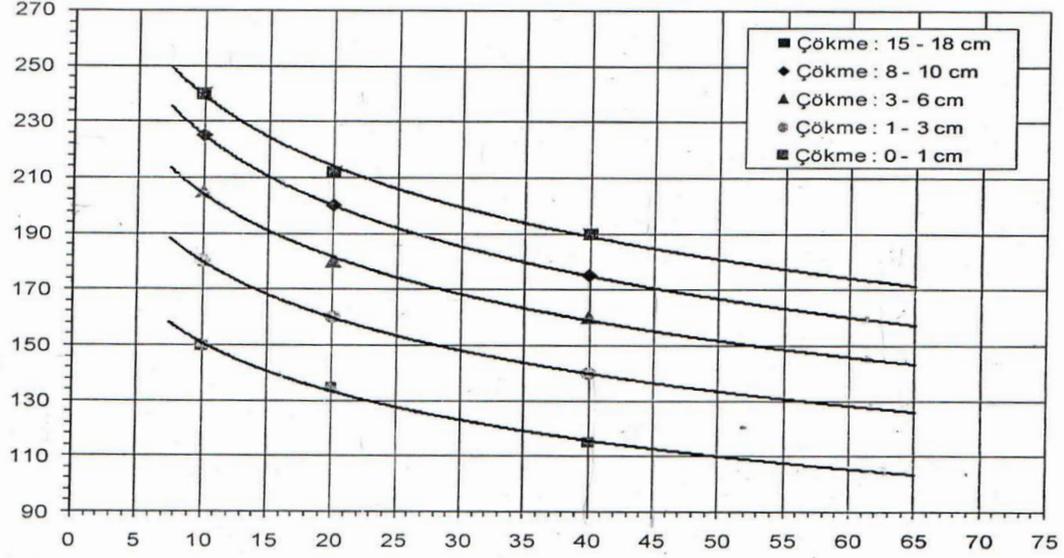
Şekil 2.8. Tablo 2.6’da verilen s/ç oranı ile basınç dayanımı arasındaki yaklaşık ilişkinin grafiksel olarak değerlendirilmesi[19].

2.2.7. Su miktarının (s) seçilmesi

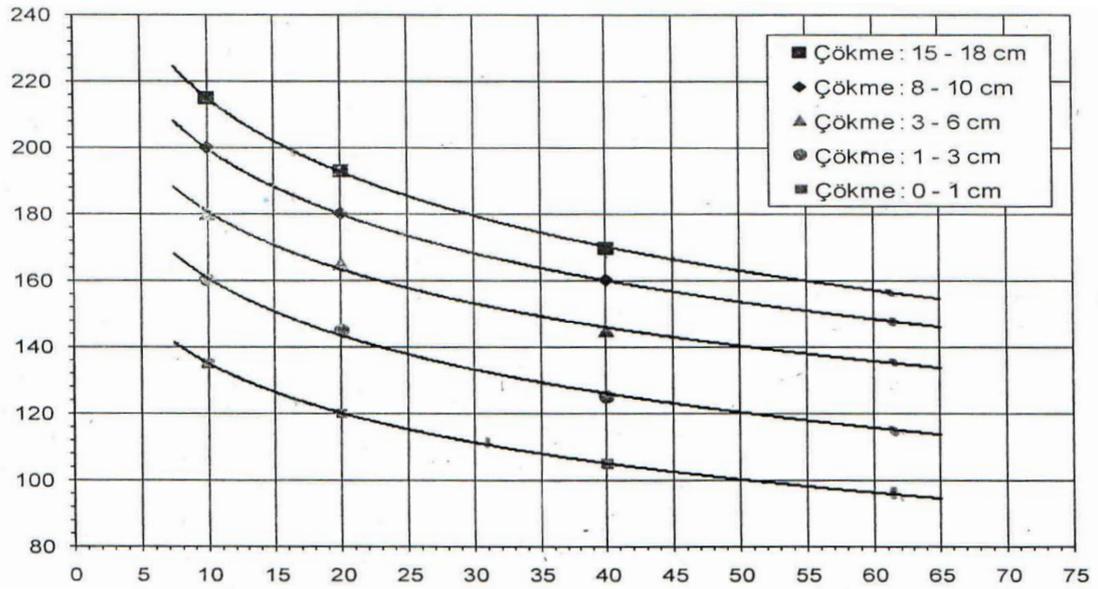
Beton karışımına ilave edilecek su miktarı, en az çimento miktarı ve en büyük su/çimento oranı bilindiği durumlarda hesaplanarak bulunmalıdır. Ancak, istenilen kıvamın (TS EN 12350-2) sağlanması amacıyla gerektiğinde su ilave edilmeli veya azaltılmalıdır. Gerekli durumlarda da kimyasal katkılardan faydalanılmalıdır.

Beton yapımı için gerekli karma suyu miktarı (s), doymun agreganın yüzeysel nem suyu ve ilave olarak verilecek suyun toplamıdır. Bu toplam su miktarı, çimento miktarı ile büyük ölçüde bağlantılı olmayıp betonun kıvamı, agreganın tane dağılımı, tane şekli, yüzey alanı, çok ince agreganın ve karışıma girecek havanın miktarı ile ilişkili olup taze ve sertleşmiş betonda aranan işlenebilme özelliği ve dayanıklılık özelliklerini sağlayacak en az miktar olarak seçilmelidir. Betonun karışım suyu miktarı, kıvama, agrega en büyük tane büyüklüğüne ve betonun kimyasal katkı ve hava sürüklenmiş olup olmadığına göre değişir. Betonda kimyasal katkı kullanılması ve kullanılan kimyasal katkının tipi, betonda karışım suyu miktarını önemli ölçüde etkiler. Şekil 2.9, Şekil 2.10, Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de hava sürükleyici katkı haricinde herhangi bir kimyasal katkı kullanılmadan yapılan betonların kıvama, agrega en büyük tane büyüklüğüne ve agrega tipine bağlı olarak yaklaşık karışım suyu miktarları verilmektedir. Kimyasal katkı ile beton yapıldığında, kimyasal katkının cinsine bağlı

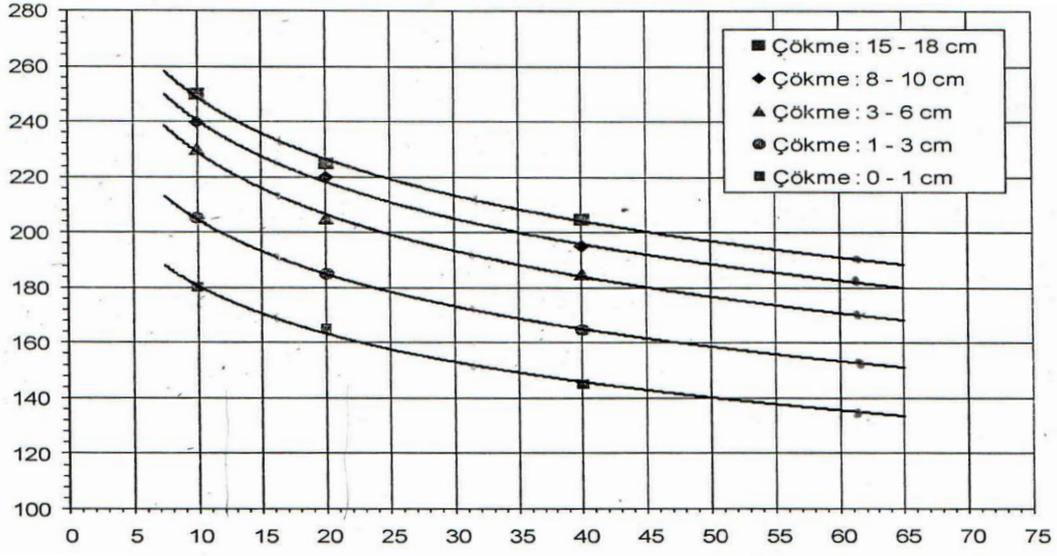
olarak, grafiklerden bulunan karışım suyu miktarlarından belirli oranda su azaltma ile katkıli beton karışım suyu miktarına geçilebilir.



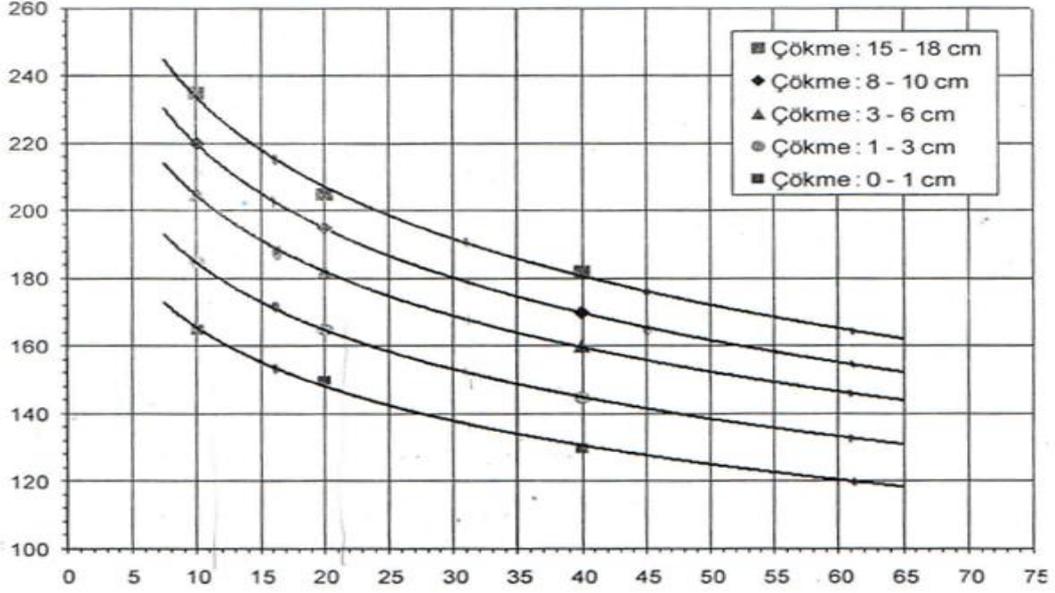
Şekil 2.9. Doğal şekillenmiş agregalar ile farklı en büyük tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı



Şekil 2.10. Doğal şekillenmiş agregalar ile farklı en büyük tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı[19].



Şekil 2.11. Kırırmetaş agregalar ile farklı en büyük tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı



Şekil 2.12. Kırırmetaş agregalar ile farklı en büyük tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı

2.2.8. Hava miktarının seçilmesi

Betonun toplam hava içeriği (TS EN 12350-7 standardına göre belirlenen), iklim şartlarına ve agrega en büyük tane büyüklüğüne uygun olarak seçilmelidir. Hava sürüklenmiş olan hava boşluklarının çimento pastası içinde homojen dağılımının sağlanıp sağlanmadığının kontrolü için sertleşmiş betonda hava boşluk özelliklerinin TS EN 480-11 standardına göre tayini yapılmalı ve donma ve çözülme etkilerine karşı dayanıklı beton için gerekli kriterler sağlanmalıdır.

Not – Beton tasarımında 37,5 mm veya 40 mm'nin üzerindeki agrega tane boyutları kullanıldığında, ölçülen hava içerikleri de betonun ıslak elemesinden sonra bulunan değerlerdir. Bu nedenle, beton tasarımı yapılırken 37,5 mm veya 40 mm'den daha büyük agrega tane büyüklüğüne sahip betondaki hava içeriği (A) 37,5 mm elek göz açıklığında ıslak eleme yapıldıktan sonra bulunan hava içeriği (a) arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir;

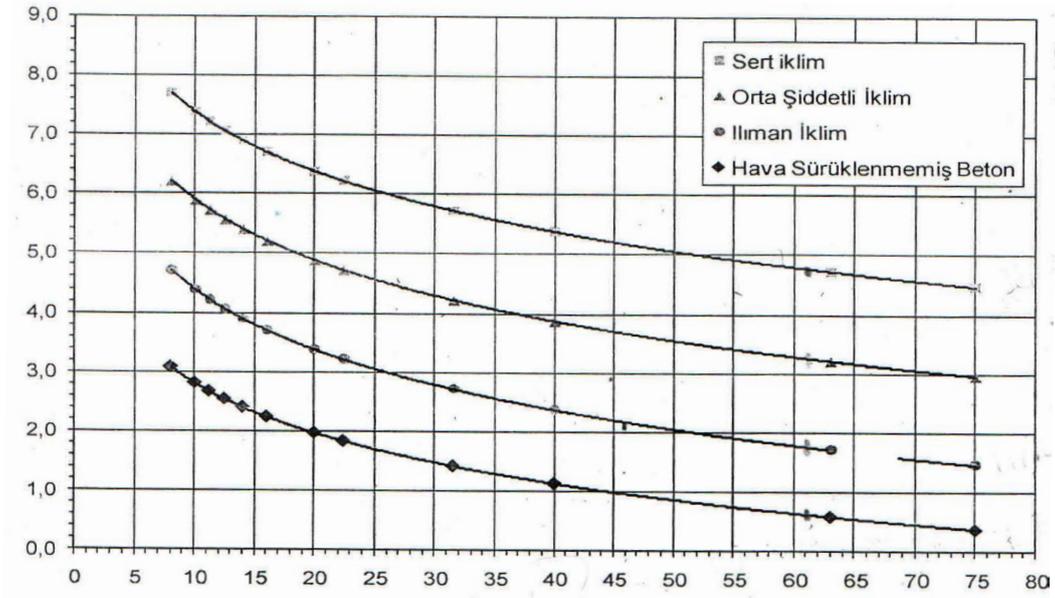
$$A = \frac{a}{1+r\left(1-\frac{a}{100}\right)}$$

Burada;

A: 37.5 mm elekten ıslak eleme yapılmamış betonun toplam hava içeriği, %

a: 37.5 mm elekten ıslak eleme yapılmış betonda ölçülen hava içeriği, %

r: 37.5 mm veya 40 mm elek üzerinde kalan malzemenin hacminin, karışımdaki diğer tüm malzemelerin (agrega, çimento ve su) hacmine oranıdır.



Şekil 2.13. Agrega en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesaplarında kullanılacak uygun hava içerikleri[19].

2.2.9. Kıvamın seçilmesi

Betonun su içeriğine ve kullanılan kimyasal katkılara bağlı olarak belirlenen kıvam sınıfları TS EN 206-1 standardına uygun olmalıdır. Kendiliğinden yerleşen beton ve çok yüksek akışkan betonlar hariç, beton kıvamı TS EN 12350-2'ye göre belirlenmeli ve randımanlı döküm ve homojen bir yapı oluşmasını sağlayacak en düşük değerde olmalıdır. Genellikle taze beton için çökme değerleri projede betonun döküleceği inşaat tekniğine ve yapı tipine göre önceden belirlenmelidir. Ancak, betonun yerleştirilme şartlarına göre kıvam gerektiğinde artırılabilir veya azaltılabilir. Beton, hazır beton olarak bir tesiste pompa ile iletilerek dökülecek ve yerleştirilecekse bu durumda daha yüksek kıvam değeri pompa ile iletilen beton için Madde 5.3'te verilen agrega granülometri eğrilerinden yararlanılarak belirlenmelidir. Beton teknolojisindeki ilerlemeler, betonda kimyasal katkı kullanımının oldukça yaygınlaşmış olması, betonun pompalar vasıtasıyla dökülmesi ve yerleştirilmesi nedeniyle aynı s/ç oranı veya daha düşük s/ç oranları ile ayrılmayan, kohezif ve aşırı terleme yapmayan beton imal etmek yoluyla çökme değerleri istenilen düzeylere getirilebilir. Kıvamın herhangi bir şekilde belirtilmediği işlerde, uygun çökme değerleri aşağıdaki Tablo 2.7'den alınabilir.

Tablo 2.7. Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme (çökme) değerleri

| Yapı elemanları | Çökme, (mm) | |
|----------------------------------------------------------------|-------------|----------|
| | En az | En fazla |
| Betonarme temel duvarları ve ayaklar | 30 | 80 |
| Donatısız beton temeller, kesonlar ve alt yapı duvarları | 30 | 80 |
| Kiriş, kolon, betonarme perdeler, tünel yan ve kemer betonları | 50 | 100 |
| Döşeme betonları | 30 | 80 |
| Tünel taban kaplama betonları | 20 | 50 |
| Baraj kütle betonu | 20 | 50 |

Not – Betonun pompa ile iletilmesi ve kimyasal katkıları kullanılması durumunda en fazla çökme değerlerinin, su/çimento oranı aynı veya daha küçük olması şartıyla bir miktar daha artırılmasına izin verilmektedir. Vibrasyon tekniği dışında yerleştirilen betonlar için ise en fazla çökme değerlerinin 30 mm daha artırılmasına izin verilebilir[19].

TS 802 2009 ÖRNEK SORU

En dar boyutu 25 cm, donatısının pas payı 35mm olan, çok soğuk iklim şartlarında sık sık donmaya çözülme etkilerine maruz kalabilecek bir kolon için, hava sürükleyici katkı kullanarak yapılacak C25/30 betonun karışım hesabının yapılması istenmekte olup betonun yapılacağı şantiyenin çalışma şartları bilinmemektedir. Kullanılacak malzemeler;

Çimento

CEM I 42,5R ($p_c = 3.15 \text{ kg /dm}^3$).

Agrega (Kırmataş Agregası)

Su emme: İri çakıl için % 0.5, ince çakıl için % 0.8 ve ince agregası için % 1.5 olarak tespit edilmiştir.

Doğal rutubetler: İri çakıl için % 1.0, ince çakıl için %1.2 ve ince agrega için %3.5 olarak tespit edilmiştir.

Yoğunluk: İri ve ince çakıl için 2.80 kg/dm^3 ve ince agrega için 2.65 kg/dm^3 (doygun kuru yüzey hali)olarak tespit edilmiştir.

Hesaplama ;

Agrega en büyük tane büyüklüğü;

32 mm olarak bulunur.

Tane sınıflarına ayırma;

Yapılacak betonun sınıfı C25/30 olduğu için 0/4, 4/16, 16/32 olarak üç tane sınıfına ayırmak yeterlidir[19].

Tane büyüklüğü dağılımı (granülometri) seçimi;

Ocaktan alınan agrega karışık olarak elde edilmekte ve 38mm veya 40 mm elekten elenmek suretiyle en büyük tane büyüklüğü 31.5 mm olarak belirlenmektedir. Agreg a karışım oranları iri çakıl yüzdesi olarak % 28, ince çakıl yüzdesi olarak % 25 ve ince agrega yüzdesi olarak % 47 şeklinde belirlenmiştir. Karışık agrega içerisinde ince agreganın incelik modülü ise 2.82 olarak hesaplanmaktadır.

Su/çimento oranı;

C 30/37 sınıfı betonun laboratuarda hedef dayanımının silindir için ortalama 36 Mpa ve küp için ortalama 43 Mpa olduğu görülmektedir. TS 802'deki Şekil 2.8' de 36 Mpa a karşılık gelen s/ç oranı 0,38 olarak bulunur.

Çökme değeri;

Düşük s/ç oranı elde etmek amacıyla yüksek oranda su azaltıcı/akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılması daha uygun olacaktır. Kullanılan kimyasal katkı miktarı, katkı uygunluk deneyi sonucu istenilen işlenebilirlik değerini sağlayabilecek şekilde

çimento dozajına oranla % 1.5 olarak tespit edilmiştir. Kimyasal katkının yoğunluğu 1.15 olarak alınmıştır.

Karışım suyu miktarı;

Hava sürüklenmiş betonlar için 190 kg/m^3 olarak belirlenebilir. Ancak yüksek oranda su azaltıcı bir süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılacağı için , %15 civarında su azalması yapılabileceği kabul edildiği takdirde su miktarı yaklaşık 160 kg/m^3 olur.

Hava muhtevası;

Hava miktarı, TS 802'de taze betona % 5.0 hava sürüklemesi yapacak şekilde % 0.05 olarak tespit edilmiştir.

Çimento miktarı;

$\text{Ç} = 160/0.38 = 420 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmektedir.

Çimento hacmi;

1 m^3 betonda bulunacak çimento hacmi

$420/3.15 \cong 133.3 \text{ dm}^3$ olarak hesaplanır.

Kimyasal katkı hacmi;

Toplam çimento dozajı 420 kg/m^3 olduğuna göre kimyasal katkı miktarı 1 m^3 betonda

Akışkanlaştırıcı katkı miktarı;

$420 \times 1.5/100 = 6.3 \text{ kg}$,

Hava sürükleyici katkı miktarı;

$420 \times 0.0005/100 = 0.21 \text{ kg}$ olarak hesaplanır.

Bu miktar kimyasal katkıların hacmi ise sırasıyla $6.3/1.15=5.48 \text{ dm}^3$ ve $0.21/1.01=0.20$ olarak bulunur.

Agrega hacmi;

$$W_a/P_a = 1000 - (133.3 + 160 + 5 \times 10 + 5.48 + 0.20) = 651.1 \text{ dm}^3$$

Agreganın ortalama özgül kütlesi;

$$\rho_a = \frac{1}{\frac{0.28}{2.80} + \frac{0.25}{2.80} + \frac{0.47}{2.65}} = 2.727 \text{ kg/dm}^3$$

$$\frac{0.28}{2.80} + \frac{0.25}{2.80} + \frac{0.47}{2.65}$$

Toplam agrega miktarı (W_a) ve her sınıf agrega miktarları;

1 m³ beton içine ilave edilecek agrega miktarı,

$$M_a = W_a \times P_a = 651.1 \times 2.727 = 1775.5 \text{ kg olarak hesaplanır [19].}$$

$$\text{İnce agrega (0/4) mm } M_{(0/4)} \text{ DKY} = 1775.5 \times 0.47 = 834.5$$

$$\text{İnce çakıl (4/16) mm } M_{(4/16)} \text{ DKY} = 1775.3 \times 0.25 = 443.9$$

$$\text{İri çakıl (16/32) mm } M_{(16/32)} \text{ DKY} = 1775.3 \times 0.28 = 497.1$$

Her tane sınıfı için gerekli agrega miktarı TS 802'de Şekil 2.14'de gösterilen oranlarla Tablo 2.2'deki gibi hesaplanır [13].

