



**T.C. ULAŖTIRMA VE
ALTYAPI BAKANLIĞI**



**KARAYOLLARI
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**



BETON KARIŖIM ORANLARI TAYİN REHBERİ

**ARAŖTIRMA VE GELİŖTİRME DAİRESİ BAŖKANLIĐI
MALZEME LABORATUVARLARI ŖUBESİ MÜDÜRLÜĞÜ**

2025



T.C.
ULAŞTIRMA VE ALTYAPI BAKANLIĞI
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



BETON KARIŞIM ORANLARI TAYİN REHBERİ

HAZIRLAYANLAR

Ayhan CÖMERT

İnşaat Müh.
Beton Lab. Şefi

Nilgün GÜNGÖR

Kimya Müh.
Malzeme Lab. Şb. Md.

**ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME DAİRESİ BAŞKANLIĞI
MALZEME LABORATUVARLARI ŞUBESİ MÜDÜRLÜĞÜ
ANKARA-2025**

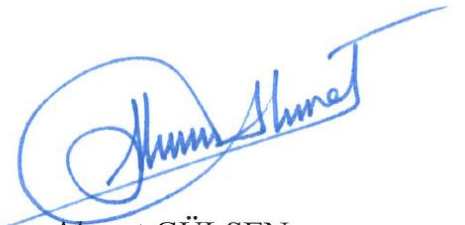
ÖNSÖZ

Karayolları Genel Müdürlüğü olarak ülkemizin ulaştırma altyapısını güçlendirmek ve çağdaş bir karayolu ağı tesis etmek temel görevimizdir. Otoyollar, tüneller ve köprüler başta olmak üzere tüm karayolu projelerinde yüksek mühendislik standartlarını ve bilimsel esaslara dayalı yaklaşımları benimsemek en önemli önceliklerimizdendir.

Sürdürülebilir, güvenli ve uzun ömürlü ulaşım sistemlerinin tesisi için malzeme kalitesinden yapım yöntemlerine kadar her aşamada bilimsel doğruluk ve teknik yeterlilik esas alınmaktadır.

Bu kapsamda hazırlanan “Beton Karışım Oranları Tayin Rehberi” karayolu yapımında temel bileşenlerden biri olan betonun performansını doğrudan etkileyen karışım oranlarının belirlenmesinde yol gösterici bir kaynak niteliğindedir. Rehber, uygulayıcılar ve teknik personel için karşılaşılan belirsizlikleri gidermeye yönelik pratik bilgiler sunarken, aynı zamanda bilimsel yöntemlerle donatılmış kapsamlı bir başvuru eseri olma özelliği taşımaktadır.

Karayolları Genel Müdürlüğü olarak yalnızca bugünün değil, geleceğin ihtiyaçlarını da gözeterek altyapı yatırımlarımıza yön veriyoruz. Kalite standartlarını yükselten bu gibi yayınların çoğalması, hem kurumsal bilgi birikimimizin kalıcı hale gelmesini hem de mühendislik uygulamalarının gelişmesini sağlayacaktır. Bu rehberin, yol yapım sektörüne ve altyapı projelerine katkı sunmasını temenni ediyor, hazırlanmasına emek veren tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.



Ahmet GÜLŞEN

Karayolları Genel Müdürü

ÖNSÖZ

Beton; dayanıklılığı, yangına karşı direnci, su geçirmezliği, ekonomik üretimi, enerji verimliliği, yerinde imalat gibi özellikleri ile günümüzde en yaygın taşıyıcı yapı malzemesidir.

Karayolları Genel Müdürlüğümüz sorumluluğundaki yol, köprü, viyadük, tünel, menfez gibi farklı projelerdeki yapı inşaatlarında beton kullanılmaktadır.

Betonun dayanım ve dayanıklılık açısından servis ömrü boyunca maruz kalacağı muhtelif hava koşullarına, kimyasal etkilere, aşınma ile zararlı dış ve iç etkilere karşı kendinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilmesi gerekmektedir. Karışımında kullanılan malzemelerin özellikleri uygun olsa dahi betonun istenilen nitelikte olmaması sıkça karşılaşılan bir durumdur. Betonun özellikleri, kullanılan bileşen malzemelerin kalitesi ile birlikte daha çok karışım oranlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple beton karışım kurallarının iyi bilinmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Bu bağlamda, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Malzeme Laboratuvarları Şubesi Müdürlüğü tarafından tüm Karayolculara ışık tutacak kaynak oluşturması amacıyla karışım oranları tayin yöntemlerinin anlatıldığı “Beton Karışım Oranları Tayin Rehberi” hazırlanmıştır.