Agrega ve karışım suyu için rutubet düzeltme işlemi;

Her tane sınıfı için $S_e - R$ hesaplanmalıdır.

$$\text{İri çakıl için; } 0.5 - 1.0 = -0.5$$

$$\text{İnce çakıl için, } 0.8 - 1.2 = -0.4$$

$$\text{İnce agrega için, } 1.5 - 3.5 = -2.0$$

Bütün değerler negatif (-) olduğundan hepsinin ıslak olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda karışıma girecek su miktarının azaltılması gerekecektir.

$$W_1 = W_0 + \sum_{i=1}^n M_{ai}(DKY) \times \left(\frac{S_e - R}{100} \right) = 160 + 497.1 \times (-0.5/100) + 443.8 \times (-0.4/100) + 834.4 \times (-0.2/100) = 139.0 \text{ kg/m}^3$$

Ayrıca kimyasal katkının %50 sinin su olduğu varsayıldığında, bu su miktarından katkının yarısı kadar daha su azaltmak gerekiyor. Bu durumda nihai su miktarı;

$$W = 139 - \frac{6.3}{2} = 135.9 \text{ kg/m}^3 \text{ olur.}$$

Agregaların su düzeltme işlemi sonrasında 1 m³ beton karışımı için tartılması gerekli miktarları;

$$M_{(16/32)} = 497.1 - 497.1 \times \frac{-0.5}{100} = 499.6 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{(4/16)} = 443.9 - 443.9 \times \frac{-0.4}{100} = 445.7 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{(0/4)} = 834.5 - 834.5 \times \frac{-2.0}{100} = 851.2 \text{ kg/m}^3$$

Tablo 2.8. Şekil 2.14’te tespit edilen agrega karışım oranları ile tespit edilen 1 m³ beton için DKY ve rutubet düzeltmesi yapılmış agrega miktarları

| Tane sınıfları | Agrega karışım oranları | Agrega özgül kütleleri g/dm ³ | Agrega DKY kütleleri kg/m ³ | Agrega su emmeleri % | Agrega rutubetleri % | S _r -R % | Agrega rutubet düzeltmesi kg / m ³ | Karışım suyu düzeltmesi kg / m ³ |
|----------------|-------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0/4 | 47.0 | 2.65 | 834.5 | 1.50 | 3.5 | -2.0 | 851.2 | -16.7 |
| 4/16 | 25.0 | 2.80 | 443.9 | 0.80 | 1.2 | -0.4 | 445.7 | -1.8 |
| 16/32 | 28.0 | 2.80 | 497.1 | 0.50 | 1.0 | -0.5 | 499.6 | -2.5 |
| Toplam | 100 | | 1775.5 | | | | 1796.5 | -21.0 |

Tablo 2.9’ da 1m³ agrega DKY kütleleri ve 1m³ su düzeltilmesi yapılmış kütleler ile 25 dm³ deneme dökümü için karışıma girecek malzemelerin miktarları verilmiştir.

Tablo 2.9. 25 dm³ Deneme karışımı için hesaplanan miktarlar[19].

| Malzemeler | 1m ³ beton için DKY miktarlar kg | 1m ³ beton için düzeltilmiş miktarlar kg | 25dm ³ için miktarlar |
|----------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Çimento | 420 | 420 | 10.500 |
| Su | 160 | 135.9 | 3.397 |
| Kimyasal Katkı | 6.3 | 6.3 | 0.158 |
| İri çakıl | 497.1 | 499.6 | 12.491 |
| İnce çakıl | 443.9 | 445.7 | 11.141 |
| İnce agrega | 834.5 | 851.2 | 21.279 |
| Toplam | 2361.8 | 2361.8 | 58.97 |

2.2.10. Deney karışımlarının ayarlanması

Bu hesaplamalar tamamlandıktan sonra laboratuarda 25dm³ deneme karışımının yapılması ile istenilen çökme değeri, birim hacim kütle ve hava muhtevası ölçümleri yapılmak suretiyle gerçek karışım oranları TS 2941 standardında belirtilen taze beton akma değeri dikkate alınarak belirlenmelidir.

25dm³ deneme karışımı yapıldıktan sonra, istenilen 15 cm çökme değeri için karışıma 250 cm³ su ilave edildiği varsayılınsın. Betonun havası ise yaklaşık % 6.0 olarak ölçüldüğü varsayılınsın. Bu durumda hava sürükleyici katkı miktarı bir miktar azaltılacaktır. Genelde her % 1.0 hava muhtevası azaldığında, karışım suyu yaklaşık 3kg/m³ artacaktır. Ayrıca betonun s/ç oranı değişmiştir.

25dm³ betonda kıvam sağlanması için 250 cm³ su ilave edildiğinden 1m³ beton için gerçek DKY su miktarı aşağıdaki gibi düzeltilmelidir.

$$W = \{ W_0 + (W_d/100) \times (1000/25) \} = \{ 160 + (250/1000) \times (1000/25) \} = 170 \text{ L/m}^3$$

DKY durumundaki su miktarı $W = 160 + 10 = 170 \text{ kg/m}^3$ olacaktır, ancak hava sürükleyici katkı miktarının da azaltılarak taze betonun hava içeriği % 5,0 değerine

getirilmesi gerekmektedir. Hava içeriği % 6,0 dan % 5,0 a ayarlanacağında % 1,0 hava içeriği azalınca suyun 3 kg/m³ artırılması gerekecektir. Bu durumda gerçek su miktarı,

$$W = 170 + 3 = 173 \text{ kg/m}^3 \text{ olur.}$$

s/ç oranı 0,38 değerinde sabit kalması gerektiğinden çimento miktarı da artacaktır.

$$C = \frac{173}{0.38} = 455 \text{ kg/m}^3 \text{ olacaktır.}$$

Bu duruma göre yeni kimyasal katkı miktarları, karışım suyu miktarı ile agrega hacmi;

$$V_a = W_a/P_a = 1000 - ((455/3.15) + 173 + 50(455 \times 0.015/1.15) + (455 \times 0.0005/1.01)) = 626.5 \text{ dm}^3$$

Deneme karışımından sonra yapılan düzeltmeler sonunda 1m³ betona girecek olan agrega özellikleri ile karışıma giren gerçek miktarlar aşağıda Tablo 2.10' da verilmiştir.

Tablo 2.10. 1m³ beton için malzemelerin yeni miktarı

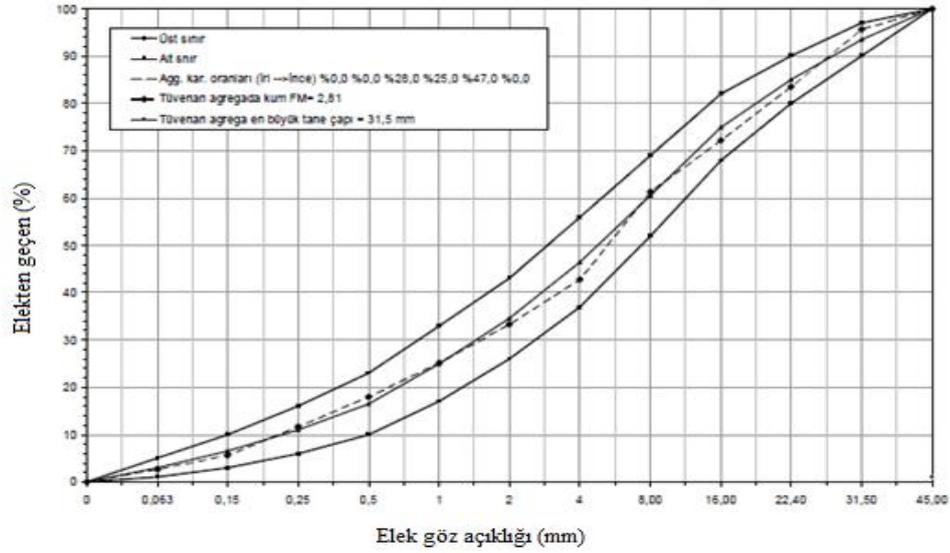
| Tane sınıfları | Agrega karışım oranları | Agrega özgül kütleleri g/dm ³ | Agrega DKY kütleleri kg/m ³ | Agrega su emmeleri % | Agrega rutubetleri % | S _t -R % | Agrega rutubet düzeltmesi kg / m ³ | Karışım suyu düzeltmesi kg / m ³ |
|----------------|-------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0/4 | 47.0 | 2.65 | 803.0 | 1.50 | 3.5 | -2.0 | 819.0 | -16.1 |
| 4/16 | 25.0 | 2.80 | 427.1 | 0.80 | 1.2 | -0.4 | 428.8 | -1.7 |
| 16/32 | 28.0 | 2.80 | 478.4 | 0.50 | 1.0 | -0.5 | 480.8 | -2.4 |
| Toplam | 100 | | 1708.5 | | | | 1728.6 | -20.0 |

Son olarak yapılan düzeltmeler sonunda tekrar 25 dm³ deneme dökümü yapılmalı ve karışım oranları ile taze beton özellikleri aşağıda verilen Tablo 2.11'ye göre doğrulanmalıdır. Doğrulama işlemi tamamlandıktan sonra ise numune alma için en az 40 dm³ beton karışımı hazırlanmalıdır.

Tablo 2.11. 1m³ beton için DKY miktarlar, rutubet düzeltilmesi yapılmış ve 40 dm³ düzeltilmiş numune alma için beton karışım miktarları

| Malzemeler | 1m ³ beton için DKY miktarlar kg | 1m ³ beton için düzeltilmiş miktarlar kg | 40dm ³ için miktarlar |
|-------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Çimento | 455 | 455 | 18.200 |
| Su | 173 | 149.4 | 5.977 |
| Kimyasal Katkı | 6.825 | 6.825 | 0.273 |
| İri çakıl | 478.4 | 480.8 | 19.230 |
| İnce çakıl | 427.1 | 428.8 | 17.153 |
| İnce agregası | 803.0 | 819.0 | 32.761 |
| Toplam | 2343.3 | 2343.3 | 93.59 |

Betonda kullanılan agregası tane dağılımı kesikli çizgi ile gösterilmiş olup bu eğri için belirlenen oranlar grafik üzerinde verilmiştir[19].



Şekil 2.14 Örnekte kullanılan agreganın Şekil 2.6'da verilen pompa ile iletilen betonda kullanılmaya uygun tane dağılım eğrisi

2.3. ACI 211-1

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından önerilen yöntem, Amerika'da ve diğer birçok ülkede oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. ACI yöntemine göre beton karışım tasarımı 9 adımdan oluşur. Hesaplamalara başlamadan önce ince ve iri agreganın elek analizi, incelik modülü, iri agrega kuru gevşek birim ağırlığı, malzemelerin özgül ağırlıkları, agrega su emme kapasiteleri ve mevcut nem oranları, hava yüzdesi ve agrega tane boyut dağılımına (gradasyon) bağlı olarak karışım suyu ihtiyacındaki farklılıklar, dayanım ve su-çimento oranı arasındaki ilişki, maksimum su-çimento oranı, minimum hava yüzdesi, minimum çökme miktarı, agrega en büyük tane boyutu ve hedef dayanım değerlerinin bilinmesi gereklidir [14].

Beton, agrega, çimento, su ve katkı maddelerinden oluşmaktadır. Beton aynı zamanda katkı maddeleri ya da hava sürükleyici çimento kullanılarak belirli bir miktar hava içerebilir. Kimyasal katkıları işlenebilirliği arttırmada, karışım suyu ihtiyacını azaltmada, mukavemetin artmasında geciktirici, hızlandırıcı etkisi ya da betonun diğer özelliklerini değiştirmede sıklıkla kullanılırlar. Miktar ve türüne bağlı olarak silis kumu, granüle curufu, doğal puzolanlar ve uçucu küller gibi belirli çimento malzemeleri

portland ya da harmanlanmış çimentolarda ekonomiyi ya da belirli özellikleri sağlamada birlikte kullanılabilir.

Beton oranlarının seçimi görünüm, yoğunluk, dayanıklılık, güç, işlenebilirliği için ekonomi ve gereksinimleri arasında bir denge içerir. İstenen özellikler kullanılarak beton tarafından belirlenir. Bu özellikler iş şartnamelerinde listelenmiş olmalıdır.

Bu Standart uygulama, kimyasal karışımlar ve diğer malzemelerle oluşturulan hidrolik çimentolu betonlar için uygun oranlarda seçim yöntemlerini açıklar. Normal ya da yüksek yoğunluklu agregalardan oluşan betonların inşaat alanlarında kullanımları uygun olacaktır. Aynı zamanda beton kütlesi için seçilecek uygun oranların kullanıldığı metotların açıklanmasını içerir. Burada bahsedilen hidrolik çimentolar portland çimento ya da katkı çimentodur. Betonun bu özelliklerini üretmek için laboratuvar ya da sahalarda deneme grupları tarafından metotlar kontrol edilir. Metrik sistem 2.3.7.'de anlatılmaktadır ve 2.3.7.3.'de örnek bir problem gösterilmektedir. Metrikte bahsedilen test yöntemleri 2.3.7.4'te verilmiştir[20].

2.3.1. Beton İçeriği

Beton, portland çimento veya katkı çimento, su ve agregadan oluşur. Aynı zamanda kimyasal karışımlar ya da diğer çimento karışımlarını da içerebilir. Belirli bir oranda da hava içerecektir ve bunlar hava sürükleyici çimento ya da katkı maddelerinin kullanılmasıyla da elde edilebilecek sürüklenmiş hava olabilir. Kimyasal katkılar, işlenebilirliği arttırmak, karışım suyu ihtiyacını azaltmak, hızlandırıcı etki gibi beton özelliklerini etkilemede sıklıkla kullanılır. Tipi ve miktarına bağlı olarak çimento materyalleri belirlenir. Örnek olarak uçucu kül, doğal puzolanlar, cüruf ve silika tozu verilebilir. Beton oranlarının seçimi güç, dayanıklılık, yoğunluk gibi ekonomi ve gereksinimler arasında bir denge içerir.

Gereksinimlerine uygun olarak teknoloji, 1900'dan beri sürekli kullanılmıştır. Su/çimento oranlarının hazırlanmasında kullanılan aletler 1918'li yıllara dayanmaktadır. 1940'lı yılların başlarında hava sürüklenmesinin bir sonucu olan dayanıklılık kavramında gözle görülür düzelmeler tanımlanmıştır. Beton teknolojisinde bu iki gelişme araştırma ve faaliyetlerin sonucu arttırılmıştır.

Koşullara bağlı olarak deneme karışımları laboratuvarlarda hazırlanır. İkinci prosedür laboratuvar ortamlarında varsayım tahminlerinden alan koşullarındaki

performansı tahmin edilecektir. 2 in'ten daha büyük boyutlarda kullanılan agregalar inşaat sırasında tipi ve boyutuna bağlı olarak düzeltilmeli ve ayarlanmalıdır. 2.3.7.4'te deneme ve test işlemleri anlatılmıştır.

Mevcut olan beton oranları sürekli kimyasal katkı maddeleri içermez. Çünkü hidrolik çimentolar kimyasal karışım ve materyaller içeren oranlamalara sahiptirler. Yeniden oranlanmış betonun performansı laboratuvar ya da alanlardaki deneme harmanlarında farklılıklar gösterebilir [25,26].

2.3.2. Temel bağıntı

- Beton oranları belirli bir uygulama için; yerleştirilebilme, yoğunluk, dayanım ve dayanıklılığı sağlamak için seçilmiş olması gerekir. Ayrıca kütle beton oranlamaları yapıldığında, ısı oluşumunun meydana geldiği göz önünde tutulmalıdır.

Yerleştirilebilme- Pratikliği ve tutarlılık terimlerini barındıran özellikleri kapsar. İşlenebilirlik beton özelliklerinden biridir. İşlenebilirlik, agreganın oranı, şekli, derecesi, çimento ve diğer materyallerin kütlesi ve miktarına bağlı olarak değişir. Bunlara sürüklenen hava ve kimyasal katkılarda ilave edilebilir.

Yoğunluk – Genel hatlarıyla tanımlanırsa, beton karışımlarının göreceli hareketleridir. İşlenebilirlik ile eş anlamlı değildir. Çökme (çökme) değeri ile ölçülür. Uygun şekilde oranlanan betonda belirli bir çökme değeri elde edilebilmesi için gerekli su içeriği birçok faktöre bağlıdır. Köşeli ya da kaba agregalar su ihtiyacını artırmaktadır. Karışım suyu ihtiyacı genellikle katkılar yardımıyla önemli ölçüde giderilebilir.

Dayanım– Betonun önemli bir özelliği olmasına rağmen, diğer özellikleri (dayanıklılık, geçirgenlik ve aşınma direnci) çok daha önemlidir. 28 günlük betonda mukavemet, beton oranlamada, betonun değerlendirmesinde ve betonun tasarımında önemli bir parametre olarak sık sık kullanılır. Bunlar genel bir ölçüde dayanım ile bağlantılı olabilir, fakat dayanım ile ilgili olmayan birçok faktörler tarafından etkilenirler. Kütle betonlarında karışımlar 28 günden daha fazla bir zamandaki dayanımı oluşturmak için oranlanır.

Su / çimento oranı – Beton dayanımı çimento başına kullanılan net su tarafından tespit edilir. Net su içeriği, agregalar tarafından çekilen su hariç tutulur. Farklı dayanımlarda

verilen s/ç oranı bazı nedenlerden dolayı değişebilir. Bunlar, agreganın maksimum boyutu, yüzey dokusu, agreganın sertliği gibi nedenler olarak sıralayabiliriz.

Dayanıklılık – Betonun donma, çözülme, ısınma, soğuma gibi faktörler karşısında ömrünün uzun olması gerekir. Bunlardan bazılarında özel malzemelerin kullanılması ile geliştirilmesi mümkündür.

Yoğunluk – Belirli uygulamalar için, betonun ağırlık özelliği ön plana çıkmaktadır. Örnek olarak, petrol boru hatlarında, köprü vs. yerlerde görmek mümkündür. 350 lb/ft³ gibi yüksek yoğunluklu betonlar özel agregalar kullanılarak elde edilir.

Isı üretimi – Kütle beton oranlarında önemli bir hususta tamamlanan yapının boyutu ve şeklidir. Yerleşmiş betonda ısının oluşumunu kontrol etmek için birtakım ölçümlerin yapılması gerekir. Kütle içindeki hacim değişikliği sonucu sıcaklık değişimlerinin kontrol altına alınması gerekir. Çimentonun hidratasyonunda, 18 ile 72 saat içerisinde portland çimento/yard³'nün 100 lb başına 10 ile 15 F sıcaklık artışı oluşturacaktır. Kütle Betonunda sıcaklık artışı minimum tutulmaz ise ısı dağıtımına müsaade edilmelidir. Eğer şiddetli sıcaklık farkına maruz kalırsa termal gerilme altında çatlama olasılığı yüksektir.

2.3.3. Kimyasal katkıların, puzolanların ve diğer katkıların beton oranları üzerine etkileri

Katkılar: ACI 116R'ye göre katkılar su, agrega, hidrolik çimento ve fiber takviyeli malzeme dışındaki maddeler olarak tanımlanır. Dolayısıyla bu tanım malzeme ve ürün yelpazesinde son derece geniş bir alanını kapsamaktadır. Bu nedenle bu standart uygulamada kimyasal katkılar, doğal puzolanlar, yüksek fırın curufları, hava sürükleyici katkıların beton üzerindeki etkileri sınıflandırılmaktadır.

Hava sürükleyici katkılar: Hava sürüklenmiş beton çoğunlukla hava sürükleyici katkıların kullanılmasıyla elde edilir. Hava sürükleyici katkı maddelerinin kullanılması beton üreticisine bazı avantajlar kazandırır. Bu avantajlar içindeki en önemli özellik ise betona sağladığı esneklik özelliğidir. Hava sürükleyici katkıların miktarları çimento inceliği, sıcaklık, karışımın türü ve dayanımı, agrega özellikleri gibi bazı faktörlere bağlıdır.

Kimyasal katkıları: Bu malzemeler beton kalitesini artırmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Büzülme, çatlama, toplam su içeriği gibi önemli beton özelliklerini değiştirirler. Ayrıca bu katkı maddeleri ekonomiklik bakımından ön plandadır. ASTM C494 uyumlu kimyasal katkıları A'dan G'ye kadar gösterilmektedir.

Tip A : Su azaltıcı

Tip B : Geciktirici

Tip C : Hızlandırıcı

Tip D : Su azaltıcı ve priz geciktirici

Tip E : Su azaltıcı ve hızlandırıcı

Tip F : Su azaltıcı, yüksek oranda

Tip G : Su azaltıcı,

Diğer çimento materyalleri:

Çimento materyalleri, hidrasyon ısısının azalması, geliştirilmiş işlenebilirlik, dayanıklılık gibi özellikleri karşılamak amacıyla beton karışımlarında sıklıkla kullanılır. Bu malzemeler uçucu kül, doğal puzolanlar, cüruf ve silis dumanı gibi ürünler içerir. ASTM C 618'de tanımlandığı gibi puzolanlar silisli ve alüminyum içerikli materyallerdir.

Normal sıcaklık değerlerinde puzolanlar çimentolu bileşikler oluşturmak için CaOH

(kalsiyum hidroksit) ile kimyasal reaksiyona girerler. Betonda kullanılan uçucu küller iki sınıfta toplanırlar.

Yüksek fırın cürufu dökme demirin bir ürünüdür. Bu cüruf hızla soğutulursa özelliğini kaybeden bir çimento oluşacaktır. İşlemden sonra materyal GGBF cürufu olarak bilinir. GGBF cüruf kaliteleri sırasıyla 80, 100, 120 mukavemet potansiyeline sahiptir. Silis dumanı yüksek saflıkta kuvars azalması sonucu ortaya çıkan bir yan üründür. Betonda silis dumanının kullanılması 3 temel kategoride yer alır.

-Dayanıklılığı arttırılmış düşük geçirimsizliğe sahip beton üretimi

-Yüksek mukavemetli beton üretimi

-Çimentonun değişimi

Silis dumanının özgül ağırlığı yaklaşık olarak 2,2'dir. Portland çimento ile kıyaslandığında silis dumanının özgül ağırlığının düşük olması dikkat çekmektedir. Silis dumanının parçacık boyut dağılımı 1 mikrometreden daha küçüktür. Aşırı incelik ve

yüksek silis içeriği puzolanik materyallerin etkili malzemeler olmasında önemli rol oynar. Silis dumanı yüksek mukavemet, düşük geçirgenlik ve kimyasal beton dayanımı oluşumunda başarı ile kullanılırlar. Betonda silis dumanın maksimum potansiyeli elde edilmesi için su azaltıcı karışımlar ile kullanılmalıdır.

Silis dumanı içeren beton oranlamalarında aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır;

- a. Karışım: Karışım miktarı, karışım şartları ve kullanılan silis dumanının yüzdesine bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Karışım süresi boyunca dağılım çok önemlidir ve HRWR kullanımı büyük ölçüde yardımcı bir unsurdur.
- b. Hava sürüklenmesi: Beton içersinde yeterli hacimde hava oluşturmak için karışımda kullanılan hava sürükleyicilerin miktarı silis dumanının miktarı ile artırılabilir. Çünkü silis dumanı yüzey alanının artmasını sağlamaktadır.
- c. İşlenebilirlik: Silis dumanı içeren beton ile silis dumanı içermeyen beton kıyaslanırsa segragasyon eğilimi daha az olduğu görülür. Çimento materyallerinde ağırlıkça %10 ve üzeri silis dumanı içeren beton daha yapışkan bir hal alır. İşlenebilirliği sağlamak için çökme değerini 2-5 in arttırmak gerekir.
- d. Terleme: Silis dumanı betondaki terleme olayını azaltır. Terlemede görülen bu azalma silis dumanının yüksek yüzey alanı ile açıklanır. Terlemenin azalması sonucunda çatlama meydana gelebilir.

Karışımlar hazırlandığı zaman bazı faktörler dikkate alınmalıdır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- a- Çimentolu malzemelerin kimyasal aktivite ve beton dayanımları üzerindeki etkileri.
- b- İşlenebilirlik için ihtiyaca bağlı olarak karışım suyunun etkisi
- c- Malzemenin yoğunluğu ve üretilen betonun hacim üzerindeki etkisi
- d- Kimyasal katkıların dozaj ile oranları üzerindeki etkisi
- e- Beton özellikleri üzerindeki malzeme kombinasyonlarının etkisi
- f- Çimentolu malzeme ve çimento miktarının beton gereksinimlerinin karşılamak için gerekliliği.

Çimentolu materyallere ek olarak, beton karışımlarının değerlendirilmesi ve oranlanması işlemlerinin deneme karışımlarına dayalı olması gerekir.

Su ihtiyacı, gücü, priz süresi ve diğer özellikleri değerlendirilerek optimum miktarlar tespit edilmelidir. Ön bilgiler olmaksızın ASTM 'ye göre deneme dizini için oranlamalar tahmin edilir. Aşağıda beton için kullanılan çimento materyallerinin toplam ağırlığına göre maddelerin yüzdeleri verilmektedir.

F sınıfı uçucu kül - % 15-25

C sınıfı uçucu kül - % 15-30

Doğal puzolanlar - % 10-20

Öğütülmüş yüksek fırın cürufu - % 25-70

Silis dumanı - % 5-15

Özel projeler veya aranan bazı özellikleri sağlamak için betonun m³ başına kullanılan malzeme miktarları yukarıdaki değerlerden farklı olabilir.

Yüksek dayanım için bu değerler gereklidir. Genellikle, GGBF cüruf ve uçucu kül kullanılarak betonda işlenebilirlik ve istenilen çökme değerini elde etmek için gerekli karışım suyu miktarı sadece portland çimentosu kullanılan karışımlardan düşük olabileceği tespit edilmiştir. Silis kumu kullanımında portland çimentoya göre daha fazla karışım suyuna ihtiyaç duyulur.

- Farklı özgül ağırlıkları sebebiyle ilave edilen çimentolu malzemelerin ağırlığı, eşit ağırlıktaki portland çimento ile aynı hacmi işgal etmez. Katkılı çimentoların özgül ağırlığı portland çimentodan çok daha azdır. Bu nedenle katkılı çimento yada çimento ilave edilen maddeler kullanıldığı zaman malzemelerin gerçek özgül ağırlığı kullanılarak ayarlanmalıdır.

- C sınıfı uçucu kül, son derece düşük karbon içeriğine sahiptir. Genellikle sürüklenmiş hava ve hava sürükleyici katkı oranı üzerinde etkisi yok denecek kadar azdır. Birçok F sınıfı uçucu küller yüksek dozda hava sürükleyici gerektirebilir. Eğer karbon içeriği yüksek olursa gerekli olan bu doz oldukça değişken olabilmektedir

2.3.4. Ön bilgiler

- Mümkün olduğu ölçüde beton oranlarının seçiminde kullanılacak malzemeler, denemeler yada test bilgileri ışığında yapılmalıdır. Pratikte önerilen tahminlerde kullanılabilir..

- Mevcut malzemelerin aşağıdaki bilgileri yararlı olabilir.

- a- İri ve ince agreganın elek analizi
 - b- İri agreganın birim ağırlığı
 - c- Agreganın absorpsiyonu ve özgül ağırlığı
 - d- Uygun agregalar ile deneyimlerden geliştirilen betonun gerekli su-çimento ihtiyacı
 - e- Su/çimento artı çimento malzemeleri için su /çimento oranı ve dayanım arasındaki ilişki
 - f- Kullanılırsa, portland çimento ve diğer çimento malzemelerinin özgül ağırlığı
 - g-2.3.7.6'da tartışıldığı gibi kütle betonları için maksimum yoğunluk sınıflandırmalarını karşılamak üzere iri agreganın uygun kombinasyonu yapılır.
- Tablo 2.13 ve Tablo 2.14'ten uygun değerler seçilir.

2.3.5. Prosedür

Bu bölümde verilen karışım oranlarının seçimi normal ağırlıklı betonlar için geçerlidir. Bazı temel bilgi ve işlemleri kütle betonları ve ağır beton oranlamalarında kullanmamıza rağmen, beton tipleri için örnek hesaplamalar ve ek bilgiler 2.3.7.5 ve 2.3.7.6'da sırasıyla verilmiştir. Beton için gerekli ağırlık tahminleri, materyallerin uygun karakteristik özellikleri ile beraber mantıklı adımlarla izlenir.

İş özelliklerinde aşağıdaki bazı hususların ya da tamamının dikkate alınması gerekir

- Maksimum su-çimento oranı
- Minimum çimento içeriği
- Hava içeriği
- Çökme
- Agreganın maksimum boyutu
- Güç
- Agregası, diğer çimento malzemeleri, çimentonun özel tipleri, katkı maddeleri, dayanım gibi bazı özellikleri ile alakalı diğer gereksinimler

Betonun karakteristiği özellikleri, yd^3 başına düşen ağırlık tahminleri ya da ayrı ayrı belirlenen oranlamalar aşağıdaki sırayla yapılır.

a-Eğer çökme belirtilmemiş ise iş için uygun değerler Tablo 2.12'den seçilebilir.

Tablo 2.12. Beton birleşimi için titreşim kullanılan uygulamaların çökme oranları

| Yapı Türleri | Çökme ,in. | |
|--------------------------------------------|------------|---------|
| | Maksimum | Minimum |
| Güçlendirilmiş temel duvarları ve temeller | 3 | 1 |
| Düz temeller, kesonlar ve alt duvarlar | 3 | 1 |
| Kiriş ve takviyeli duvarlar | 4 | 1 |
| Bina sütunları | 4 | 1 |
| Kaldırımlar ve döşemeler | 3 | 1 |
| kütle beton | 2 | 1 |

*Kimyasal karışım kullanılması çökme değerini artırabilir. Bu olay, düşük çimento yada çimento materyaline sahip iyileştirilmiş betonlarda segregasyon potansiyeli olmamak kaydıyla gerçekleşir.

Agreganın Maksimum Boyut Seçimi

İyi dereceli maksimum boyuttaki agregalar küçük boyutlarına göre daha az boşluk ihtiva ederler. Bunun sonucunda büyük boyuttaki agregalı betonda birim hacim başına daha az harç kullanılmasını gerekir. Genel olarak maksimum boyuttaki nominal agregalar yapının boyutları ile tutarlı ve ekonomiklik bakımından ise uygun olmalıdırlar. Yüksek mukavemetli beton istenildiğinde, en iyi sonuçları nominal maksimum boyutlardaki agregaların azalması ile elde etmek mümkündür.

Tablo 2.13. Farklı çöküş ve agrega nominal maksimum boyutları için yaklaşık karışım suyu ve hava içeriği gereksinimleri

| Belirtilen agrega boyutları için karışım suyu miktarı | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------|---------|--------|---------|---------|------------|--------|---------|----------|
| Hava sürüklenmemiş beton | | | | | | | | |
| Çökme | 3/8in.* | ½ in.* | ¾ in. * | 1 in. * | 1-1/2 in*± | 2in.*+ | 3in. ++ | 6 in. ++ |
| 1-2 | 350 | 335 | 315 | 300 | 275 | 260 | 220 | 190 |
| 3-4 | 385 | 365 | 340 | 325 | 300 | 285 | 245 | 210 |
| 6-7 | 410 | 385 | 360 | 340 | 315 | 300 | 270 | - |
| 7ve üzeri | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Hava içeriği | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| Hava sürüklenmiş beton | | | | | | | | |
| 1-2 | 305 | 295 | 280 | 270 | 250 | 240 | 205 | 180 |
| 3-4 | 340 | 325 | 305 | 295 | 275 | 265 | 225 | 200 |
| 6-7 | 365 | 345 | 325 | 310 | 290 | 280 | 260 | - |
| 7 ve üzeri | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ortalama toplam hava içeriği | | | | | | | | |
| Hafif maruz kalma | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5*** | 1.0*** |
| Orta maruz kalma | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5*** | 3.0*** |
| Şiddetli maruz kalma † † | 7.5 | 7.0 | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5*** | 4.0*** |

* hava sürüklenmiş beton için verilen karışım suyunun miktarı gerekli toplam hava içeriğine bağlıdır. Karışım suyu, 66 ile 77 F 'da denemeler için hesaplanan çimento içeriğinde kullanılmak içindir. Yuvarlak yapıli agregalar hava sürüklenmiş betonlar için 25 lb, hava sürüklenmemiş betonlar için ise 30 lb daha az su gerektirecektir. ASTM C 494 su azaltıcı kimyasal karışımların kullanılması %5 oranında karışım suyunu azaltacaktır.

+ $1^{1/2}$ in den büyük agrega içeren betonda çökme değerleri ıslak eleme tarafından $1^{1/2}$ in büyük partiküllerin çıkarılmasından sonraki çökme deneylerine dayanır.

‡ Nominal maksimum boyutu 3 in yada 6 in olan agregalar kullanıldığında karışım suyunun miktarları çimento miktarını hesaplamak için kullanılır.

‘Hava içeriği hakkında gerekli tolerans için ACI dokümanları bir dizi belge olarak verilmiştir.

**büyük agregalar içeren betonlar için hava içeriği için önceki elek analizi $1^{1/2}$ in ıslak elenecektir. $1^{1/2}$ in eksi materyalde hava yüzdesi $1^{1/2}$ in sütununda tablo olmalıdır.

‡ ‡ düşük çimentolu betonda büyük agregalar kullanıldığında, hava sürüklenmesi dayanım açısından zararlı olmaz.

‡ ‡ Bu değerler harç halindeki betonda ihtiyaç duyulan %9 hava kriterine dayanır.

Karışım Suyu ve Hava İçeriğinin Tahminleri

İstenilen çökme değerini elde etmek için gerekli olan betonun birim hacmi için su miktarı önemli olup birçok faktöre bağlıdır. Bunları nominal maksimum boyut, agrega sınıflandırması, sürüklenmiş hava miktarı, kimyasal katkı maddelerin kullanılması gibi bir çok faktör şeklinde sıralayabiliriz. Çökme değeri çimento ya da çimento malzemeleri tarafından büyük oranda etkilenmez. Sürüklenen hava yada sürüklenmemiş hava, agreganın nominal maksimum varyasyonları ile üretilen beton için gerekli karışım tahminleri Tablo 2.13’ten sağlanır.

Kimyasal katkı maddeleri

Uygun işlenebilirlik, ekonomiklik, dayanıklılık, sıcaklık ayarları arttırmak ya da azaltmak beton oranlamalarının düzenlenmesinde kullanılırlar. Kimyasal katkı maddeleri hesaplanan yaklaşık değerlendirmelerden sonra hesaba katılıp kullanılmadığı. Sıvı katkı maddeleri karışım suyunun bir kısmı olarak düşünülebilir. Çökme değerini arttırmak için kullanılan kimyasal katkı maddeleri betonun özelliklerini geliştirmeyebilir.

Hava sürüklenmesi gerekli olabilir ya da arzu edilirse hava içeriği agrega büyüklüğüne bağlı olarak üç seviyede yapılır. Hafif, orta ve şiddetli maruz kalma şekilleri ile sıralanabilir.

500 psi ya da bu değere yakın mukavemetli betonda hava sürükleyicilerin normal kullanılması mümkün olmayabilir. Dondurucu soğuklar, çözücü tuzlar ve suya maruz kalma durumlarında dikkatli değerlendirmelerin yapılması gerekir. Eğer sürekli

ıslaklık ve tuz çözücülere maruz kalmayacaksa Tablo 2.13'te verilen değerler uygun olacaktır.

Deneme harmanları karışımın güç ilişkilerinde kullanıldığında, hava içeriği ve karışım suyunun kombinasyonları için de kullanılmalıdır. Hava içeriği izin verilen maksimum değerde olmalıdır. Eğer beton düşük çökme ya da hava içeriğine sahip olursa, maddelerin oranları gerekli akma elde edebilmek için ayarlanabilir.

Su çimento ya da su çimento materyallerin oranının belirlenmesi

Gerekli s/ç ya da s/ç+p hem güç gereksinimleri hem de dayanıklılık gibi faktörler için belirlenir. Farklı agregalar, çimentolar ve çimento materyalleri aynı s/ç veya s/ç+p değerlerinde farklı güçler ürettiği için güç ve s/ç, s/ç+p arasındaki ilişkiyi geliştirmek arzu edilen bir durum olacaktır. Bu verilerin olmaması halinde Type 1 portland çimento içeren beton için göreceli ve yaklaşık değerler Tablo 2.14'den alınır. Güç gereksinimleri yüksek değerler ile karşılanmasına rağmen farklı şartlar için s/ç ve s/ç+p oranı düşük tutulmalıdır.

Tablo 2.14. Su/çimento veya su-çimento malzeme oranı ve beton basınç dayanımı arasındaki ilişki

| 28 günlük basınç dayanımı,(psi)* | Su/çimento oranı, ağırlıklı | |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | Hava sürüklenmemiş beton | Hava sürüklenmiş beton |
| 6000 | 0.41 | - |
| 5000 | 0.48 | 0.40 |
| 4000 | 0.57 | 0.48 |
| 3000 | 0.68 | 0.59 |
| 2000 | 0.82 | 0.74 |

Hava sürüklenmiş beton için toplam hava yüzdesi %6 ve hava sürüklenmemiş beton için %2den fazla olmayan beton içeriği için ortalama dayanım tahminlerini verir. Hava içeriği arttığı gibi betonun dayanımı azalır.

Mukavemet gereksinimleri yüksek değerler ile karşılanırsa bile, maruz kalınan zor koşullar için s/ç ya da s/ç+p oranı düşük tutulmalıdır. Burada, Tablo 2.15 sınır değerlerini verir.

Puzolanik malzemeler olarak ifade edilen silis duman, uçucu kül GGBF cürüfu betonda kullanıldığında ilave edilen puzolanik materyaller ile su-çimento oranı miktarı dikkate alınmalıdır. s/ç+p oranı belirlemede kullanılan iki yaklaşım vardır. İlki puzolanik malzemelerin eşdeğer ağırlığı, ikincisi ise karışımda puzolanik materyallerin eşdeğer mutlak hacmidir. İlk yaklaşımda ağırlık denklemlerinde puzolanik

malzemelerin toplam ağırlığı aynı kalır. Fakat puzolanik materyallerde fazla çimentonun toplam mutlak hacmi biraz fazla olacaktır. İkinci yaklaşımda Örnek 2 kullanılır ve $s/(ç+p)$ ağırlığı aynı mutlak hacim değeri korunarak hesaplanır. Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak fazla puzolanik materyallerde su/çimento oranının için dönüştürücü eşitlikler aşağıdaki gibi verilmektedir.

Tablo 2.15. İzin verilen maksimum su-çimento veya su-çimento malzemeleri oranları

| Yapı türü | Donma çözülmeye maruz kalan ıslak yapılar | Deniz suyu veya sülfata maruz kalan yapılar |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| İnce kesitler (korkulukları, bordürler, eşikleri, çıkıntıları, süs çalışma) ve bölümler daha az çelik üzerine kapak 1 in daha | 0.45 | 0.40+ |
| Diğer tüm yapılar | 0.50 | 0.45+ |

Çimento dışında çimentolu malzemeler ASTM C 618 ve C 989 uygun olmalıdır. Betonda hava sürüklenmesi olmalıdır.

Ağırlık denklemleri

$s/ç+p$ ağırlık oranı, ağırlık eşdeğerliliği $=s/ç$

Burada,

$s/ç+p$ su ağırlığının çimentonun ağırlığı +puzolanik materyal ağırlığına oranıdır.

Ağırlıkça hedeflenen su/çimento oranı için çimento materyalinde kullanılan puzolanik materyallerin yüzdeleri genellikle ağırlıkça dile getirilir. Burada F_w toplam çimento ağırlığındaki yüzdece puzolanik materyaldir.

$F_w = P/c+p;$

P puzolanik materyalin ağırlığı, C ise çimento ağırlığıdır.

Puzolanik materyaller mutlak hacim yüzdesi olarak bilinirse şu dönüşüm olabilir

$F_w = 1/1+(3.15/G_p)(1/F_v-1);$

Burada F_v , puzolanik materyal çimentonun toplam mutlak hacminin mutlak hacim yüzdesi ve

$G_p =$ puzolanik materyalin özgül ağırlığı,

$$Y_c=3.15$$

Örnek 1– Eşdeğer ağırlık,

Su-çimento oranı 0.60 olursa, uçucu kül puzolan ağırlık olarak karışımdaki çimento materyalinin %20'si olarak kullanılır. Gerekli su-çimento, puzolanik materyaller oranları şöyledir,

$$s/\ç+p = s/\ç = 0.6 \text{ ve}$$

$$F_w = p/c+p = 0.20$$

270 lb/yd³ gerekli su karışım tahminleri varsayılarak çimento+puzolan'ın gerekli ağırlığı 270/0.60=450 lb'dir ve puzolan ağırlığı 0.20x450=90 lb'dir. Çimentonun ağırlığı 450-90=360 lb'dir. İlave puzolan çimentonun mutlak hacmi %20 olarak belirtilir ve şu denklemler elde edilir.

$$F_w = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{F_v} - 1\right) \left(\frac{3.15}{G_p}\right)}$$

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{1}{0.2} - 1\right) \left(\frac{3.15}{2.40}\right)}$$

$$F_w = \frac{1}{1 + (1.31)(4)} = \frac{1}{1 + (5.24)} = \frac{1}{6.24} = 0.16$$

%20 mutlak hacimde ağırlık %16 dır ve denemelerde puzolan ağırlığı (0.16)(450)=72 lb ve çimentonun ağırlığı 450-72=378 lb'dir.

$$\frac{s}{\ç+p} \text{ ağırlık oranı, mutlak hacim denkliği } \frac{\frac{s}{\ç} 3.15}{3.15(1-F_v) + G_p(F_y)}$$

$$\frac{s}{\ç+p} = \text{Suyun ağırlığının puzolanik materyal+çimento ağırlığına oranı}$$

$$\frac{s}{\ç} = \text{Ağırlıkça hedeflenen su çimento oranı}$$

3.15= Portland çimentonun özgül ağırlığı

F_v = İlave puzolanik çimentonun toplam mutlak hacminin yüzdesi

Gp= Puzolanik materyalin özgül ağırlığı

3,15=Portland çimentonun özgül ağırlığı

$$Fv = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{Fv} - 1\right) \left(\frac{Gp}{3.15}\right)}$$

Örnek 2- Örnek 1'deki bilgiler kullanıldı. Fakat ilave edilen puzolan çimento su eşitlikleri belirtilmelidir. Uçucu külün özgül ağırlığı 2.40 dır. Uçucu külün mutlak hacim değeri olarak %20 kullanılır. Gerekli çimento-su oranı 0.60 dır.

$$\begin{aligned} \frac{s}{\zeta + p} &= \frac{\frac{s}{\zeta} \cdot 3.15}{3.15(1 - Fv) + Gp(Fy)} \\ &= \frac{3.15(0.60)}{3.15(0.80) + 240(0.20)} \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

Hedeflenen oranı elde etmek için mutlak hacim eşitliğinden $\frac{s}{\zeta + p} = 0.63$ olur. Karışım suyu yeniden 270 lb/yd³ olursa, gerekli çimento+puzolan ağırlığı 270/0.63 =429 lb olur. Fv=0.20 için karşılık gelen ağırlık yüzdesi Fw=0.16 olarak yukarıdaki örnek 1'den hesaplanır. Uçucu kül ağırlığı 0.16(429)=69 lb ve çimento ağırlığı ise 429-69=360 lb olur.

$$\text{Uçucu kül} = \frac{69}{(2.40)(62.4)} = 0,461 \text{ ft}^3$$

$$\text{Çimento} = \frac{360}{(3.15)(62.4)} = 1.832 \text{ ft}^3$$

$$\text{Toplam} = 0.461 + 1.832 = 2.293 \text{ ft}^3$$

$$\text{Puzolan yüzdesi} = 0.461 \times 100 / 2.293 = \%20$$

Hacimce %20 uçucu kül yerine ağırlıkça %20 değer belirlenmiştir.

$$Fv = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{Fv} - 1\right) \left(\frac{Gp}{3.15}\right)}$$

$$= \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{0.2} - 1\right) \left(\frac{2.40}{3.15}\right)}$$

$$= 0.247$$

ağırlıkça %20 durumunda mutlak hacim yaklaşık %25'dir. Hacimce s/ç+p oranı eşdeğeri Fv değiştirildikten sonra tekrardan yenilenecektir.

$$\frac{s}{\text{ç}+p} = \frac{\frac{s}{\text{ç}} 3.15}{3.15(1-Fv) + Gp(Fy)}$$

$$= \frac{3.15(0.60)}{3.15(0.75) + 240(0.25)}$$

$$= 0.64$$

Toplam çimento materyali $270/0.64=422$ lb olabilir.

%20 bu ağırlıkla uçucu kül $(422)(0.20)=84$ lb, çimentonun ise $422-84=338$ lb değerleri hesaplanır.

Çimento içeriğinin hesaplanması

Betonun birim hacmi başına düşen çimento miktarı c ve d adımlarında yapılan tespitler tarafından sağlanmıştır. Gerekli çimento karışımı su içeriğinin su/çimento miktarına oranıdır. Puzolanik ve kimyasal karışımların kullanılması betonun tazeliğini ve hatta sertlik gibi özelliklerini etkileyecektir.

İri Agregat İçeriği Tahminleri

İri agreganın kuru birim ağırlığında verilen hacmi kullanılırsa, aynı nominal maksimum boyut ve sınıftaki agregalar yeterli işlenebilirlikte beton oluşturacaktır. Bu agregat hacimleri için yaklaşık değerler Tablo 2.16 'da gösterilmiştir. Betonun birim hacminde bulunan iri agreganın hacmi nominal maksimum büyüklük ve ince agreganın incelik modülüne bağlıdır. Harcın farklı miktarları farklı agregalar ile işlenebilirlik elde etmek için gereklidir. Çünkü tane şekli ve sınıflandırmalar sıkıştırılmış kuru birim ağırlık tarafından telafi edilir. Bu agregat hacimleri için yaklaşık değerler Tablo 2.16'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi eşit işlenebilirlik betonun birim hacmindeki iri agregat hacmine, nominal maksimum boyutlarına ve ince agreganın incelik modülüne bağlıdır.

İşlenebilirlik için, farklı harç miktarları agregaların tane ve sınıflandırma farklılıkları gereklidir.

Tablo 2.16. Birim hacim başına düşen iri agrega hacmi

| Nominal maksimum agrega boyutu, in | İnce agreganın farklı incelik modülü için birim hacim başına fırın kurusu sıkıştırılmış iri agrega hacmi + | | | |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
| | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 3/8 | 0.50 | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 1/2 | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 3/4 | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 1 | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 1 1/2 | 0.75 | 0.73 | 0.71 | 0.69 |
| 2 | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 3 | 0.82 | 0.80 | 0.78 | 0.76 |
| 6 | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Değerler ASTM C 29 da belirtildiği gibi agrega kuru birim ağırlığıdır. Bu değerler uygun işlenebilirlik derecesinde beton üretmek için deneysel bağıntılardan seçilmiştir.

Daha uygun işlenebilir beton, yoğun inşaat demiri ile ya da pompa yardımıyla elde edilebilir. %10'a kadar Tablo 2.16'da ki değerler kullanılarak belirlenen içerikte iri agrega tahminleri yapılır. Ancak betonun mukavemet özelliği, su-çimento materyali ya da su-çimento oranı belirlenirken çökme sonuçlarını sağlamak için dikkatli olunmalıdır

İnce agrega içeriği tahminleri:

F adımı tamamlandığında ince agrega dışında betonun tüm malzemelerinin tahminleri yapılmış olacaktır. Hem ağırlık hem de hacim metodunun her ikisi de kullanılmıştır.

- Eğer birim hacim başına düşen betonun ağırlığı varsayılırsa ya da deneyim tahminleri yapılsa, ince agreganın gerekli ağırlığı toplam malzeme ağırlığının ve taze beton ağırlığı arasındaki farktır. Genellikle betonun birim ağırlığı önceki deneyimlerden

makul doğrularla bilinir. Bu tür bilgilerin yokluğunda Tablo 2.17 ilk tahminleri yapmak için kullanılırlar. Yd^3 başına beton ağırlık tahmini kaba olsa bile, Karışım oranları örneklerde gösterileceği gibi deneme gruplar bazında kolay ayarlamalara imkân vermek için yeterli olacaktır. Yd^3 başına düşen taze betonun ağırlığının teorik olarak tam hesaplanması isteniyorsa, aşağıdaki formül kullanılabilir.

Tablo 2.17. Taze betonun ilk ağırlık tahminleri

| Nominal max agrega boyutu, in. | Taze betonun ilk ağırlığı, lb/yd ³ * | |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| | Hava sürüklenmemiş beton | Hava sürüklenmiş beton |
| 3/8 | 3840 | 3710 |
| 1/2 | 3890 | 3760 |
| 3/4 | 3960 | 3840 |
| 1 | 4010 | 3850 |
| 1 1/2 | 4070 | 3910 |
| 2 | 4120 | 3950 |
| 3 | 4200 | 4040 |
| 6 | 4260 | 4110 |

Değerler 2.7 özgül ağırlığa sahip agregalı orta çökme ve orta değerlikli beton için oluşturulan eşitlikler hesaplanmıştır. Su gereksinimleri bir önceki tabloda 3 ile 4 çökme değerlerine dayanır.

$$U=16,85 Ga(100-A)+c((1-Ga/Gc) w(Ga-1)$$

$$U= Yd^3 \text{ başına düşen taze betonun ağırlığı}$$

$$Ga= \text{Birleştirilmiş ince ve iri agreganın özgül ağırlık ortalaması}$$

$$Gc= \text{Çimentonun özgül ağırlığı}$$

$$A= \text{Hava içeriği, yüzde}$$

$$W= \text{Gerekli karışım suyu}$$

$$C= \text{Gerekli çimento}$$

İnce agrega miktarını hassas ve doğru hesaplamak için, toplam hacim su, hava, çimento, kaba agrega olarak bilinen maddeler betonun birim hacminden çıkartılır.

Agrega Nemi İçin Düzenlemeler

Beton dışında tutulan ve tartılması gereken agregâ tanelerine nem için izin vermelidir. Genel olarak agregâlar nemli olurlar ve onların kuru ağırlıkları su yüzdesi tarafından arttırılmalıdır. Harmana ilave edilen karışım suyu agregâlar tarafından katkı sağlayan nem miktarı tarafından düşürülmesi gerekir.

- Bazı durumlarda kuru agregâlar denemeler için gerekli olabilir. Eğer oluşan absorpsiyon %1'den yüksek ve agregâ partikülleri içerisindeki gözenek yapısı önemli bir bölüm yapısı fazla ise çökme kaybının oranı gözle görülebilir bir şekilde artabilir. Bu olayda karışım suyunun azalması etkili olur. Aynı zamanda su-çimento oranının etkisi agregâlar tarafından absorbe edilen su için azalmış olabilir. Bu tabi ki çimento partiküllerinin agregâ gözeneklerini oluşturmadıklarını varsayar.

- Eğer su absorpsiyon miktarı %1'den daha az olursa, ASTM C 192 ye göre laboratuvar deneme harmanlarında kurutulmuş agregâlara izin verir. Ancak yüksek absorpsiyonlu betonlar için, ASTM C 192 toplam neme bağılı olarak agregâ ağırlığı ayarlamaları ile absorpsiyonu karşılamak için agregâların ön hazırlanmalarını gerektirmektedir.

Toplu deneme ayarlamaları

Hesaplanan karışım oranları ASTM C 192'ye uygun olarak test edildi. Ancak yeterli miktarda olacak su deneme oranlarının seçiminde varsayılan miktarlardaki gerekli çökme elde etmek için kullanılabilir. Beton hava içeriği, akma ve birim ağırlık değerleri için yenilenmelidir. Uygun düzenlemeler aşağıdaki düzenlemelere uygun oranlarda üretilmelidir.

-27 günlük deneme harmanlarının içerdiği net karışım suyu ile betonun yd³başına düşen gerekli karışım suyu çarpılır ve ft³ olarak deneme harmanları tarafından üretilen akma değerine bölünür. Deneme harmanlarının çökme değeri doğru değilse, su miktarlarını arttırmak ya da azaltmak gerekir.

- İstenen hava içeriği sağlanmamış olmasaydı, uygun hava içeriği için gerekli katkı yeniden tahmin edilirdi ve bir önceki adımın karışım suyu arttırılır ya da azaltılırdı. Bu değer hava içeriği her bir yüzde için 5 lb olarak sağlanırdı.

- Taze betonun yd^3 başına düşen tahmini ağırlığı oranlamalar için temel alınır, yeniden yapılan tahminler 27 günlük deneme harmanlarının lb/ft^3 'deki birim ağırlığı ile çarpılarak ağırlık tahminleri yapılır ve deneme harmanlarından ayarlanan hava içeriği azaltan yada azalan yüzde sonuçları ile sonuçlar azalır yada artar.

-Hesaplanan yeni ağırlıklar adım 4 ile başlar, uygun işlenebilirlik sağlamak için gerekli durumlarda Tablo 2.16'dan gelen iri agrega hacmi değiştirilir.

2.3.6. ÖRNEK HESAPLAMALAR

İlk olarak Oranlama esaslarının uygulanmasında iki örnek problem yapılacaktır.

-Tip I hava sürüklenmemiş çimento kullanılacak ve özgül ağırlığı 3.15'dir.

- Her durumda iri ve ince agreganın genel kabul görmüş özellikleri değerlendirilir.

- İri agreganın özgül ağırlığı 2.68 ve su emme değeri % 0.5 dir.

- İnce agreganın su emme oranı % 0.7, özgül ağırlığı 2.64 ve incelik modülü 2.8 dir.

Örnek 1

Beton şiddetli hava şartlarına ya da sülfat saldırısına maruz kalmayacak yerlerdeki zemin altı seviyesindeki yapılarda olacaktır. Yapısal hususlar 3500 psi.'lik ortalama 28 günlük basınç dayanımına sahip olması gerekmektedir. Tablo 2.12'deki bilgiler ışığında, hem de önceki deneyimlerden, M in için No 4.'de mevcut olan iri agrega ve 3 ile 4 arasında bir çökme değeri kullanılmalıdır. İri agreganın kuru ağırlığı $100 lb/ft^3$ olarak bulunmuştur.

- Daha önce belirtildiği gibi istenilen çökme değeri 3-4 olmaktadır.

-No. 4 için $1^{1/2}$ agrega kullanılması uygundur.

- Yapı, etkili hava koşullarına maruz kalmayacağı için, gözeneklerinde hava sürüklenmemiş beton kullanılacaktır. M-in agrega ile 3 ile 4 çökme değerinde hava sürüklenmemiş beton üretmek için karışımdaki yaklaşık su miktarı Tablo 2.13'ten $300 lb/d^3$ olarak bulunur.

- Tablo 2.14'ten hava sürüklenmemiş betonda 3500 psi arasında bir güç üretmek için gerekli olan su/çimento oranının 0.62 olduğu bulunmuştur.

- Önceki bilgilere göre, istenilen çimento içeriği $300/0.62 = 484 \text{ lb} / \text{in}^3$ olduğu bulunmuştur.

- İri agreganın miktarı Tablo 2.16'dan tahmin edilmektedir. Nominal maksimum agreganın boyutu $1^{1/2}$ olan ince agreganın için incelik modülü 2,80 ve iri agreganın için ise tabloda sıkıştırılmış birim hacim 0.71 olarak bulunur. Her yd^3 için iri agreganın $27 \times 0.71 = 19.17 \text{ ft}^3$ olacaktır. $19,17 \times 100 = 1917 \text{ lb}$ olur.

- Su, çimento ve iri agreganın ile oluşturulan betonda geri kalan malzeme ince agreganın ve sıkışmış hava olacaktır. Gerekli olan ince agreganın mutlak hacim esas alınarak belirlenecektir.

Tablo 2.17'den Nominal maksimum agreganın $1^{1/2}$ ye karşılık gelen ve hava sürüklenmemiş betonun yd^3 ağırlığı 4070 olarak bulunur.

Önceden bilinen ağırlıklar

Net Su Karışımı = 300lb

Çimento = 484lb

İri Agreganın = 1917lb

Toplam = 2701lb

İnce agreganın ağırlığı bu durumda şu şekilde olacaktır.

$4070 - 2701 = 1369 \text{ lb}$ (kuru)

Mutlak Hacim Esası

Su hacmi = $300/62.4 = 4.81 \text{ ft}^3$

Çimento katı hacmi = $484/3.15 \times 62.4 = 2.46 \text{ ft}^3$

İri agreganın hacmi = $1917/2.68 \times 62.4 = 11.45 \text{ ft}^3$

Hapsolmuş hava hacmi = $0.01 \times 27 = 0.27 \text{ ft}^3$

İnce agreganın dışındaki maddelerin toplam katı hacmi = 19.00 ft^3

Gerekli ince agreganın katı hacmi = $27 - 19.00 = 8.00 \text{ ft}^3$

Gerekli kuru agreganın ağırlığı = $8.00 \times 2.64 \times 62.4 = 1318 \text{ lb}$

| | Tahmini beton ağırlığı | Mutlak lb hacme göre malzemeler |
|---------------------|------------------------|---------------------------------|
| Net su karışım | 300 | 300 |
| Çimento | 484 | 484 |
| İri agreganın, kuru | 1917 | 1917 |

İnce agrega, kuru 1369 1318

-Test sonuçları ince agregada %6 iri agregada ise %2 toplam nem oranını göstermektedir.

Toplam ağırlıklar

Islak iri agrega = 1917 × 1.02 = 1955 lb

Islak ince agrega = 1369 × 1.06 = 1451 lb

Emilen su karışım suyunun bir parçası değildir ve eklenen sudaki dengelemeden ayrı tutulmalıdır. Bu oranın iri agregada bir kısmını yüzey suyu oluşturur. $2-0.5=\%1.5$

İnce agrega da ise bu oran $6-0.7=\%5.3$ tür.

İlave edilen su için gerekli tahminler

$$300 - 1917(0.015) - 1369(0.053) = 199 \text{ lb}$$

Bir yd^3 beton için elde edilen tahmini karışım miktarı

Eklenecek su 199 lb

Çimento 484 lb

Islak iri agrega 1955 lb

Islak ince agrega 1451 lb

- Laboratuardaki deneme harmanları ile betonun 0.81 ft^3 ya da 0.03 yd^3 ünü oluşturmak için ağırlığının azaltılması uygun olarak görülmüştür. İlave edilecek su miktarı 5.97 lb olmasına rağmen bu miktar 3-4 çökme değerlerini elde edebilmek için 7.00 lb olmalıdır.

Eklenecek su 7.00lb

Çimento 14.52 lb

İri agrega , ıslak 58.65 lb

İnce agrega , ıslak 43.53 lb

Toplam 123.70 lb

Betonda ft^3 başına 149 lb birim ağırlık için çökme değeri 2 in ölçülmüştür. İşlenebilirliği ve bitiş özellikleri açısından tatmin edici olduğu düşünülmüştür. Uygun akma ve diğer özellikleri sağlamak için aşağıdaki ayarlamalar yapılır.

Deneme harmanlarındaki akma için,

$$123.70/149.0 = 0.830 \text{ ft}^3$$

Karışımındaki su içeriği $7.00+0.86(\text{iri agrega})+2.18(\text{ince agrega})=10.04 \text{ lb}$

Deneme harmanlarında aynı çökme ile betonun yd^3 ü için gerekli su karışımı
 $10.04 \times 27/0.830 = 327 \text{ lb}$

Toplu deneme ayarlarında gösterildiği gibi bu miktar 2 in.'den 3-4 in çökme değerlerine kadar her 15 lb de bir arttırılmalıdır. Net su miktarı $327+15=342 \text{ lb}$ olur.

Artan karışım suyu ile 0.62 olan s/ç oranını sağlamak için ilave çimentoya ihtiyaç duyulacaktır. Yeni çimento içeriği:

$$342/0.62=552 \text{ lb}$$

Arzu edilen işlenebilirliği elde edebilmek için betonun birim hacim başına düşen iri agrega miktarı deneme harmanlarındaki gibi aynen muhafaza edilecektir.

İri agreganın yd^3 başına düşen miktarı:

$$58.65/0.83 \times 27 = 1908 \text{ lb ıslak}$$

$$1908/1.02 = 1871 \text{ lb kuru}$$

$$1871 (1.005) = 1880 \text{ SSD}^*$$

Betonun yd^3 'ü için yapılan yeni ağırlık tahminlerinden $149 \times 27=4023 \text{ lb}$ elde edilir.

İnce agreganın gerekli miktarı:

$$4023 - (342 + 552 + 1880) = 1249 \text{ lb SSD}$$

$$1249/1.007 = 1240 \text{ lb kuru}$$

Betonun yd^3 başına düşen yeni ağırlıkları

Net su karışım 342 lb

Çimento 522 lb

İri agrega, kuru 1871 lb

İnce agrega, kuru 1240 lb

- Mutlak hacim bazında ayarlanmış oranlar belirtilenlere benzer prosedür içermektedir.

Denemelerde 0.81 ft^3 nominal miktarları,

Eklenecek su 7.00lb

Çimento 14.52 lb

İri agrega, ıslak 58.65 lb

İnce agrega, ıslak 41.91 lb

Toplam 122.08 lb

2 in çökme değeri ölçüldü, birim ağırlığı 149 lb/ft^3 , Akma $122.08/149=0.819 \text{ ft}^3$ olur.

Aynı çökme değeri için tekrar ilave su tahmini

$$\frac{27(7.00 + 0.86 + 2.09)}{0.819} = 328 \text{ lb,}$$

$$0.819$$

3-4 in çökme değeri için gerekli su miktarı,

$$328 + 15 = 343 \text{ lb}$$

Artan su miktarı ile ayarlanan çimento miktarı

$$343/0.62 = 553 \text{ lb}$$

Ayarlanan iri agregası miktarı;

$$58.65/0.819 \times 27 = 1934 \text{ lb ıslak} \quad 1934/1.02 = 1896 \text{ lb kuru}$$

Orijinal deneme harmanlarında havanın dışındaki maddelerin hacimleri

$$\text{Su} = 9.95/62.4 = 0.159 \text{ ft}^3$$

$$\text{Çimento} = 14.52/3.15 \times 62.4 = 0.074 \text{ ft}^3$$

$$\text{İri agregası} = 57.50/2.68 \times 62.4 = 0.344 \text{ ft}^3$$

$$\text{İnce agregası} = 39.54/(2.68 \times 62.4) = 0.240 \text{ ft}^3$$

$$\text{Toplam} = 0.817 \text{ ft}^3$$

0.819 ft³ akma için hava içeriği

$$\frac{0.819 - 0.817}{0.819} = \% 0.2$$

$$0.819$$

İnce agregası dışında tüm bileşenlerin oranlanması ile yd³ başına düşen hacimleri,

$$\text{Su hacmi} = 343/62.4 = 5.50 \text{ ft}^3$$

$$\text{Çimento hacmi} = 553/3.15 \times 62.4 = 2.81 \text{ ft}^3$$

$$\text{Hava hacmi} = 0.002 \times 27 = 0.05 \text{ ft}^3$$

$$\text{İri agregası hacmi} = 1896/2.68 \times 62.4 = 11.33 \text{ ft}^3$$

$$\text{İnce agregası toplam hacmi} = 19.70 \text{ ft}^3$$

$$\text{Gerekli ince agregası hacmi} = 27 - 19.70 = 7.30 \text{ ft}^3$$

$$\text{İnce agregası ağırlığı (kuru)} = 7.30 \times 2.64 \times 62.4 = 1203 \text{ lb}$$

Betonun yd³ başına düşen ağırlıklar ,

$$\text{Net su karışımı} = 343 \text{ lb}$$

$$\text{Çimento} = 553 \text{ lb}$$

$$\text{İri agregası , kuru} = 1896 \text{ lb}$$

$$\text{İnce agregası ,kuru} = 1203 \text{ lb}$$

Örnek 2

Köprü yapımında betonun farklı iklim şartlarına maruz kalması önemli bir sorundur. Betonun ortalama 28 günlük 3000 psi dayanıma sahip olması gerekir. Yerleştirme şartları 1 ile 2 in arasında bir çökme değerine izin verir. Onun sıkıştırılmış birim ağırlığı 95 lb/ft^3 olduğu bulunmuştur. Bölüm 6'nın her aşaması takip edilir ve bu şekilde oluşabilecek karışıklıklar önlenmiş olur.

-İstenen çökme 1-2 in'dir.

-Uygun agregalar no 4-1 in olacaktır.

- Yapılar bazı hava koşullarına maruz kalabildikleri için hava sürüklenmiş beton kullanılacaktır. 1-2 in çökme elde etmek için karışım suyunun ortalama miktarı Tablo 1.24'ten 270 lb/ft^3 olarak bulunur.

- Tablo 2.14'ten hava sürüklenmiş betonda 3000 psi lik güç elde etmek için istenen s/ç oranı yaklaşık 0.59 olarak tahmin edilmiştir. Ancak Tablo 2.15'ten beklenen farklı hava şartları için s/ç oranı 0.50 yi geçmemelidir. Bu düşük oran hesaplamalarda kullanılacaktır.

- Yukarıdan alınan bilgilere göre gerekli çimento içeriği $270/0.50 = 540 \text{ lb/yd}^3$ olarak bulunur.

- İri agreganın miktarı Tablo 2.16'dan tahmin edilir. İnce agreganın 2.8 incelik modülü ile 1 in nominal maksimum büyüklükteki iri agreganın 0.67 ft^3 'e tekabül eder. İri agreganın $27 \times 0.67 = 18.09 \text{ ft}^3$ olacaktır. İri agreganın kuru ağırlığı $18.09 \times 95 = 1719 \text{ lb}$ olur.

- Yd^3 başına düşen betonda su, çimento iri agreganın bulunmalıdır ve geriye kalan malzemeler ise hava ile ince agregadan oluşmalıdır. Aşağıda gösterildiği gibi, gerekli olan ince agreganın ağırlık ya da mutlak hacim temelinde tespit edilebilir.

Ağırlık temel alınarak: Tablo 2.17'den 1 in maksimum büyüklüğe sahip agregalar ile üretilen hava sürüklenmiş betonun yd^3 ün ağırlığı 3850 lb olarak tahmin edilir.

Ağırlıklar daha önceden bilinmektedir.

| | |
|--------------------|----------------|
| Net su karışım | 270 lb |
| Çimento | 540 lb |
| İri agreganın,kuru | <u>1719 lb</u> |
| Toplam | 2529 lb |

İnce agreganın ağırlığı $3850 - 2529 = 1321 \text{ lb}$ kuru olarak tahmin edilir.

Mutlak hacim temelli: Çimento, hava, su, iri agreganın miktarları ile oluştuğunda ince agreganın içeriği aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

| | |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Suyun hacmi | $270/62.4 = 4.33 \text{ ft}^3$ |
| Çimentonun katı hacmi | $540/3.15 \times 62.4 = 2.75 \text{ ft}^3$ |
| İri agreganın katı hacmi | $1719/2.68 \times 62.4 = 10.28 \text{ ft}^3$ |
| Havanın hacmi | $0.06 \times 27 = 1.62 \text{ ft}^3$ |
| İstenen ince agrega miktarının toplam hacmi | 18.98 ft^3 |
| Gerekli ince agreganın katı hacmi | $27 - 18.98 = 8.02 \text{ ft}^3$ |
| İnce agreganın gerekli kuru ağırlığı | $8.02 \times 2.64 \times 62.4 = 1321 \text{ lb}$ |

Betonun birim hacminin ağırlığı 2 temelde hesaplanır ve aşağıdaki gibi kıyaslanır.

| | Ağırlık temel alınarak, | Mutlak hacim esas alınarak, lb |
|----------------|-------------------------|--------------------------------|
| Net su karışım | 270 | 270 |
| Çimento | 540 | 540 |
| İri agrega | 1719 | 1791 |
| İnce agrega | 1321 | 1321 |

-Test sonuçları iri agreganın nem oranını %3, ince agreganın nem oranını %5 olduğunu gösterir. Eğer denemeler beton ağırlıklarına dayalı olursa, agrega ağırlıklarında ayarlamalar yapılacaktır.

İri agrega, ıslak $1719 \times 1.03 = 1771 \text{ lb}$

İnce agrega, ıslak $1321 \times 1.05 = 1387 \text{ lb}$

Emilen su karışımının bir parçası değildir ve ilave edilen su düzenlemelerin dışında tutulmalıdır. Böylece yüzey suyuna iri agrega tarafından $3 - 0.5 = \% 2.5$, ince agrega tarafından $5 - 0.7 = \% 4.3$ katkı sağlanmış olur. İlave edilen su için gerekli tahminler $270 - 1719 \times (0.025) - 1321 \times 0.043 = 170 \text{ lb}$ olur.

Yd^3 başına düşen beton ağırlıkları:

| | |
|--------------------|----------------|
| Gerekli su miktarı | 170 lb |
| Çimento | 540 lb |
| İri agrega, ıslak | 1771 lb |
| İnce agrega, ıslak | <u>1387 lb</u> |
| Toplam | 3868 lb |

-Laboratuar sonuçlarına göre, betonun 0.81 ft^3 ya da 0.03 yd^3 ünü üretmek için ağırlıklar aşağı düşürülür. Hesaplanan miktarda ilave edilen su 5.10 lb olmasına rağmen, 1-2 çökme elde etmek için kullanılan miktar 4.60 lb 'dir. Karışımlardaki gibi denemeler bu bileşenlerden oluşur.

| | |
|------------------|-----------|
| Su | 4.60 lb |
| Çimento | 16.20 lb |
| İri agreg,ıslak | 53.13 lb |
| İnce agreg,ıslak | 41.61 lb |
| Toplam | 115.54 lb |

Beton % 6.5 hava içeriğine 141.8 lb/ft^3 birim ağırlığa ve 2 in çökme değerine sahiptir.

Deneme harmanlarının akma için $115.543/141.8=0.815 \text{ ft}^3$ ve

Karışımdaki su içeriği $4.6+1.28+1.77 = 7.59 \text{ lb}$ 'dir.

Aynı çökme değerleri ile betonun 1 yd^3 'ü için gerekli su miktarı,

$7.59 \times 27/0.815=251 \text{ lb}$ 'dir.

Çökme önemli bir parametredir, fakat hava içeriği %0.5 den fazla olursa, uygun çökme değerleri için daha fazla su ihtiyacı oluşacaktır. Bölüm 6'daki toplu seri deneme ayarlarında yapılan, istenen hava içeriğinde gösterildiği gibi karışım suyu 5×0.5 veya 3 lb olarak arttırılabilir ve yeni değer 254 lb/yd^3 olur.

Karışım suyunun azalmasıyla 0.5 oranına sahip olan s/ç oranını sağlamak için az miktarda çimentoya ihtiyaç duyulacaktır. Bu durumda yeni çimento bileşeni şöyle olur;

$$254/0.5 = 508 \text{ lb}$$

Betonda kum bulunduğu için iri agreganın birim hacim miktarı 0.74 ile % 10 oranında artacaktır. Yd^3 başına düşen iri agreg miktarı;

$$0.74 \times 27 \times 95 = 1898 \text{ lb kuru ya da } 1898 \times 1.03 = 1955 \text{ ıslak}$$

$$1898 \times 1.005 = 1907 \text{ lb SSD}$$

%0,5 daha az hava ile betonun ağırlığı için yeni tahminler $141.8/0.995 = 142.50 \text{ lb/ft}^3$ ya da $142.50 \times 27 = 38.48 \text{ lb/yd}^3$ tür.

Kumun ağırlığı ise;

$$3848-(254+508+1907) = 1179 \text{ lb SSD veya } 1179/1.007 = 1170 \text{ lb kuru}$$

Betonun yd^3 başına düşen ağırlığı:

| | |
|----------------|---------|
| Su net karışım | 254 lb |
| Çimento | 508 lb |
| İri agreg kuru | 1898 lb |

İnce agrega kuru 1170 lb

Karışım dozajı istenilen hava içeriğini sağlamak için azaltılmalıdır.

-Mutlak hacim temelinde belirlenen oranların ayarlanması için bir önceki örnek takip edilmelidir.

2.3.7. Bölüm 8

2.3.7.1. Metrik Sistem Adaptasyonu

Ana hatlarıyla özetlenen bu standart uygulaması ölçümlerde in-kilo kullanılarak sunulmuştur. Prensipler birim adaptasyonuna uygun SI sisteminde aynen uygulanacaktır. Bu ek S1 ölçümlerinde kullanılan dozlama prosedürünü uygulamak için gerekli tüm bilgileri sağlar. Tablo 2.18 ilgili dönüşüm faktörlerini verir. Sayısal örnekler standartlar içinde Ek 2 dosyalarında verilmiştir.

Tablo 2.18. Dönüştürme faktörleri

| Miktar | İn. Lb birim | SI birim | Dönüştürme katsayısı |
|----------|-------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Uzunluk | İnç (in) | Milimetre (mm) | 25.40 |
| Hacim | Kübik fut (ft ³) | Metre küp(m ³) | 0.02832 |
| | Yarda küp (yd ³) | Metre küp(m ³) | 0.7646 |
| Kütle | Libre (lb) | Kilogram(kg) | 0.4536 |
| Gerilme | İnç kare başına pound (psi) | Megapaskal(Mpa) | 6.895x10 ⁻² |
| Yoğunluk | Kübik fit başına | Metre küp başına | 16.02 |
| | kilo(lb/ft ³) | düşen | |
| | Kübik yarda başına kilo(lb/yd ³) | kilogram(kg/m ³) | 0.5933 |
| Sıcaklık | Fahrenayt(F) | Santigrat (C) | + |

2.3.7.2. Dönüşüm Faktörü

Dönüşüm kolaylığı için bütün tablolar yeniden üretilerek dönüştürülmüştür. Tanımlayıcı bölümler formül ya da prosedürde değişiklik gerektiren SI sisteminin kullanıldığı yerlerde içermektedir. Metrik birim dönüşümleri pratikte kullanılan gerçek değerler şeklinde yapılmıştır. Örneğin metrik tablolarda agrega ve elek boyutu Avrupa’da yaygın olarak kullanılır. Tabloda karşılık gelen SI değerleri ve in- pound arasında kesin matematiksel bir benzerlik yoktur.

Hesaplamaların Oranlanmasında Adımlar

Betonun birim hacmi için malzemenin miktarına karşılık gelen metotlar, in-pound birimi kullanıldığı gibi SI birimi kullanıldığı zaman aslında aynıdır. Temel fark, betonun birim hacminin m^3 olması ve 2.3.7.’ den değerlerin olmasıdır.

Adım1: Çökme değerleri Tablo1.30’de görülmektedir.

Tablo 2.19. Yapı Türleri İçin Çökme Değerleri

| Yapı türleri | Çökme (mm) | |
|----------------------------------------|------------|---------|
| | Maksimum | Minimum |
| Betonarme temel duvarlar,temeller | 75 | 25 |
| Düz temeller, kesonlar ve alt duvarlar | 75 | 25 |
| Kiriş ve takviyeli duvarlar | 100 | 25 |
| Bina kolonları | 100 | 25 |
| Kaldırımlar ve döşemeler | 75 | 25 |
| Kütle beton | 75 | 25 |

Adım2: Agreganın normal maksimum boyutu seçimi

Adım3: Karışım suyu ve harç içeriğinin tahmini

Adım4: Su-çimento oranının seçimi

Adım5: Çimento içeriğinin hesaplanması

Adım6: İri agreganın içeriğinin tahmini

1m³ beton için gerekli iri agreganın kuru kütlesi Tablo 2.23'ten alınan değerlere eşittir.

Adım7: İnce agreganın içeriğinin tahmini

Metreküp başına taze betonun hesaplanması için kullanılan formüller

$$U_M = 10 G_a(100-A) + C_M(1-G_a/G_c) - W_M(G_{a-1})$$

U_M = taze betonun birim kütlesi, kg/m³

G_a = ince ve iri agreganın ortalama özgül ağırlığı SSD

G_c = çimentonun özgül ağırlığı

A = hava içeriği, yüzde

W_M = karışım suyu ihtiyacı, kg/m³

C_M = çimento ihtiyacı, kg/m³

Adım9: Deneme ayarları

Aşağıdaki temel kurallar yakın değerlere ulaşmak için kullanılabilir.

a) Tahmini karışım suyu üretmek için m³ başına deneme harmanında kullanılan karışım suyu miktarına eşit olacaktır. Eğer deneme harmanlarındaki çökme uygun olmaz ise karışım suyu içeriği her 10 mm'lik artış için 2kg/m³ arttırılır veya azaltılır.

b) Çökme değeri beton içerisinde hava ile birlikte yer alan sürüklenmiş hava miktarının etkisini ayarlamak için a'nın karışım su miktarları arttırılır veya azaltılır.

Tablo 2.20. Farklı çökme ve nominal maksimum agregaya için gerekli karışım suyu ve hava içerik şartları.

| Çökme | Nominal maksimum agregaya boyutu için karışım suyu, kg/m ³ | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------|-----|-----|-------|------|---------|---------|
| | 9.5* | 12.5* | 19* | 25* | 37.5* | 50+* | 75++ | 150++ |
| | Hava sürüklenmemiş beton | | | | | | | |
| 25-50 | 207 | 199 | 190 | 179 | 166 | 154 | 130 | 113 |
| 75-100 | 228 | 216 | 205 | 193 | 181 | 169 | 145 | 124 |
| 150-175 | 243 | 228 | 216 | 202 | 190 | 178 | 160 | - |
| Havanın yaklaşık miktarı | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| Hava sürüklenmiş beton | | | | | | | | |
| 25-50 | 181 | 175 | 168 | 160 | 150 | 142 | 122 | 107 |
| 75-100 | 202 | 193 | 184 | 175 | 165 | 157 | 133 | 119 |
| 150-175 | 216 | 205 | 197 | 184 | 174 | 166 | 154 | - |
| Hafif maruz | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5**++ | 1.0**++ |
| Orta maruz | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5**++ | 3.0**++ |
| Aşırı duyarlılık | 7.5 | 7.0 | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5**++ | 4.0**++ |

*Yukarıdaki tabloda orta maruz durumu için gösterildiği gibi hava sürüklenmiş beton için verilen karışım suyunun miktarı toplam hava içeriğine dayanır. Karışım suyunun miktarı 20 ile 25 °C deki deneme harmanlarındaki hesaplanan çimento içeriği içindir.

+40 mm'den büyük agregaya içeren beton içeriği için çökme değerleri, 40 mm den büyük parçacıkların çıkarıldıktan sonra yapılan çökme deneylerine dayanmaktadır.

+75 mm yada 150 mm normal maksimum boyutlu agregalar kullanıldığında karışım suyu miktarı deneme harmanları için hesaplanan çimentolar içindir.

§Hava içeriği hakkında gerekli tolerans için ek öneriler ACI 201,345,318,301 ve 302'de verilmiştir.

**Büyük agregaya içeren betonlar için hava içerik testleri öncesi 40mm elek üzerinde ıslak elenecektir.

++Düşük çimentolu betonlarda büyük agregalar kullanıldığında, hava sürüklenmesi güç açısından zararlı olmayacaktır.

§_1 Bu değerler yüzde %9 havanın harç halindeki beton kriterlerine dayanır.

Tablo 2.21. Su-çimento oranı ve beton basınç mukavemet arasındaki ilişkiler

| 28 günlük basınç dayanım MPa | Su/çimento oranı | |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | Hava sürüklenmemiş beton | Hava sürüklenmiş beton |
| 40 | 0.42 | - |
| 35 | 0.47 | 0.39 |
| 30 | 0.54 | 0.45 |
| 25 | 0.61 | 0.52 |
| 20 | 0.69 | 0.60 |
| 15 | 0.79 | 0.70 |

Hava sürüklenmiş beton için toplam hava yüzdesi %6 ve hava sürüklenmemiş beton için %2den fazla olmayan beton içeriği için ortalama dayanım tahminlerini verir. Hava içeriği arttığı gibi betonun dayanımı azalır.

c) Deneme harmanlarının oranlanmasının ayarlamaları için taze betonun birim kütle tahmini deneme harmanlarında ölçülen kg/m^3 birim kütlesine eşittir.

Tablo 2.22. Farklı şartlarda izin verilen maksimum su/çimento oranı

| Yapı tipi | Sürekli donma ve çözülmeye maruz kalan ıslak betonlarda | Deniz suyu yada sülfata maruz kalan betonlarda |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| İnce kesitlerde ve 5mm den daha az çelik üzerine kapaklı bölümlerde | 0.45 | 0.40 |
| Diğer bütün bölümler | 0.50 | 0.45 |

Tablo 2.23. Betonun birim hacmi başına düşen iri agrega hacmi

| Agreganın nominal maksimum büyüklüğü | Farklı incelik modülleri için betonun birim hacmi | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------|------|------|------|
| | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 9.5 | 0.50 | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.5 | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 19 | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25 | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 37.5 | 0.75 | 0.73 | 0.71 | 0.69 |
| 50 | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 75 | 0.82 | 0.80 | 0.78 | 0.76 |
| 150 | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Değerler ASTM de belirtildiği gibi kuru birim ağırlıktaki agregalara dayanmaktadır. Bu değerler uygun işlenebilirlik dereceli beton üretmek için deneysel verilerden elde edilmiştir. İncelik modülünün hesaplanması için ASTM 136 metoduna bakılmalıdır.

Tablo 2.24. Taze betonun ilk kütle tahmini

| Agreganın nominal maksimum büyüklüğü | Betonun birim kütlesi ilk tahminleri | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | Hava sürüklenmemiş beton | Hava sürüklenmiş beton |
| 9.5 | 2280 | 2200 |
| 12.5 | 2310 | 2230 |
| 19 | 2345 | 2275 |
| 25 | 2380 | 2290 |
| 37.5 | 2410 | 2350 |
| 50 | 2445 | 2345 |
| 75 | 2490 | 2405 |
| 150 | 2530 | 2435 |

Değerler 2.7 özgül ağırlığa sahip agregalı orta çökme ve orta değerlikli beton için oluşturulan eşitlikler hesaplanmıştır. Su gereksinimleri 75 ile 100 mm çökme değerlerine dayanır.

2.3.7.3. Metrik(SI) Sistemde Örnek Problemler

a)Örnek 1: 2.3.5.'te sunulan örnek 1'de bulunan ölçümlerde metrik birimler kullanılacaktır. Gerekli ortalama dayanım 75 ile 100 mm arasındaki çökme değeri için 24 Mpa olacaktır. İri agrega 1600 kg/m³ kuru kütle ve 37.5 mm nominal maksimum büyüklüğe sahiptir. Bölüm 2.3.5.'te söz konusu olan diğer malzemelerin özellikleri: çimento özgül ağırlığı 3.15, kuru agrega özgül ağırlığı 2.68 ve su emilimi %0.5, ince agrega özgül ağırlığı 2.64, su emilimi %0.7 ve incelik modülü 2.8'dir.

b)2.3.4.'de ki tüm adımlar karışıklığı önlemek için takip edilmelidir.

- Çökme değerinin 75 -100 mm arasında olması istenmektedir.
- Kullanılacak agreganın nominal maksimum büyüklüğünün 37.5 mm olması gerekir.
- Ağır hava şartlarına maruz kalmayacak yapılar için betona hava girişi olmamalıdır. Tablo 2.21'den 37.5 mm agrega ile üretilmiş hava sürüklenmemiş betonda 75-100 mm çökme için tahmini karışım suyu 181 kg/m³ olarak bulunmuştur.
- 24 MPa dayanımlı hava sürüklenmemiş beton için su/çimento oranı Tablo 2.21'den 0.62 olarak alınır.
- Yukarıdaki bilgilerden çimento miktarı $181/0.62=292$ kg/m³ olarak bulunmuştur.
- İri agreganın miktarı Tablo 2.23'ten tahmin edilir. İnce agreganın incelik modülü 2.8 ve iri agreganın nominal maksimum boyutu 37.5'dir. Tabloda görüldüğü gibi iri agreganın değeri 0.71 m³ olarak alınır, gerekli kuru yüzde $0.71 \times 1600 = 1136$ kg olarak bulunur.
- Su, çimento ve iri agrega miktarları ile kurulan betonda geriye kalan malzemeyi ince agrega oluşturmaktadır ve her türlü hava içermektedir. Gerekli ince agrega miktarı kütle ya da mutlak hacim esas alınarak aşağıdaki gibi tespit edilir.

Tablo 2.24'ten 37.5 mm nominal maksimum boyut değerine sahip agregalardan oluşan hava sürüklenmemiş betonda, m³ başına düşen kütle miktarı 2410 kg olarak tahmin edilmektedir.

Su (net karışım) 181 kg

| | |
|-------------|----------------|
| Çimento | 292 kg |
| Kuru agrega | <u>1136 kg</u> |
| Toplam | 1609 kg |

İnce agreganın kütlesi $2410-1609= 801$ kg olarak tahmin edilir.

Mutlak hacim esası: çimento, su ve kuru agrega miktarları ile oluşturulmuştur. Tablo 2.20'den tutulan hava içeriği %1 olarak belirlenir ve kum içeriği aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

| | |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Suyun hacmi | $= 181/1000=0.181 \text{ m}^3$ |
| Çimentonun katı hacmi | $= 292/3.15 \times 1000=0.093 \text{ m}^3$ |
| İri agrega kuru hacmi | $=1136/2.68 \times 1000= 0.424 \text{ m}^3$ |
| Sürüklenen havanın hacmi | $=0.01 \times 1.000= 0.01 \text{ m}^3$ |
| İnce agrega dışındaki maddelerin toplam katı hacmi | $= 0.708 \text{ m}^3$ |
| Gerekli ince agreganın katı hacmi | $=1.000-0.708=0.292 \text{ m}^3$ |
| İnce agreganın gerekli kuru ağırlığı | $=0.292 \times 2.64 \times 1000=771 \text{ kg}$ |

Aşağıda m^3 başına hesaplanan betonun harmanlama kütleleri kıyaslanmıştır.

| | Tahmini beton kütlesi | Mutlak hacim esasına göre |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| Su | 181 | 181 |
| Çimento | 292 | 292 |
| İri agrega (kuru) | 1136 | 1136 |
| Kum (kuru) | 801 | 771 |

- Testler ince agregada %6, iri agregada % 2 oranında toplam nemi gösterir. Eğer deneme harmanı oranlamalarında varsayılan kütle betonları kullanılırsa, ayarlanmış agrega kütleleri oluşur.

$$\text{İri agrega (ıslak)} = 1136 \times 1.02 = 1159 \text{ kg}$$

$$\text{İnce agrega (ıslak)} = 801 \times 1.06 = 849 \text{ kg}$$

Emilen su, karışım suyunun bir kısmıdır demek yanlıştır ve ilave edilen su ayarlamaların dışında tutulur. Yüzey suyuna $2-0.5=1.5\%$ miktarında iri agrega, $6-0.7=5.3\%$ ince agrega eklenir. Bu tahminler su eklendiği için gereklidir.

$$181-1136 \times (0.015) - 801 \times (0.053) = 122 \text{ kg}$$

Betonun 1 m^3 'ü için tahmini harmanlama miktarları;

| | |
|--------------------|---------------|
| Su (İlave edilen) | 122kg |
| Çimento | 292kg |
| Kuru agrega(ıslak) | 1159 kg |
| İnce agrega(ıslak) | <u>849 kg</u> |
| TOPLAM | 2422 kg |

-İlave edilecek suyun hesaplanan miktarının 2.44 kg olmasına rağmen, 75-100 mm arasında çökme değeri elde etmek için kullanılan suyun miktarı 2.70 kg'dır.

| | |
|---------------------|-----------------|
| Su (eklenen) | 2.70 kg |
| Çimento | 5.84 kg |
| İri agrega (ıslak) | 23.18 kg |
| İnce agrega (ıslak) | <u>16.98 kg</u> |
| TOPLAM | 48.70 kg |

Betonda 50 mm çökme değeri ölçülmüştür ve birim kütlesi 2390 kg/m^3 ,

Deneme harmanı akma değeri için $48.70/2390=0.0204 \text{ m}^3$ ve

Karışım suyunun içeriği $2.70+ 0.34(\text{iri agrega})+0.84(\text{ince agrega})=3.88 \text{ kg}$ 'dır.

Aynı çökme ile betonun 1 m^3 için gerekli karışım suyu deneme harmanlarındaki gibi olmalıdır.

$$3.88/0.0204=190 \text{ kg}$$

2.3.7.2' nin a şıkında gösterildiği gibi çökme değerini arttırmak için bu miktarın 8 kg arttırılması gerekir ve toplam karışımdaki su 198 kg olur.

Artan karışım suyu ile 0.62 olan su/çimento oranını sağlamak için ilave çimento eklenmelidir.

$$198/0.62=319 \text{ kg}$$

İşlenebilirliği yeterli bulunduğu için, betonun birim hacmi başına düşen agrega miktarı deneme harmanlarındaki gibi olur.

Metreküp başına düşen iri agrega miktarı,

$$23.18/0.0204=1136 \text{ kg}$$

$$1136/102 =1114 \text{ kg}$$

$$1114 \times 1.005=1120 \text{ kg SSD}$$

Betonun 1 metreküp'ünün kütlesi için yeni tahminler 2390 kg/m^3 birim kütle olarak ölçülmüştür.

Gerekli ince agrega miktarı

$$2390-(198+319+1120)=753 \text{ kg SSD veya } 753/1.007=748 \text{ kg 'dır.}$$

Betonun metrekübü başına düşen ayarlanmış deneme harmanları

Su 198 kg

Çimento 319 kg

İri agrega 1114 kg

İnce agrega 748 kg

- Mutlak hacim bazında belirlenen oranlardaki ayarlamalar birbirini takip eden bir prosedür içerir.

Adımlar ayrıntılı bir açıklama yapılmadan verilecektir.

Denemeler 0.02 m^3 nominal kullanılan miktarlarda,

| | |
|-------------|-----------------|
| Su | 2.70 kg |
| Çimento | 5.84 kg |
| İri agrega | 23.18 kg |
| İnce agrega | <u>16.34 kg</u> |
| TOPLAM | 48.08 kg |

Çökme 50 mm olarak ölçülmüştür, birim kütlesi 2390 kg/m³

$$\text{Akma } 48.08/2390=0.0201 \text{ m}^3$$

Denemelerdeki gibi aynı çökme değerini için gerekli su değeri;

$$(2.70+0.34+0.81)/0.0201 = 192 \text{ kg}$$

75-100 mm çökme için gerekli karışım suyu;

$$192+8=200 \text{ kg}$$

Artan su miktarı için gerekli çimento içeriği;

$$200/0.62=323 \text{ kg}$$

İri agrega gereksinimi;

$$23.18 / 0,0202 = 1153 \text{ kg veya}$$

$$1163 / 1.02 = 1130 \text{ kg}$$

Orijinal deneme harmanlarında hava dışındaki maddelerin değerleri;

| | | |
|-------------|--------------------|-------------------------|
| Su | 3.8/1000 | = 0.0039m ³ |
| Çimento | 5.84 /3.15 x 1000 | = 0.0019 m ³ |
| İri agrega | 22.72 / 2.68 x1000 | = 0.0085 m ³ |
| İnce agrega | 15.42 /2.64x1000 | = 0.0058 m ³ |
| Toplam | | = 0.0201 m ³ |

İnce agrega dışındaki tüm bileşenlerin oranları tahmin edilmiştir. Belirlenenler değerler şu şekilde tanımlanabilmektedir.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|
| Su hacmi | 200/100 | =0.200 m ³ |
| Çimento hacmi | 323/3.15x1000 | =0.103 m ³ |
| Çimento hacmi toleransı | | =0.000 m ³ |
| İri agrega hacmi | 1130/2.68x1000 | =0.422 m ³ |
| Toplam ince agrega hacmi | | = 0.725 m ³ |
| Gerekli İnce agrega hacmi | 1.000-0.725 | =0.275 m ³ |
| İnce agrega kütlesi | 0.275x2.64x1000 | =726 kg |
| Ayarlanan deneme harmanlarında betonun m ³ başına düşen ağırlığı; | | |
| Suyun hacmi | 200 kg | |
| Çimento | 323 kg | |
| İri agrega | 1130 kg | |
| İnce agrega | 726 kg | |

2.3.7.4. Laboratuvar Testleri

Beton karışım oranlarının seçimleri laboratuvar test sonuçlardan daha başarılı olabilmektedir. Laboratuvar programlarının ayrıntıları hem bireysel tercihler hem de mevcut olanaklara bağlı olarak değişecektir.

Çimento Özellikleri

1.Çimentonun fiziksel ve kimyasal durumu betonun özelliklerini etkiler. Bununla birlikte beton karışım oranları hesaplamalarda direk olarak kullanılan çimentonun önemli özelliklerinden biri de özgül ağırlığıdır. ASTM C150 ve C175 kapsamında yer alan farklı portland çimentoların özgül ağırlıkları 3.15 olarak kabul edilir. Diğer tipleri için örneğin ASTM C595 hidrolik katkılı çimento gibi, C 989 cüruf çimento, C 618 kapsamında puzolan gibi çimentoların özgül ağırlıkları testler tarafından tespit edilirler.

2. Çimentonun bir örneği tesisler tarafından oluşturulabilir. Çimento örnekleri hava geçirmeyen kaplarda ya da neme dayanıklı paketlerde muhafaza edilerek sevk edilirler.

Agrega Özellikleri

1. Elek analizi, özgül ağırlık, absorsiyon, iri ve ince agreganın nem içeriği, iri agreganın birim ağırlığı, karışım hesaplamaları için kullanılan fiziksel özelliklerdir. Diğer testler sağlamlık, dayanıklılık, aşınma direnci gibi incelemeleri içeren özel çalışmalardır.

2. Agreganın granulometrisi tarafında belirlenen elek analizi birim su ihtiyacını belirlemede önemli bir faktördür. Çok sayıda ideal agreganın tane eğrileri öne sürülmüştür ve bunlar beton standartlarında tipik elek analizleri için temel oluştururlar. ASTM C33 çoğu beton için uygun boyut ve sınıflandırma sunar.

3. Beton karışım örnekleri için çalışmada kullanılan agregalar temsili olabilirler. Laboratuvar testleri için iri agregalar istenen boyutlarda sınıflandırılmalıdır. Bazı şartlarda özellikle büyük öneme sahip işlerde, laboratuvar incelemelerinde uygun agregaların sınıflandırma eksikliklerini önlemek için çaba gösterilmelidir.

1. Arzu edilmeyen derecelendirilmiş kumun iki ya da daha fazla fonksiyonlar halinde kumun ayrılması ve uygun oranlarda düzeltilmelerin yapılması

2. Sınıflandırmada denge için boyut miktarlarının artırılması ya da azaltılması

3. Taşlama veya ezme yolu ile kaba malzemelerin inceltilmesi

Arzu edilmeyen iri agregaların sınıflandırma işlemleri ise;

1. Pürüzlü kesiciler ile kırma işlemi
2. Boyut kaybı
3. Farklı boyutlardaki eksik agregaları tamamlama
4. Bu yöntemlerin kombinasyonları şeklinde sıralayabiliriz

Genellikle istenen agregaların tane dağılımı ekonomik uygun materyaller ile tutarlı olmalıdır.

Toplu Seri Denemeler

1. Bu raporlardaki tablolar deneme karışımlarında kaba tahminler yapabilmek için kullanılabilir. Ancak bunlar doğru bir şekilde uygulanmak için genelleştirilmişlerdir.

Eğer olanaklar varsa, kullanılan materyaller arasında gerçek ilişki kurmak amacıyla bir dizi beton testleri yapmak uygun olacaktır. Örnek test programı Tablo 2.25'te gösterilmiştir.

2. İlk olarak, uygun kıvam ve içerikte çimento harmanı anlatılan yöntemlerle orantılı olmalıdır. 1 no'lu karışımın hazırlanmasında kullanılan su miktarı istenen çökme değeri oluşturacak şekilde kullanılmıştır. Taze betonda çökme, işlenebilirlik, birim ağırlık için bazı testler yapılmıştır. Örnekte akma fazladır ve beton fazla sayıda ince agrega içeriğine sahiptir.

3. 2 No'lu karışım hazırlanması: Karışım 1'de ki hataları düzeltmek için ayarlanır ve testler ve değerlendirmeler tekrarlanır. Bu durumda arzu edilen özellikler elde edilebilir. Elde edilen bilgiler bir dizi ek karışımlar için kullanılabilir.

Tablo 2.25. Malzeme özelliklerine bağlı olarak oluşturulan beton için tipik test programı

| Toplu miktarlar, lb | | | | | | Beton karakteristiği | | | | | |
|---------------------|---------|------|------------|---------|------------|----------------------|-------|--------------------------|-------|---------------------------|----------------|
| Karışım no | Çimento | Kum | İri agrega | Su | | Toplam kullanılan | Çökme | Cu ft başına birim su lb | Akma | 28 günlük basınç dayanımı | İşlenebilirlik |
| | | | | Tahmini | Kullanılan | | | | | | |
| 1 | 500 | 1375 | 1810 | 325 | 350 | 4035 | 4 | 147.0 | 27.45 | - | Fazla kum |
| 2 | 500 | 1250 | 1875 | 345 | 340 | 3965 | 3 | 147.0 | 26.97 | 3350 | Ok |
| 3 | 400 | 1335 | 1875 | 345 | 345 | 3955 | 4.5 | 145.5 | 27.18 | 2130 | Ok |
| 4 | 450 | 1290 | 1875 | 345 | 345 | 3960 | 4 | 146.2 | 27.09 | 2610 | Ok |
| 5 | 550 | 1210 | 1875 | 345 | 345 | 3980 | 3 | 147.5 | 26.98 | 3800 | Ok |
| 6 | 600 | 1165 | 1875 | 345 | 345 | 3985 | 3.5 | 148.3 | 26.87 | 4360 | Ok |

4. Karışım numarası 2 ile 6 arasında temel oluşturularak, burada su/çimento oranının mukavemet ile arasındaki ilişkiyi açıklar.

5. Laboratuvar testlerinde Tablo 2.25'te gösterildiği gibi istenilen ayarlamalar deneyimli operatörler tarafından bulunacaktır. Dahası, alan sonuçları laboratuvar sonuçları ile tam

olarak kontrol edilerek yenilenecektir. Alan ile laboratuvar ortamının yakın olması malzemelerin kullanılabilirliği açısından faydalı olacaktır.

6. Tablo 2.25'te gösterilen seri testler çalışma ruhsatındaki özel gereksinimlerle genişletilebilir. Gerekli araştırmalar ile bazı değişkenler meydana gelebilir. Bu değişkenleri Alternatif agrega kaynakları, maksimum boyut ve sınıflandırmalar, farklı tip ve markalarda çimentolar, puzolanik katkılar, hacim değişiklikleri sıcaklık artışı termal özellikler şeklinde sıralayabiliriz.

Test Metodları

1. Laboratuvar testleri beton oranlamaları için bilgi akışı sağlar. nceki metotlar en az revizyonla kullanılabilir.

-Maddelerin testleri için,

Hidrolik imento önekleri ASTM C 183

Hidrolik imentonun özgül ağırlığı ASTM C 188

Karayolu malzemesi olarak kullanılmak üzere taş, cüruf, çakıl, kum ve taş blok ASTM D75

İri ve ince agreganın elek analizi ASTM C 136

İri agreganın absorpsiyonu ve özgül ağırlığı ASTM C 127

İnce agreganın absorpsiyonu ve özgül ağırlığı ASTM C 128

İnce agreganın nem yüzeyi ASTM C 70

Agrega içeriklerinin toplam nem içerikleri ASTM C 566

Agreganın birim ağırlığı ASTM C 29

Beton için agregadaki boşluklar ASTM C 29

İncelik modülü – beton ve beton agregaları arasındaki bağlantı terimleri ASTM C 125

-Beton testleri için

rnek taze beton ASTM C 172

Hacimsel metodlar tarafından karıştırılmış taze betonun hava içeriği ASTM C 173

Basın metodları tarafından karıştırılmış taze betonun hava içeriği ASTM C 231

Portland imentolu betonun çökmesi ASTM C 143

Betonun hava içeriği, akma metreküp başına düşen ağırlığı ASTM C 138

Sıkıştırılmış beton ve eğilme testleri, ve kr oluşumu ASTM C 192

Silindir kaba dökülmüş betonun basınç dayanımı ASTM C 39

Betonun eğilme dayanımı(3 noktadan yüklenmesiyle) ASTM C 78

Betonun eğilme dayanımı(merkez noktadan yüklenmesiyle) ASTM C 293

Tablo 2.26. Küçük işler için beton karışımları

Prosedür: Uygun nominal maksimum boyutlu agreganın seçimi(Bölüm 5.3.2'ye bakın). Karışım B'nin kullanımı, uygulanabilir bir kıvam üretmek için yeterli su eklenmesi. Betonda gereğinden az kum bulunursa Mix A ile değişir, eğer fazla kum olursa Mix C ile değişir.

| Dmax (in) | Karışım dizaynı | Betonun cu/ft başına düşen katı maddelerin yaklaşık ağırlıkları,lb | | | | |
|--------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|---------------------|--------------|
| | | Çimento | Kum* | | İri agrega | |
| | | | Hava sürüklenmiş beton | Havasız beton | Çakıl veya kırmataş | Fırın cürufu |
| 1/2 | A | 25 | 48 | 51 | 54 | 47 |
| | B | 25 | 46 | 49 | 56 | 49 |
| | C | 25 | 44 | 47 | 58 | 51 |
| 3/4 | A | 23 | 45 | 49 | 62 | 54 |
| | B | 23 | 43 | 47 | 64 | 56 |
| | C | 23 | 41 | 45 | 66 | 58 |
| 1 | A | 22 | 41 | 45 | 70 | 61 |
| | B | 22 | 39 | 43 | 72 | 63 |
| | C | 22 | 37 | 41 | 74 | 65 |
| 1 1/2 | A | 20 | 41 | 45 | 75 | 65 |
| | B | 20 | 39 | 43 | 77 | 67 |
| | C | 20 | 37 | 41 | 79 | 69 |
| 2 | A | 19 | 40 | 54 | 79 | 69 |
| | B | 19 | 38 | 43 | 81 | 71 |
| | C | 19 | 36 | 41 | 83 | 72 |

Nemli kum kullanılırsa 2lb, kuru kum kullanılır ise ağırlıklar 4lb artacaktır.

Küçük yapımlı işler için karışımlar

1. Karışıma eklenen su miktarı yeterince fazla olmadığı durumlarda Tablo 2.26'da ki karışımlar kullanılır. Bu karışımlar daha dayanıklı ve uzun ömürlü beton elde etmek

içindir ve aynı zamanda önerilen prosedüre uygundur. İri agreganın nominal her bir boyutu için 3 karışım verilmiştir. İri agreganın seçilen büyüklüğü için karışım B tasarlanmıştır. Eğer bu karışımda fazla kum bulunursa karışım C olarak değiştirilir. Gereğinden daha az kum bulunma durumunda ise karışım A olarak değiştirilir. Eğer ince agrega nemli ya da ıslak olursa öngörülen toplam ağırlık düzenlemeleri yapılır.

2. Tabloda listelenen betonun birim hacmi için çimento içeriği de gerekli çimento tahminleri yardımcı olacaktır. Bu gereksinimler betonda temel alınmaktadır.

2.3.7.5. Ağır Beton Karışım Oranları

Normal işlenebilen beton ağır agregalar kullanılarak (çelik, bilye demir ve cevheri) cu/ft başına 350 lb gibi bir yoğunlukta oranlanabilir. Materyallerinin her birinin kendi özellikleri olmasına rağmen işlenebilirlik gibi bazı standart gereksinimleri karşılayabiliyor olmaları gerekir. Agregaya seçimi kullanım amacına bağlıdır. Ağır beton oranlamaları ve materyallerin seçiminde bilgi ihtiyacı oluşur ve prosedürde kullanılanlar normal ağır betonlar için kullanılan gereksinimlere benzer olmalıdır. Agregaya yoğunluğu ve ağır beton için bileşenler ASTM C 637 ve C 638 gereksinimlerini sağlayabilmek için gereklidir. Aşağıdaki ögeler bu amaçla dikkate alınmalıdır.

1. Ağır agregalar olarak kullanılan materyaller Tablo 2.27’de listelenmiştir.
2. Beton dökümünde sıcak şartlara maruz kalırsa ağırlık kayıpları gözlenecektir ve tekrardan oranlamaların yapılması gerekecektir.

Tablo 2.27. Tipik ağır agregaya

| Malzemeler | Tanımlama | Özgül ağırlık | Birim beton ağırlığı (lb/cu ft) |
|--------------------------------|--------------------------|---------------|------------------------------------|
| Limonit götit | Sulu demir cevherleri | 3.4-3.8 | 180-195 |
| barit | Baryum sülfat | 4.0-4.4 | 205-225 |
| İlmenit Hematit Magnetit | Demir cevherleri | 4.2-5.0 | 215-240 |
| Çelik /demir | Vurma, delme, aşınma | 6.5-7.5 | 310-350 |

3. Sürüklenen hava maruz kaldığı şartlara direnç göstermesi gerekirse hava tarafından işgal edilen boşluk nedeniyle ağırlık kaybı için tolerans verilmelidir. Titreşim sonucu olarak sürüklenen havanın kaybını telafi etmek için beton karışımı daha yüksek içerik ile orantılı olmalıdır.

Ağır agregaların taşınması ACI 304 3R ile uyumlu olmalıdır. Geleneksel yollarla yerleştirilen ağır yoğunluklu beton oranları ACI 211.1 ile uygun olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Önceden Yerleştirilmiş Ağır Beton: Önceden yerleştirilmiş beton normal ağırlıklı önceden yerleştirilmiş agrega betonları gibi benzer biçimde orantılı olmalıdır. Önceden yerleştirilmiş agrega metotları için örnek karışım oranları ACI 304.3R’de gösterilmiştir. Yüksek yoğunluklu beton için tipik oranlar ve tipik harç oranları ACI 304. 3R’ de bulunmaktadır.

Örnek: Beton donma çözülmeye maruz kalmayacak bir asansör köprü üzerinde denge ağırlıkları ile yapılacaktır. Ortalama 28 günlük basınç dayanımı 4500 psi gerekli olacaktır. 1in nominal maksimum agrega boyutunda 2 ile 3 in çökme ise yerleşim noktasında izin verilir. Ekonomik olarak malzemenin araştırılması aşağıdaki gibi gösterilir.

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| Çimento | ASTM C 150 TYPE I(hava sürüklenmemiş) |
| İnce agrega | Yansıtıcı Hemetit |
| İri agrega | İlmenit |

Tablo 2.27’de kombinasyonları gösterilen bu materyaller cu ft başına 240 ile 215 lb olarak sonuçlanabilir. Agregaların aşağıda belirtilen özellikleri laboratuvar testlerinden elde edilmiştir.

| | İnce agrega | iri agrega |
|-------------------|-------------|------------------|
| İncelik modülü | 2.30 | -- |
| Özgül ağırlık | 4.95 | 4.61 |
| Emme | 0.05 | 0.08 |
| Kuru ağırlık | -- | 165 lb per cu ft |
| Nominal max boyut | - | 1in |

Bu standart uygulaması 2.3.4.’teki, ön bilgilerde özetlenen, beton ya da küp başına düşen maddelerin miktarları aşağıdaki gibi hesaplanır.

-Belirtildiği gibi istenen çökme yerleştirme noktasında 2-3 in’dir.

- İri agrega iyi gradasyonlu ve 1 in nominal max boyutu ile iyi şekilde ezilmiş ilmenit olmalıdır. İnce agrega da helmenit olmalıdır.
- Tablo 2.13'te interpolasyon tarafından hava sürüklenmemiş beton 2 ile 3 in çökme ve 1 in nominal max boyutta agrega yaklaşık 310 lb cu yd başına su gerektirir.
- 4500 psi lik güç üretmek için gerekli su/çimento oranı Tablo 2.14'ten yaklaşık olarak 0,52 olarak bulunur.
- Yukarıdaki elde edilen bilgilerden istenilen çimento içeriği $310/0,52 = 596$ lb per cu yd olarak hesaplanır.
- İri agrega miktarı Tablo 2.16'dan elde edilen bilgilerle tahmin edilir. İnce agregalar için incelik modülü 2.30 ve 1 in tir. Nominal max boyuttaki agregalarda tablolara gösterildiği gibi iri agreganın 0.72 cu ft'si betonun her bir küpü için kullanılır. Bir yarda küp için iri agrega $27 \times 0.72 = 19.44$ cu ft olacaktır ve iri agreganın kuru ağırlığı 165 lb olduğu için betonun kübik yardasında kullanılan iri agreganın kuru ağırlığı $19.44 \times 165 = 3208$ lb olacaktır. İnce agrega kullanımı yüksek oranlarda ince agrega kullanımı gerektirebilir. Beraberinde çimento içeriğinin artmasını ya da gerekli işlenebilirliği elde etmek için hava kullanımı gerekir. Sürüklenen hava kullanımı betonun birim ağırlığını azaltır, ancak bazı hâllerde de dayanıklılık için gereklidir.
- Ağır beton için gerekli olan ince agrega mutlak hacim olarak belirlenmelidir. Çimento, su, hava, iri agrega içeriği ve ince agrega içeriği miktarları aşağıdaki gibi hesaplanır.

| | | |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|
| Su hacmi | $310 \text{ lb} / 62.4 \text{ lb per cu ft}$ | $= 4.97 \text{ cu ft}$ |
| Hava hacmi | $0.015 \times 27 \text{ cu ft}$ | $= 0.40 \text{ cu ft}$ |
| Katı çimento hacmi | $596 \text{ lb} / 3.15 \times 62.4 \text{ lb per cu ft}$ | $= 3.03 \text{ cu ft}$ |
| Katı iri agrega hacmi | $3208 \text{ lb} / 4.61 \times 62.4 \text{ lb per cu ft}$ | $= 11.15 \text{ cu ft}$ |

İnce agrega hariç tüm

| | | |
|------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|
| Malzemenin toplam hacmi | | $= 19.55 \text{ cu ft}$ |
| İnce agrega katı hacmi | $27 \text{ cu ft} - 19.55 \text{ cu ft}$ | $= 7.45 \text{ cu ft}$ |
| Gerekli ince agrega ağırlığı | $7.45 \text{ cu ft} \times 4.95 \times 62.4$ | $= 2301 \text{ lb}$ |

Gerçek test sonuçları betonun aşağıdaki özelliklere sahip olduğunu göstermiştir.

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| Birim ağırlık | $235.7 \text{ lb per cu ft}$ |
| Fırın kuru birim ağırlığı | 228.2 per cu ft |
| Hava içeriği | $\% 2.8$ |

2.3.7.6. Kütle Beton Karışım Oranları

Kütle beton herhangi bir betonun hacmi olarak tanımlanır. Kütle betonun amacı çimento, su, iri agrega ve karışım maddelerini birleştirmektir. Beton teknolojisinde tasarım esnasında tasarımcılar betonun oranlanmasında sıcaklığın etkilerini göz önünde bulundururlar.

Fakat kalınlık ve büyüklüklerin artması halinde üretilen ısının oranı dağıtılan ısının oranını aşar. Bu olay beton içinde sıcaklık artmasına neden olabilir. Betonun iç ve dış arasındaki farklı sıcaklıklar yüzeylerde çatlaklara neden olabilir.

Bu koşullar tarafından gerçekleştirilen çekme gerilimi $S = REeT$ eşitliği ile ifade edilir. R emniyet faktörü, E elastikiyet modülü, e termal genleşme katsayısı, T betonun iç ve dış kısmı arasındaki sıcaklık farkıdır. Köprü ayaklarında, kiriş, kolon ve diğer büyük yapılardaki termal çatlamlar yapılarıdaki servis ömrünü azaltır. Ayrıca dikkate alınması gereken bir başka durum da karışım oranlarının uygun seçimi ve sıcaklık kontrolüdür. [21-24].

Kütle betonun özellikleri

Önerilen projenin tasarım aşaması boyunca yapının farklı oranları için uygun güvenlik faktörleri ile istenilen basınç dayanımı belirlenmelidir. Mühendis betonun gerekli diğer özelliklerini genişletebilmektedir. Maddelerin oranlanması kütle beton karışımlarında arzu edilen özelliklere sahip olacak gereksinimlere sahiptir.

Isı üretimi için materyallerin özellikleri

Çimento esaslı özellikler: Kütle betonlar için çimento esaslı materyaller portland ya da karışımli hidrolik çimentodan oluşabilir. Puzolanlar ASTM C 618'de belirtilmiştir.

1. Portland çimento: Portland çimentonun hidrasyonu ekzotermiktir. Üretilen ısı miktarı Tablo 2.30'da ki gibi çimentonun kimyasal bileşiminin bir fonksiyonudur. Tip II çimento kütle betonda yaygın olarak kullanılır. Puzolanik karışım ile birlikte kullanıldığında Tip II oluşumunda ısı üretimi ve puzolan Tip IV ile karşılaştırılır. Hidratasyon gereksinimleri Tip II için belirtilebilir.

Hidratasyon ısısının oranı çimentonun inceliğinden etkilenir. Ancak üretilen başlangıç ısısı üzerinde az etkilenir. Diğer çimento özelliklerinin eşit olması durumunda İnce öğütülmüş çimento kaba öğütülmüş çimentodan daha hızlı ısı üretecektir.

2. Harmanlanmış hidrolik çimento: Harmanlanmış hidrolik çimentolar ASTM C 595 in gereksinimlerine uygundur. Bu çimentolar portland çimento ve yüksek fırın curufu ya da puzolanların karışımından oluşur.

3. Puzolanlar: Ekonomiklik ve sıcaklık artışı puzolanların kullanımından elde edilmiştir. Puzolanlar bazı diatomlar, toprak, volkanik kül veya aşındırıcılar içerirler.

Kütle betonlarında puzolanların kullanımı daha az ısı üreten materyal ile çimentonun kısmi değişimine olanak sağlar. Taze beton özellikleri üzerinde puzolanların etkisi, tipi ve inceliği, çimentonun bileşenleri, betonun birim hacminde kullanılan ilave puzolan'da ki çimentonun ağırlığı gibi özellikler son derece önemlidir. Bu özellikler ile beraber kimyasal ve fiziksel özellikleri de önem arz etmektedir. Puzolanlar betonun gerekli su ihtiyacını belirli oranlarda azaltabilir. Ancak bazı puzolanlar ise yaklaşık yüzde %15 oranında su ihtiyacını arttırabilir ve yaklaşık %60 daha fazla hava sürükleyici katkı maddeleri gerektirebilir.

Agregalar

Önerilen nominal boyutlu agregaların kullanımı Tablo 2.29'da görülmektedir. Nominal maksimum agrega büyüklüğü 6 in kadar düşünülebilir. Çünkü büyük agregalar, çimento pastası tarafından kaplandığı için daha az yüzey alanı sağlarlar. Çimento ve su miktarının azalması bazı karışımlar için uygun olabilir. Tablo 2.13'te bu bağlantıyı yansıtmaktadır. İri agreganın boyut fraksiyonları için gradasyon tipleri Tablo 2.30'da gösterilmektedir.

1. İri agrega kombinasyonları

Nominal maksimum boyutları belirlemek üzere, agrega grupları maksimum yoğunluk ve minimum boşluk üretimi için kombine edilirler. Bu sonuçlar yerleştirilebile, işlenebilme için uygun harç miktarlarının maksimum miktarlarıdır. Sıkıştırılmış (şişleme) birim ağırlık metodu 37,5 nominal maksimum boyuta kadar grupların birleşimi için geçerlidir. Ancak bu metot 3 in ya da 6 in boyut grupları için pratik değildir. Denklem, her bir elek boyutunda geçen materyalin yüzdesini verir. Bu denklem Fuller ve Thomson tarafından geliştirilmiştir. Denklemden üretilen parabolik eğri maksimum boyut ve minimum boşluklar için idealdir. İri agrega boyutlu grupları birleştiren ideal eğri 3 ve 6 in nominal maksimum boyutlu agrega karışımları kullanımı için tavsiye edilen işlemdir.

$$P = (d^x - 0.1875^x) / (D^x - 0.1875^x)$$

Burada

P=d boyutlu elekten geçen yüzde.

d = elek açıklığı in.(mm)

D= nominal maksimum boyutlu agrega

x=katsayı(yuvarlak agrega için 0.5 kırılmış agrega için 0.8)

6 in ve 3 in öğütülmüş ve yuvarlanmış agregalar için ideal kombineli derecelendirmeler Tablo 1.42'de gösterilmiştir. Her boyut gruplarının tek tek gradasyonu kullanılır(6in-3 in, 3 in-1^{1/2}, 1^{1/2} -3/4 in ve 3/4 in No 4). Her bir grup yüzdesi seçilerek deneme yanılma yöntemi ile ideal gradasyonda toplam iri agreganın sınıfı oluşturulacaktır. Her bir grubun yüzde seçimi genelde şöyle yapılabilir ki, eğer derecelendirme boyut grupları Tablo 2.31 limitleri içerisinde ise oluşturulan gradasyon(sınıflandırma) genelde ideal sınıflandırmanın yüzde 2-3 içerisinde dir. Burada Tablo 2.30 dışındaki derecelendirme sınıfları da kullanılabilir.

Tablo 2.28. Puzolan ve diğer malzemelerin tipik miktarları

| Madde ya da madde sınıfı | Mutlak hacim olarak çimento yüzdeleri | |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| | Açıkta olmayan beton | Açıkta beton |
| Puzolanlar (ASTM C 618) Sınıf F | 35 | 25 |
| Sınıf N diatomit dışındaki yanmamış her türlü madde | 30 | 20 |
| Sınıf N yanmamış diatomit | 20 | 20 |
| Diğer malzemeler kum veya doğal çimento | 35 | 25 |

Laboratuar karışım deneyleri ve deneyimleri belirlenmiş ise Puzolanların ve diğer materyaller kullanılabilir.

+Büyük yapılar için hava koşullarına açık olmayan beton

++ Büyük yapılar için hava koşullarına açık beton

Tablo 2.29. Yapı türleri için önerilen nominal maksimum boyuttaki agregalar

| Özellikler | Nominal max boyut in. (mm) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Yaklaşık 7 ½ in. Genişlikte ve donatılar arası mesafesi en az 2 ¼ in. | 1 ^{1/2} (37.5) |
| Donatısız bölümleri yaklaşık 12 in ve güçlendirilmiş bölümleri yaklaşık 18 in genişlikte donatılar arası mesafe yaklaşık 6 in ve 10 in altı. | 3(75) |
| Büyük bölümlerde donatılar arası mesafe yaklaşık 10 in ve istenmeyen şartlar ve kaya ceplerinde oluşturulmayan agregaların büyük boyutlarını içeren beton şartlarında | 6(150) |

Tablo 2.30. İri agrega gradasyon sınırları

| Elek açıklığı | Boyut ayırma | | | |
|---------------|---------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|
| | Ağırlık olarak elekten geçen bireysel yüzde | | | |
| | No.4 to3/4 in. | ¼ in. to 1 ^{1/2} in. | 1 ^{1/2} in. to 3in. | 3 in. to 6 in. |
| | 4.75 to 19mm | 19 to 37.5 mm | 37.5 to 75 mm | 75 to 150 mm |
| 7(177) | | | | 100 |
| 6(150) | | | | 90-100 |
| 4(100) | | | 100 | 20-55 |
| 3(75) | | | 90-100 | 0-15 |
| 2(50) | | 100 | 20-55 | 0-5 |
| 1-1/2(37.5) | | 90-100 | 0-10 | |
| 1(25) | 100 | 20-55 | 0-5 | |
| ¾(19) | 90-100 | 0-15 | | |
| 3/8(9.5) | 20-55 | 0-5 | | |
| No. 4(4.75) | 0-10 | | | |
| No. 8(2.36) | 0-5 | | | |

Tablo 2.31. 6in.(150mm) ve 3in. (75mm) nominal maksimum boyuttaki agregaya için ideal değerlendirmeler E.Q (A5.3)

| Elek açıklığı | 6 in. (150 mm) | | 3 in. (75 mm) | |
|---------------|----------------|-----|---------------|-----|
| | Geçen yüzde | | Geçen yüzde | |
| | | | | |
| 6(150) | 100 | 100 | - | - |
| 5(125) | 85 | 89 | | - |
| 4(100) | 70 | 78 | | - |
| 3(75) | 54 | 64 | 100 | 100 |
| 2(50) | 38 | 49 | 69 | 75 |
| 1-1/2(37.5) | 28 | 39 | 52 | 61 |
| 1(25) | 19 | 28 | 34 | 44 |
| ¾(19) | 13 | 21 | 25 | 33 |
| 3/8(9.5) | 5 | 9 | 9 | 14 |

2. İri agregaya içeriği

Kütle betonları için ince agregaya oranlamaları çimento materyalinin miktarına, kalitesine, iri agreganın tane boyut dağılımına, ince agreganın incelik modülüne parçacık şekline bağlıdır. İri agreganın miktarı ASTM C 29’da birim ağırlığı belirlenirse b/b metodu kullanılarak bulunabilir. Tablo 2.32’de 3-6 in maksimum boyutlu agregaya büyüklükleri için yüzde olarak toplam iri agregaya hacmine eşittir. Tablo sadece 3-6 in değerleri için geçerlidir.

Katkılar

Katkıların kullanıldığı betonlarda kütle oranları daima göz önünde tutulmalıdır. Kütle betonlarında kullanılan iki yaygın katkı maddesi bulunur. Bunlar hava sürükleyiciler ve su azaltıcı katkı maddeleridir.

1. Hava sürükleyiciler

Kütle betonlarında hava sürükleyiciler işlenebilirliği arttırmak için gereklidir. Bu maddelerin kullanımı ile ayrışma olayı azalır ve dayanıklılık iyileşme, işlenebilirlik gibi özellikler bakımından avantaj sağlarlar.

Tablo 2.32. İri agreganın yaklaşık içeriği veya ince agreganın üretimi

| Nominal maksimum boyuttaki iri agreganın tipi | İncelik modülü | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------|----------------|------|----|------|----|------|----|------|----|
| | Kum tipi | 2.80 | | 2.60 | | 2.80 | | 3.00 | |
| | | N | M | N | M | N | M | N | M |
| 6 in. (150 mm) kırılmış | | 80 | 78 | 79 | 77 | 78 | 76 | 77 | 75 |
| 6 in. (150 mm) yuvarlatılmış | | 82 | 80 | 81 | 79 | 80 | 78 | 79 | 77 |
| 3 in. (75 mm) kırılmış | | 75 | 73 | 74 | 72 | 73 | 71 | 72 | 70 |
| 3 in. (75 mm) yuvarlatılmış | | 77 | 75 | 76 | 74 | 75 | 73 | 74 | 72 |

Tablo 2.33. Çeşitli nominal maksimum boyuttaki agregaların yaklaşık hava ve harç içeriği

| Nominal max boyuttaki iri agreganın tipi | Harç içeriği cu ft/cu yd ± 0.2 (m ³ /m ³ + 0.01) | Hava içeriği toplam karışım yüzdesi |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 6 in. (150 mm) kırılmış | 10.5 (0.39) | 3.0-4.0 |
| 6 in. (150 mm) kırılmış | 10.0 (0.37) | 3.0-4.0 |
| 3 in. (75 mm) kırılmış | 12.0(0.44) | 3.5-4.5 |
| 3 in. (75 mm) kırılmış | 11.5 (0.43) | 3.5-4.5 |

Tablo 2.34. Hava sürüklenmiş betonların yaklaşık basınç dayanımı için su/çimento oranı

| Su/çimento oranı ağırlık olarak | 28 günlük basınç dayanımı psi, (MPa) | |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| | Doğal agregata | Kırılmış agregata |
| 0.40 | 4500 (31.0) | 5000(34.5) |
| 0.50 | 3400(23.4) | 3800(26.2) |
| 0.60 | 2700(18.6) | 3100(21.4) |
| 0.70 | 2100(14.5) | 2500(17.2) |
| 0.80 | 1600(11.0) | 1900(13.1) |

Tablo 2.35. Pasif bölümler için izin verilen en büyük su-çimento oranı

| Yapının konumu | Su/çimento oranı, ağırlık olarak | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| | Şiddetli ya da ılımlı iklim | Ilıman iklim az kar yada don |
| Sahil kıyılarındaki yapılarda | 0.50 | 0.55 |
| Büyük yapıların açıkta olmayan kısımları | Limit yok | Limit yok |
| Sıradan yapılar | 0.50 | 0.55 |
| Sualtı sürekli yapılarda | 0.58 | 0.58 |
| Su biriken yapılarda | 0.45 | 0.45 |
| Deniz suyu, tuz, korozif sıvılar ya da yeraltında sülfata maruz kalan yapılarda | 0.45 | 0.45 |
| Yüksek hızda su akışına sahip yapılarda (>12m/sn) | 0.45 | 0.45 |

Tablo 2.36. Deneme karışımlarında beton oranlamaları için önerilen malzeme miktarları

| Nominal maksimum boyuttaki agrega karışımları in.(mm) | Agrega miktarları | | | | | |
|-------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|
| | İri agregalar | | | | | |
| | İnce agrega | No.4 -3/4 in. (4.75mm-19mm) | ¾ in-1 1/2in. (19mm-37.5mm) | 1 1/2 in.-3 in. (37.5-75mm) | 3in.-6 in. (75-150 mm) | Çimento , lb (kg) |
| ¾ (19) | 1200(544) | 1200(544) | - | - | - | 400(181) |
| 1 ½ (37.5) | 1000(454) | 1000(454) | 1000(454) | - | - | 400(181) |
| 3 (75) | 2000(907) | 1500(680) | 1000(454) | 2000(907) | - | 500(227) |
| 6 (150) | 3000(1361) | 2000(907) | 1500(680) | 2500(1134) | 3000(1361) | 700(318) |

2. Su azaltıcı katkıları

Kütle beton karışımlarında efektif bulunan ASTM C49'ün gereklerini karşılamada oldukça etkilidir. Suyun azalması çimento oranının azalmasını sağlarken su/çimento oranı sabit değerini korur. Farklı betonlar için su miktarlarında azalmalar farklılıklar gösterebilir. Ancak %5-%8 oranı normal bir değerdir. Ek olarak bazı su azaltıcı karışımlar beton hareketliliğini sağlama eğilimi göstermektedir.

Dayanım ve dayanıklılık

Kütle beton oranlarında, dayanım ve dayanıklılık gereksinimleri karşılanırken aynı zamanda ısı ve sıcaklık kontrolleri de yapılmaktadır. Eğer su/çimento oranı, basınç dayanımı bilgileri mevcut değilse, 6x12 in silindirlerde test edilen beton testlerinin yaklaşık basın dayanımı Tablo 2.34'ten tahmin edilebilir. Beton için tavsiye edilen maksimum su-çimento oranı Tablo 2.35'te gösterilmektedir. Hesaplamalarla belirlenen su/çimento oranı denemelerle doğrulanabilir. Sonuçlar ısı oluşumundan ziyade güç ve

dayanıklılık üzerinde yoğunlaşmıştır. Örneğin dayanıklılık sağlamak amacıyla kullanılan ek çimento kullanılan baraj inşaatlarında bu durum geçerli olabilir.

Yerleştirme ve işlenebilirlik

Deneyimler göstermiştir ki iri agrega karışımları, 3 ve 6 in nominal maksimum boyutlu agrega, uygun yerleştirme ve işlenebilirlik özellikleri için minimum harc içeriğine sahip olacaktır. Tablo 2.33'te harcın mutlak toplam hacmi gösterilmektedir. Bu değerler oranlama prosedürü boyunca belirlenen değerler ile kıyaslanabilirler ve işlenebilirliği geliştirmek için deneme karışımlarındaki çimentonun artması ya da azalması uygun ayarlamalar yapılarak gerçekleştirilir

Prosedür

Materyalin özellikleri ve bilgileri belirtildikten sonra, oranlamalar aşağıdaki adımlar gibi bir dizi halinde devam eder. Oranlamalar ısı üretimi ve çimentonun hidrasyon oranı etkisi nedeniyle maksimum yerleştirme sıcaklığı belirlenmelidir. 3 in yada 6 in maksimum boyutlu agrega ile bu prosedür ACI 211.1'den biraz farklı olabilir. Bu zorluk esasen yoğunluk belirlemede kendini gösterebilir. Nominal agrega büyüklüğü $1^{1/2}$ in ya da daha az değerleri için ACI 211.1'de uygun ayarlamalar ve düzenlemeler yapılabilir.

Adım 1. Beton özellikleri ile alakalı bütün gereksinimleri içermektedir.

1. Agreganın nominal maksimum boyutu kullanılır.
2. Çökme aralığı
3. Su-çimento oran sınırlamaları
4. İstenen maksimum yerleştirme sıcaklığı
5. Değişen hava içeriği
6. Özel dayanım ve yaş testleri
7. Beklenen maruz kalma şartları
8. Bu akışına maruz kaldığı zaman, beklenen su hızları

9. Toplam kalite gereksinimleri

10. Çimento ya da puzolan özellikleri

Adım 2

Yeterli bilgi mevcut değilse materyalin temel özellikleri belirlenir. Gerekli gereksinimleri tamamlamak için yapılan testler Tablo 2.36'da gösterilmektedir. Eğer puzolan ekonomik olarak uygunsa ya da özellikleri yeterli ise, Tablo 2.28'den de desteklendiği gibi yüzdeler deneme karışımlarında başlangıç noktası olarak kullanılabilir.

Tets programı için sunulan malzemelerden aşağıdaki özellikler belirlenebilir.

1. Bütün agregaların elek analizi
2. Agregaların toplam özgül ağırlığı
3. Agregaların absorpsiyonu
4. İri agreganın tane şekli
5. İnce agreganın incelik modülü
6. Portland çimentonun özgül ağırlığı
7. Portlan çimento yada puzolanlar ve 7 günlük hidrasyon ısısı içeren çimento karışımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yukarıda sözü edilen tüm özellikler alan kullanımı için uygun olmalıdır. Bu bilgi karışım ayarlamalarına yardımcı olacaktır.

Adım 3

S/Ç oranının seçimi, bu oranların verilmediği durumlarda Tablo 2.35'ten seçilmektedir. Bu s/ç oranı kıyaslandığında oran ortalama güç değerleri aşağıdaki örnekten elde edilir.

Adım 4

Karışım suyu tahmini Tablo 2.13'ten yapılır. Bu tahminler belirtilen çökme nominal maksimum boyutlu çökme içindir. İlk yerleştirme sıcaklığı bu su gereksinimini etkileyebilir.

Adım 5

Hava içeriğinin seçimi Tablo 2.33'te önerilen değerlere bakılarak seçim yapılabilir. Toplam hava içeriği, prosedür bölümünden karışımın ayarlanması oluşturulabilir.

$$A = \frac{a}{1 + r \left(1 - \frac{a}{100}\right)}$$

A= yüzde olarak ifade edilen toplam karışım hava içeriği

a= yüzde olarak ifade edilen karışım fonksiyonudur.

r= $1^{1/2}$ mutlak hacim oranıdır.

Adım 6

Su gereksinimi ve s/ç seçiminden gerekli çimentonun ağırlığının hesaplanması.

Adım 7

Adım 4.5 ve 6'dan elde edilen bilgilerden çimento materyali, su içeriği ve hava içeriğinin mutlak hacmini belirleme

$$V_{c+p} = C_w/G_{\check{c}}(62.4) \text{ cu ft ya da } C_w/G_{\check{c}}(1000) \text{ m}^3$$

$$V_c = V_{c+p}(1-F_v)$$

$$V_p = V_{c+p}(F_v)$$

C_w = Adım 6 dan belirlenen portland çimentoda eşitliği ağırlık

G_ç = Portland çimentonun özgül ağırlığı

V_p = Puzolan hacmi (cu ft) m³

V_{c+p} = Çimento ve puzolanın hacmi (cu ft) m³

F_v =Puzolan yüzdesi

Adım 8: Tablo 2.32'den İri agreganın yüzdesi seçilir ve bu seçim incelik modülüne bağlıdır.

Adım 9: Toplam agreganın mutlak hacim hesabı belirlenir.

Adım 10: İri agrega boyut gruplarının kombinasyonu oluşturulur. Her bir boyut grubunun yüzdesi en yakın tam değere yuvarlatılır.

Adım 11: Karışımdaki tüm malzemelerin birim hacim başına düşen ağırlıkları için mutlak hacim dönüştürmelerdir.

Adım 12: Harç miktarları kontrol edilir. Daha önce hesaplanan mutlak harç hesabı içeriği ve Tablo 2.33'ten alınan değerler ile sonuç kıyaslama yapılır. Tablo 2.33 değerler karışımın işlenebilirliğin göstergesi olacaktır.

Örnek Problem

Çoğu iklimde suya maruz kalan köprü ayakları için beton gereklidir. 28 günlük basınç dayanımı 3000 psi dir. Şartlar büyük nominal büyüklükteki agregaların kullanımını gerektirir. Mevcut doğal ince agregalar 2.8 incelik modülü ve 2,64 özgül ağırlığa sahiptir. F sınıfı puzolan kullanılabilir ve beton ısısının oluşumunu azaltmak için kullanılabilir. Puzolan 2,45 özgül ağırlığa sahiptir ve Type II portland çimento kullanılabilir.

İstenilen özellikler belirlenir. Aşağıdaki özellikler proje dökümanları ve mühendis danışmanları ile belirlenmiştir.

- 1- 6 in (150 mm) nominal maksimum boyutta ezilmiş taş agrega kullanımı ekonomiklik açısından mümkündür.
- 2- Betonun çökme aralığı 1-2 in olacaktır.
- 3- Su/çimento oranı 0.50 olması gerekir.
- 4- Proje dökümanları 65 F (18 C) ya da altında beton gerektirir.
- 5- % 1^{1/2} -%5 hava sürüklenmesi olması gerekir.
- 6- 500 psi standart sapma varsayılırsa iyi bir inşaat denetimi olduğu kabul edilir ve testlerin % 80 i proje mukavemetinin üstündedir. 28 günlük basınç dayanımı 3400 psi daha az olması gereklidir.
- 7- Beton çoğu kez şiddetli şartlara maruz kalacaktır.
- 8- Beton çevresinde su hızı 40 ft/sec (12m/s) geçmeyecektir.
- 9- Proje ihtiyaçlarını karşılamada agrega özellikleri uygundur.
- 10- Özel projelerde Tip II çimentosunun kullanılması uygundur.

Malzemelerin özellikleri belirlenir.

1- İri agregalar aşağıdaki elek analizlerine sahiptir.

Tablo 2.37. Elekten geçen bireysel yüzde

| Elek açıklığı | Ağırlık olarak elekten geçen bireysel yüzde | | | |
|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------|
| | No.4 to 3/4 in. | 1/4 in. to 1 ^{1/2} in. | 1 ^{1/2} in. to 3 in. | 3 in. to 6 in. |
| | 4.75 to 19mm | 19 to 37.5 mm | 37.5 to 75 mm | 75 to 150 mm |
| 7(177) | | | | 100 |
| 6(150) | | | | 98 |
| 5(125) | | | | 60 |
| 4(100) | | | 100 | 30 |
| 3(75) | | | 92 | 10 |
| 2(50) | | 100 | 30 | 2 |
| 1-1/2(37.5) | | 94 | 6 | |
| 1(25) | 100 | 36 | 4 | |
| 3/4(19) | 92 | 4 | | |
| 3/8(9.5) | 30 | 2 | | |
| No. 4(4.75) | 2 | | | |

2- Kaba ve ince agreganın toplu özgül ağırlığı belirlenir.

3- Kaba ve ince agreganın emilimi aşağıdaki gibidir.

4- Kaba ve ince agreganın ezilerek doğal elde edilir.

5- İnce agreganın incelik modülü 2.80'dir.

6- Portland çimentonunve puzolanların özgül ağırlığı 3,15 ve 2,45'dir.

7- Portland çimentonun ve puzolanların fiziksel ve kimyasal testleri projenin özelliklerine uygun olarak doğrulanır.

Tablo 2.35'ten s/ç oranı 0,50 olarak seçilir ve Tablo 2.34'ten 3400 psi basınç dayanımı için s/ç oranı maksimum 0,57 seçilir. (0,48)

Gerekli karışım suyu miktarı Tablo 2.13'ten tahmin edilen su içeriği 1 veya 2 in çökme ve 6 in kırmataş kullanımında 180 lb/cu yd'dir.

Hava içeriği Tablo 2.33'ten % 3,2 olarak seçilir. S/Ç oranının seçiminde çimento ağırlığı ve su ihtiyacı belirlenir.

$$S/Ç = 0,48$$

Tablo 2.38. 6 in nominal maksimum boyutlu öğütülmüş materyal için yüzdelere

| Elek açıklığı | Bireysel yüzde | | | | Yüzde 45 | Yüzde 25 | Yüzde 15 | Yüzde 15 | Birleştirilen yüzde | İdeal yüzde |
|---------------|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------|
| | 4 ile 3/4 in. (150 ile 75 mm) | 1/4 in. ile 1 1/2 in. (75 ile 37.5 mm) | 1 1/2 in. ile 3 in. (37.5 ile 19 mm) | 3 in. ile 6 in. (19 ile 4.75 mm) | 4 ile 3/4 in. (150 ile 75 mm) | 1/4 in. ile 1 1/2 in. (75 ile 37.5 mm) | 1 1/2 in. ile 3 in. (37.5 ile 19 mm) | 3 in. ile 6 in. (19 ile 4.75 mm) | | |
| 7(175) | 100 | | | | 45 | 25 | 15 | 15 | 100 | |
| 6(150) | 98 | | | | 44 | 25 | 15 | 15 | 99 | 100 |
| 4(100) | 30 | 100 | | | 14 | 25 | 15 | 15 | 69 | 70 |
| 3(75) | 10 | 92 | | | 4 | 23 | 15 | 15 | 57 | 54 |
| 2(50) | 2 | 30 | 100 | | 1 | 8 | 15 | 15 | 39 | 38 |
| 1-1/2(37.5) | | 6 | 94 | | | 2 | 14 | 15 | 31 | 28 |
| 1(25) | | 4 | 36 | 100 | | 1 | 5 | 15 | 21 | 21 |
| 3/4(19) | | | 4 | 92 | | | 1 | 14 | 15 | 15 |
| 3/8(9.5) | | | 2 | 30 | | | 0 | 5 | 5 | 5 |
| No. 4(4.75) | | | | 2 | | | | 0 | 0 | 0 |

Bu nedenle portland çimento karışımında çimentonun ağırlığına eşittir.

$$180/0.48 = 375 \text{ lb/cu yd} = 222 \text{ kg/m}^3$$

Su içeriği ve hava içeriği, çimentolu malzemeler için m³ başına düşen mutlak hacim belirlenir. Tablo 2.28'de tavsiye edildiği üzere, hacimce % 25 puzolan kullanılacaktır.

Çimentolu materyallerin mutlak hacmi adım 7'den A,B ve C eşitliklerinden belirlenir.

$$\text{Çimento + puzolan hacmi} = 375/3.15 \times 62.4 = 1.91 \text{ cu ft/cu yd}$$

$$\text{veya } 222/3.15 \times 1000 = 0.070 \text{ m}^3$$

$$\text{Çimento hacmi} = 1.91 \times (1-0.25) = 1.42 \text{ cu ft/cu yd veya } 0.070 \times (1-0.25) = 0.052 \text{ m}^3$$

$$\text{Puzolan hacmi} = 1.91 \times 0.25 = 0.48 \text{ cu ft/cu yd veya } 0.070 \times 0.25 = 0.018 \text{ m}^3$$

$$\text{Suyun hacmi} = 180/62.4 = 2.88 \text{ cu ft veya } 107/1000 = 0.107 \text{ m}^3$$

$$\text{Hava hacmi} = 0.032 \times 27 \text{ yd} = 0.86 \text{ cu ft/cu yd veya } 0.032 \times 1.0 = 0.032 \text{ m}^3$$

İncelik modülü 2,80 ve 6 m öğütülmüş taş ince agrega için, iri agreganın hacmi Tablo 2.32'de görüldüğü gibi %78 olur.

İnce ve iri agreganın mutlak hacmi belirlenir.

$$27 - 2.88 - 0.86 - 1.91 = 21.34 \text{ cu ft/cu yd veya } 0.79 \text{ m}^3$$

$$\text{İri agrega hacmi} = 21.34 \times 0.78 = 16.65 \text{ cu ft/cu yd veya } 0.79 \times 0.78 = 0.62 \text{ m}^3$$

$$\text{İnce agrega hacmi} = 21.34 \times 0.22 = 4.70 \text{ cu ft/cu yd veya } 0.79 \times 0.22 = 0.17 \text{ m}^3$$

İri agreganın çeşitli büyüklükteki gruplara ayrılmıştır. Sınıflandırılan agregalar üzerinde denemeler ve hesaplamalar yapılmıştır. Yüzde sonuçları aşağıdaki gibidir.

$$\text{No 4-3/4 in (4.75-19mm)} \quad \% 15$$

$$\text{3/4-1}^{1/2} \text{ in (19-75mm)} \quad \% 15$$

$$\text{1}^{1/2} \text{ -3 in (75-150mm)} \quad \% 25$$

$$\text{3-6 in (150-300mm)} \quad \% 45$$

Tablo 2.39. Betonun mutlak hacmi, hacim başına düşen birim ağırlığa dönüştürülür

| Malzemeler | Mutlak hacim x özellik ağırlık x 62.4 | Lb/cu yd (kg/m ³) |
|-----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
| Portland çimento | 1.42(3.15)62.4 | 281 (167) |
| Puzolan | 0.48(2.45)62.4 | 73(43) |
| Su | 2.88(1.00)62.4 | 180(107) |
| Hava | 0.86 | |
| İnce agrega | 4.70(2.64)62.4 | 774(459)S.S.D* |
| İri agrega | | |
| No 4-3/4 in (4.75-19mm) | 16.65(0.15)(2.68)62.4 | 418(248)S.S.D* |
| 3/4-1 ^{1/2} in (19-75mm) | 16.65(0.15)(2.70)62.4 | 421(250)S.S.D* |
| 1 ^{1/2} -3 in (75-150mm) | 16.65(0.25)(2.70)62.4 | 701(416)S.S.D* |
| 3-6 in (150-300mm) | 16.65(0.45)(2.72)62.4 | 1272(755)S.S.D* |

Harç içeriğinin kontrolü ve Tablo 2.33 ile kıyaslanması:

Harç içeriği = 1.42+0.48+2.88+4.70+0.86= 10.35 cu ft/cu yd

Tablo 2.31'den hava içeriği 10,5 cu ft/cu yd olarak tahmin edilir.

Tablo 2.40. Deneme harmanı: Yukarıdaki bilgilerden mutlak hacim ve m³ başına düşen ağırlık şöyle hesap edilir.

| Malzemeler | Mutlak hacim ft ³ /yd (m ³ /m ³) | Lb/yd ³ (kg/m ³) |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Portland çimento | 1.42(0.052) | 281 (167) |
| Puzolan | 0.48(0.018) | 73(43) |
| Su | 2.88(0.107) | 180(107) |
| Hava | 0.86(0.032) | - |
| İnce agrega | 4.70(0.174) | 774(459)S.S.D* |
| No 4-3/4 in (4.75-19mm) | 2.50(0.093) | 418(248)S.S.D* |
| 3/4-1 ^{1/2} in (19-75mm) | 2.50(0.093) | 421(250)S.S.D* |
| 1 ^{1/2} -3 in (75-150mm) | 4.16(0.154) | 701(416)S.S.D* |
| 3-6 in (150-300mm) | 7.49(0.277) | 1272(755)S.S.D* |
| Toplam | 27.00(1.000) | 4120(2444) |

Yukarıdaki ağırlıklar deneme harmanının oranlanmasını kolaylaştırmak için daha az olmalıdır. Gerekli ayarlamalardan sonra betonun istenilen özellikleri ve deneme harmanları yapılmalıdır.

3.MATERYAL METOD

Bu çalışmanın amacı; beton karışım hesaplamasının malzeme özelliklerine göre rahat ve pratik olarak yapılabilmesi, hesaplama sonrasında ise slump deneyi sonucuna göre karışım oranlarının yeniden düzenlenerek 1m³ için ayrıca gerekli beton hacmine göre malzeme miktarlarının belirlenmesidir. Hesaplamaların tamamı Excell ortamında hazırlanan bir program vasıtasıyla yapılmıştır. Bu program hazırlanırken 3 farklı Excell sayfası oluşturulmuştur. Bu sayfalar; tablo sayfaları, genel veri giriş sayfası, ve karışım hesaplama sayfasıdır. Tablo sayfası oluşturulurken TS 802 (1985), TS 802 (2009), ve ACI 211 incelenerek bu standartlardaki tablolar Excell'e aktarılmıştır. Genel veri giriş sayfasında ise karışımın hangi standarda göre yapılacağı, malzeme özellikleri, farklı iki agrega kullanılacaksa bunların oranları, sabit s/ç oranı veya çimento dozajı varsa bu değerler ve karışıma girecek bütün malzeme oranları ve özellikleri bu sayfada gösterilecektir. Karışım hesaplaması sayfası genel veri giriş sayfasında verilenlere göre tablolardan değerler alır ve 1m³ için gerekli malzeme miktarlarını hesaplar. Slump deneyi sonucunda su miktarı değişecekse bu değişimde girilir ve sonuç olarak gerekli malzeme oranları kesinleşmiş olur .

Tablo 3.1. Genel değer giriş tablosu

| GENEL DEĞER GİRİŞ TABLOSU | |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Karışımında Esas Alınan Standart: TS802(1985)- (1); TS802(2009)-(2); ACI211 (3) | 1 |
| Akışkanlaştırıcı Kullanılacaksa % si, su azaltma % si ve Yoğunluğunu | |
| Hava Katkısız(1), ılıman iklim(2), Orta Şiddetli(3), Sert iklim(4) Değerini | 4 |
| Çökme Değerini Seç (2, 4, 6, 7, 10, 12, 13, 15, 17 cm.) | 15 |
| Dmax Değerini ve Eğriği Gir (4; 8; 16; 32; 63 mm.) | 63 B |
| Beton Sınıfını Gir (15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 55 MPa) | 35 |
| Hava Sürükleyici Katkı Kullanılacak İse % si ve hava artırma % si | |
| Çimento Dozajı ve Yoğunluğunu | 3,15 |
| (Su/Çimento) Oranı Sabit İse değerini gir | |
| Pompa Betonu Dmax Değeri ve Eğrisi (8 - 22,4 - 32 mm.) | |
| Lif veya İlave Malzemenin Yüzdesi ve Yoğunluğu (kg/dm ³) | |

Genel değer giriş sayfasında ilk olarak Tablo 3.1' deki gerekli hususlar doldurulacaktır. Bu kısımlara baktığımızda karışımında esas alınan standartlar TS 802 (1985) için 1'i, TS 802 (2009) için 2'yi, ACI 211 için hesaplama yapacaksak 3'ü seçeceğiz. Akışkanlaştırıcı kullanılacaksa % si, tahmini su azaltma oranı ve yoğunluğunu giriyoruz. Hava katkısız beton için 1'i, ılıman iklim için 2'yi, orta şiddetli iklim için 3'ü,

sert iklim için 4 değerini gireriz. Uygun çökme değerini verilen değerlerden uygun çökme değerini seçeriz. Dmax değerini ve eğriyi seçeriz.

Beton sınıfı için 15, 20,25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 olan MPa değerlerinden, karşılık gelen değer hangi beton sınıfı ise o değeri yazarız. Hava sürükleyici katkı kullanılacak ise yüzdesi ve hava artırma yüzdesi gireriz. Eğer çimento dozajı sabit ise değeri ve yoğunluğu gireriz.

Su/çimento oranı sabit ise yazarız değilse boş bırakırız.

Pompa beton kullanılacaksa Dmax değerini ve eğrisini yazarız. Lif veya ilave malzeme kullanılacaksa yüzdesini ve yoğunluğunu girerek genel değer giriş tablosundaki verileri bitirmiş oluruz.

Tablo 3.2. Özel agrega granülometrisi

| ELAK AÇIKLIĞI (mm) | AGREGA GARANÜLOMETRİSİ | ÖZEL AGREGA GRANÜLOMETRİSİ | Kırma Taş % si | Kullanılan Agregat Cinsleri | | AGREGA % LERİ |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|---|-----------------------------------------------------|
| | | | | | | |
| (0-2) | 30 | 30 | | Normal Agregat | 1 | 30 |
| (2-4) | 15 | 15 | | Kırma Taş | 1 | 70 |
| (4-8) | 10 | 10 | | Hafif Agregat | | |
| (8-16) | 8 | 8 | | Lif veya ilave Malzeme | | Yer Değişecek Ag. İnce (1) - İri (2) Genel(3) |
| (16-32) | 5 | 5 | | | | |
| (32-63) | 3 | 3 | | | | |
| | | | | | | |

Eğer belirlenen eğriler değil de özel agrega granülometrisi oluşturacak ise Tablo 3.2.'de gösterilen özel agrega granülometrisi bölümüne uygun olacak değerleri yazarak kendi özel agrega granülometrimizi oluşturabiliriz. Yanındaki boş olan bölümde seçmiş olduğumuz agregat cinslerinin yüzdeleri yazabiliriz. Kullanacağımız agregat tipleri, yüzdeleri ve agregat ile yer değişecek malzemeler Tablo 3.2'de görüldüğü gibi hangi agregat tipini kullanacak ise (normal agregat, kırma taş, hafif agregat) o agregatın karşısına 1 değerini yazarız. Kullandığımız agregattan ne kadar kullanacağımızı ise agregat yüzdeleri bölümüne yazarız. Lif veya ilave malzeme eklenecek olursa yer değişecek agregatın, ince ise 1, iri ise 2, genel ise 3, yazılarak karışımlar hazırlanır.

Tablo 3.3. Yapı tipi ve iklim şartları

| SERT İKLİM | ILIMAN VEYA KURAK BÖLGE | HAVADA | TATLI SUDA | DENİZ SUYU VEYA SÜLFAT ETKİLİ | |
|------------|-------------------------|--------|------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | Bodür, Korkuluk, B:A: Kazıklar |
| | | | | | İstinat Duvarı, Köprü Ayakları, Kolon ve Kirişler |
| | | | | | Su Altında Dökülecek Betonlar |
| | 1 | | 1 | | Zemin üzerindeki döşeme Betonları, Kanal Kaplamaları |
| | | | | | Hava Etkilerine Karşı Korunacak bina İçi veya Zemin Altındaki Betonlar |
| | | | | | Uzun Yıllar Korunmadan veya Arkası Toprakla Doldurulan Yapılardaki Betonlar |

TS 802 1985'e göre Tablo 3.3'te Su/çimento seçilirken beton dökülecek yeri ve bulunduğumuz ortamı 1 değerini vererek seçebiliriz.

Tablo 3.4. Agrega özellikleri

| Agrega Özelliklerini Gir | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|-------------|---------------|--------------------------------|-------------|---------------|----------|
| Agrega Çapı | Normal Agrega | | | | Yoğunluk (kg/dm ³) | Su Emme (%) | Doğal Nem (%) | |
| | Granülometri (%) | Yoğunluk (kg/dm ³) | Su Emme (%) | Doğal Nem (%) | | | | |
| (0-2) | 30 | | | | | | | 0 |
| (2-4) | 8 | | | | | | | 0 |
| (4-8) | 12 | | | | | | | 0 |
| (8-16) | 14 | | | | | | | 0 |
| (16-32) | 16 | | | | | | | 0 |
| (32-63) | 20 | | | | | | | 0 |
| TOPLAM | 100 | 2,8 | 1,5 | 0,5 | | | | 0 |

Agrega özelliklerinin bulunduğu tabloda ise yoğunluk, su emme ve doğal nem değerleri yazılır. Eğer bu değerler bütün agrega sınıfları için aynı ise değer sütununun en alt satırına yazılır. Böyle bir durum yoksa her sınıfın karşısına yazılır.

Tablo 3.5. Kıvam tayini

| | | |
|---------------------------------------------------|----------|-----------|
| Kıvam Tayini Slump İle Yapılacaksa "1" Yaz | 2 | Slump =1 |
| | | Numune =2 |
| | | Normal="" |

Kıvam tayini slump ile yapılacaksa 1, numune ile yapılacaksa 2, normal olacaksa boş bırakırız.

değerini yazarız. Çökme değeri olarak 15 cm, Dmax değerini 63mm olarak seçeriz eğriyi ise B olarak seçeriz. Beton sınıfı olarak 35 MPa değerini, çimento yoğunluğu için ise 3,15 yazmalıyız. Kullanılan agreg a cinslerine ise normal agreg a kullanacağımız için 1 değerini karşısına yazarız.

Agreg a özellikleri için agreg a yoğunluk değerleri hepsi için ortak ve 2.80 olarak seçmeliyiz. Su emme ve nem oranlarını da aynı olarak kabul edersek yine tek değer olarak yazabiliriz.

Verilecek değerler bittiğinde karışım hesaplaması sayfamızı açarak sonuçları buradan sorunsuz bir şekilde bakarak hesaplamalarımızı buradan kontrol edebiliriz. Burada hesaplamaları Excell programı otomatik olarak kendi yapacaktır. Sonuçlara bakarak hangi malzemeden ne kadar kullanmamız gerektiği bize tablolar sayesinde verilecektir. Şimdi bu yaptığımız örneğin sonuçlarını görebiliriz

Öncelikle nem dikkate alınmadan oluşan 1 m³ malzeme miktarları şu şekilde olacaktır.

Tablo 3.7 1m³ malzeme miktarları

| 1 m³ için Malzeme Miktarları (Agreg a Nemi Dikkate Alınmadan) | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|------|
| | Malzeme | Yoğunluk (kg/dm3) | Hacim (dm3) | Ağırlık (kg) | |
| | Çimento | 3,15 | 116 | 365 | |
| | Su | 1 | 175 | 175 | |
| Normal Agreg a | (0-2) | 2,8 | 211 | 592 | 750 |
| | (2-4) | 2,8 | 56 | 158 | |
| | (4-8) | 2,8 | 85 | 237 | |
| | (8-16) | 2,8 | 99 | 276 | |
| | (16-32) | 2,8 | 113 | 316 | 1223 |
| | (32-63) | 2,8 | 141 | 394 | |
| | | | | | 0 |
| | | | | | 0 |
| | Hava | 0 | 5 | 0 | |
| | Akışkanlaştırıcı | | | | |
| | Hava Sürükleyici | | | | |
| | | | | | |
| | TOPLAM | | 1000 | 2512 | |

Nem dikkate alınarak oluşan 1m³ malzeme miktarları ise şu şekilde olacaktır.

Tablo 3.8. 1m³ malzeme miktarları

| 1 m³ için Malzeme Miktarları (Agrega Nemi Dikkate Alınarak) | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------|------|------|
| Malzeme | Yoğunluk (kg/dm ³) | Hacim (dm ³) | Ağırlık (kg) | S/Ç | |
| Çimento | 3,15 | 116 | 365 | 0,53 | |
| Su | 1,00 | 192 | 192 | | |
| Normal Agrega | (0-2) | 2,80 | 206 | 577 | 731 |
| | (2-4) | 2,80 | 55 | 154 | |
| | (4-8) | 2,80 | 82 | 231 | |
| | (8-16) | 2,80 | 96 | 269 | |
| | (16-32) | 2,80 | 110 | 308 | 1193 |
| | (32-63) | 2,80 | 137 | 385 | |
| | | | | 0 | |
| | | | | 0 | |
| Hava | 0,00 | 5 | 0 | | |
| Akışkanlaştırıcı | | | | | |
| Hava Sürükleyici | | | | | |
| TOPLAM | | | 1000 | 2481 | |

Tablo. 3.9. Gerekli malzeme miktarları

| Slump İçin Gerekli Malzeme Miktarları | | | | | |
|----------------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------|----------|
| | Malzeme | Yoğunluk (kg/dm ³) | Hacim (dm ³) | Ağırlık (kg) | |
| | Çimento | 3,15 | 0,73 | 2,30 | İlave Su |
| | Su | 1,00 | 1,54 | 1,54 | 0,25 |
| Normal Agrega | (0-2) | 2,80 | 1,70 | 4,76 | 7,14 |
| | (2-4) | 2,80 | 0,85 | 2,38 | |
| | (4-8) | 2,80 | 0,57 | 1,59 | |
| | (8-16) | 2,80 | 0,45 | 1,27 | 4,12 |
| | (16-32) | 2,80 | 0,28 | 0,79 | |
| | (32-63) | 2,80 | 0,17 | 0,48 | |
| | | | | | 0,00 |
| | | | | | 0,00 |
| | Hava | 0,00 | 0,03 | 0,00 | |
| | Akışkanlaştırıcı | | | | |
| | Hava Sürükleyici | | | | |
| | TOPLAM | | 6,32 | 15,10 | |

Tablo 3.10. Düzenlenmiş miktarlar

| Slump İçin Düzenlenmiş Malzeme Miktarları | | | | | |
|--------------------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------|------|
| | Malzeme | Yoğunluk (kg/dm ³) | Hacim (dm ³) | Ağırlık (kg) | S/Ç |
| | Çimento | 3,15 | 1,14 | 3,58 | 0,48 |
| | Su | 1,00 | 1,72 | 1,72 | |
| Normal Agrega | (0-2) | 2,80 | 1,45 | 4,06 | 6,10 |
| | (2-4) | 2,80 | 0,73 | 2,03 | |
| | (4-8) | 2,80 | 0,48 | 1,35 | |
| | (8-16) | 2,80 | 0,39 | 1,08 | 3,52 |
| | (16-32) | 2,80 | 0,24 | 0,68 | |
| | (32-63) | 2,80 | 0,15 | 0,41 | |
| | | | | | 0,00 |
| | | | | | 0,00 |
| | Hava | 0,00 | 0,03 | 0,00 | |
| | Akışkanlaştırıcı | | | | |
| | Hava Sürükleyici | | | | |
| | TOPLAM | | 6,32 | 14,91 | |

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İstenilen beton özelliklerini elde edebilmek için karışım oranlarını doğru bir şekilde tespit etmek gereklidir. Dayanım, dayanıklılık, işlenebilirlik, kıvam, büzülme, sünme gibi özelliklerinin yanında s/ç oranı, maksimum agrega çapı ve oranı, hava miktarı, tane dağılımı, çökme değeri, katkı maddeleri gibi özelliklerde dikkate alınarak karışım hesabı yapılmalıdır. Kullanılan katkı maddeleri ve katkı maddelerinin tipi betondaki karışım suyu miktarının önemli ölçüde etkilemektedir.

Standartlar esas alınarak belli oranlarda kullanılacak bu malzemelerin uygun oranlarını hesaplamak için bir program geliştirilmiştir. Bu program Excel programıdır. Türk standartları ve Amerikan standartları esas alınarak hazırlanmıştır. Hazırlanan Excel tabloları 3 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler Genel değer giriş, karışım hesapları ve tablolar bölümüdür. Genel değer giriş bölümü kullanılacak malzemelerin özelliklerinin girildiği bölümdür. Karışım hesaplarının bulunduğu bölümde ise hesaplar yapılmakta ve tablolarda sonuçlar görülmektedir. Tablolar bölümünde ise gerekli değerler buradan alınıp genel değer giriş bölümüne yazılmaktadır. Bu tablolar ile hesaplar çok rahat bir şekilde yapılmaktadır. Malzeme oranları sayısal olarak değişebildiği için hesaplamalar önceden yapıлып sonuçlara daha rahat bir şekilde ulaşılması istenmektedir. Laboratuvar ortamında yapılan deneylere kolaylık sağlayacaktır. Kıvam tayini ya da 1m^3 beton için kullanılacak malzemeler hesaplanırken büyük kolaylık sağlamak ve istenilen sonuçlara ulaşılmaktadır. Bu program şantiye ya da laboratuvar ortamları içinde kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Kendiliğinde yerleşen betonlar için de kullanılabilceği ve fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Tangüner, R.**, 2007. Uçucu küllü düşük ve yüksek mukavemetli betonların elastiklik modülünün incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **TS 802, 1985.** Beton karışımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [3] **Özer,Ş.**, 2012. Farklı çimentoların betondaki karbonatlaşmaya etkisinin araştırılması'',Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [4] **Topbaş E.** 2011.Agrega tipinin betonun çarpma dayanımına etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5] **Küden B.** 2011. Çimento dozajı ve agrega granülometrisinin betonun çarpma dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [6] **Erdoğan T. Y.**, 1991. Strength properties of low- lime fly-ash concretes, Proceedings of the Ninth International Ash Use Symposium, Volume 1, Concrete and related products, American Coal Ash Association, 16-1, 16-12, Washington.
- [7] **Erdoğan, T. Y.**, 1995. Türkiye’de üretilen çimentolar, özellikleri ve kullanımları, Çimento sempozyumu, TMMOB inşaat ve kimya mühendisleri odası, 67-68s., Ankara.
- [8] www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/beton/3.2. 23.10.2012.
- [9] www.bursabeton.com.tr/cimento_turleri.html. 20.10.2012.
- [10] **Kayaturan S.** 2010. Farklı kökenli agregaların beton özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11]www.teknolojikarastirmalar.com/egitim/yapi_malzemesi/beton/3.4.HT.01.11.2012.

- [12] **Serinoğlu, Y.N.**2011. Normal ve süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının taze beton ve sertleşmiş beton üzerindeki etkileri , Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [13]www.teknolojikarastirmalar.com/egitim/yapi_malzemesi/beton/3.3.HTM,15.12.2012.
- [14]www.cimsa.com.tr/UserFiles/File/Document/pdf/Hazir_beton_surecleri.pdf, 01.12.2012.
- [15] www.bursabeton.com.tr/t_beton_bilesenleri.html, 01.12.2012.
- [16] **Beycioğlu A.** 2008. Endüstriyel atıkların hafif beton özelliklerine bulanık mantık yöntemiyle modellenmesi , Yüksek Lisans Tezi, Süleyman D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [17] **Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M.**, Concrete Microstructure, Properties, and Materials, Third Edition, McGraw-Hill, 2006.
- [18] **TS 802, 1985.** Beton karışımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [19] **TS 802, 2009.** Beton karışımı tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [20] **ACI Committee 211**, 2006. **ACI 211.1-91**,Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete”, ACI Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA.
- [21] **Townsend, Charles L.**, 1968.Control of Temperature Cracking in Mass Concrete *Causes, Mechanism, and Control of Cracking in Concrete, SP-20*, American Concrete Institute, Detroit, sayfa. 119-139.
- [22] **ACI Committee 207**, “Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Massive Concrete,” ACI Journal, *Proceedings V. 70, No. 7*, July 1973, sayfa. 445-470. Also, *ACI Manual of Concrete Practice*, Bölüm 1 .

- [23] **Townsend, C. L.**, ‘Control of Cracking in Mass Concrete Structures,’ *Engineering Monograph No. 34*, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, 1965.
- [24] **ACI Committee 207**, ‘‘Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete,’’ (ACI 207.4R-80) *Concrete International--Des&n and Construction*, V.2, No. 5, Mayıs 1980, sayfa. 45-64.
- [25] **Kurt,M., ve diğ**, 2001, Bilgisayar Yardımıyla Beton Karışım Hesabı,DSİ Teknik Bültenleri 95. Sayı. İnşaat Mühendisliği,Atatürk Üniversitesi,Erzurum.
- [26] **Topçu,İ.B.,ve diğ**, 2006, Eskişehir’de Hazır Beton Üretiminde Kullanılan Katkı Maddelerinin Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkileri,Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12,sayı: 1.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Mersin’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Mersin’de tamamladı. 2007 yılında Fırat üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Yapı Ressamlığı Öğretmenliği bölümü bitirdi ve 2011 yılında yüksek lisansa başladı.