Beton Karışım Oranları Tayin Rehberi’nin kuruluşumuza ve ilgililere yararlı olmasını dilerken, kitabın hazırlanmasında emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.


Emine BALABAN
Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanı

İÇİNDEKİLER:

Sayfa No:

1. GİRİŞ.....	1
2. KARIŞIM HESABINDA KULLANILACAK OLAN TERİMLER VE TARİFLERİ.....	3
3. BETON KARIŞIM TASARIMI HESAP ESASLARI	7
4. ÇEVRE ETKİ SINIFININ BELİRLENMESİ.....	9
5. ÇİMENTO SEÇİMİ	16
6. AGREGA SEÇİMİ, EN BÜYÜK TANE BOYUTU VE GRANÜLOMETRİLERİNİN BELİRLENMESİ.....	19
7. ÇOK İNCE MALZEME İÇERİĞİ	27
8. MİNERAL KATKILARIN KULLANIMI.....	29
9. ORTALAMA HEDEF DAYANIM VE SU/ÇİMENTO ORANI SEÇİMİ.....	32
10. SU MİKTARININ SEÇİLMESİ	34
11. HAVA İÇERİĞİNİN SEÇİLMESİ.....	37
12. KIVAMIN SEÇİMİ	38
13. BETON KARIŞIM HESABININ YAPILMASI.....	40
14. LABORATUVARDA BETON KARIŞIM DİZAYNI HAZIRLANMASI.....	44
15. ÖRNEK BETON KARIŞIM HESABI	49



1. Giriş

Beton karışım oranlarının tespiti için birçok yöntem mevcutsa da bunların hiçbiri, istenilen özellikteki betonu bir defada hesaplamaya yeterli olamaz. Bunlar, karışım oranlarını bulmak için başlangıç noktalarıdır. Tam değerleri denemelerle tespit etmek gerekir. Zira beton karışımlarında esas, istenilen derecede işlenebilme kabiliyetine sahip olan ve sertleştikten sonra istenilen özellikleri gösteren bir karışım teşkil eden, en ekonomik ve en uygun agrega, çimento, su ve katkı maddeleri miktarlarının tayinidir. Bu faktörlerin hepsini arzu edilen derecede tayin etmek ancak seri denemelerle, gerekli düzeltmeler yapmak suretiyle mümkündür.

Bir beton karışımının hazırlanmasından önce beton özellikleri, betonun amaçlanan kullanımı, çevre etki şartları, yapı elemanının boyutu ve şekli ile yapı için gerekli betonun fiziksel özellikleri (dona karşı direnci ve dayanım gibi) esasına göre belirlenmelidir.

Beton karışım hesap ve denemelerine başlamadan önce bilinmesi gereken bazı bilgiler bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla,

- Agreganın elek analizi (granülometri),
- Agregaların uygun tane sınıflarına bölünmesi,
- Agregaların, çimentonun ve mineral ve kimyasal katkıların yoğunlukları,
- Agreganın birim hacim kütlesi,
- Kullanılacak çimento özelliklerinin ve tipinin seçimi,
- Ortam şartlarının ve dayanıklılık kriterlerinin belirlenmesi,
- Performans deneylerinin gerçekleştirilmesi ve malzemelerin uygunluklarının belirlenmesi.

Genellikle beton imalatlarına ait şartnamelerde;

- Kabul edilebilir en yüksek su/çimento oranı,
- Kabul edilebilir en düşük çimento miktarı,
- Betondaki hava miktarı,
- Betonun çökme değeri,
- En büyük agrega boyutu,
- İstenilen beton sınıfı veya dayanımı,
- Kullanılması istenen katkılar ve/veya özel çimento tipleri belirtilir.

Beton karışım tasarımı 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, dayanıklılık, yoğunluk, işlenebilme, hacim sabitliği, görünüm ve diğer özellikleri göz önünde bulundurulur.

Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, su/çimento (s/ç) oranı, su içeriği, çimento, hava ve katkı maddesi miktarları bu rehberde verilen çizelgelerden alınabilir veya hesapla bulunmalıdır.

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 istenilen beton sınıfı için karışım tasarımı elde edilmiş olacaktır.



2. Karışım Hesabında Kullanılacak Olan Terimler ve Tarifleri,

Beton karışım tasarımı:

İstenen kıvam, işlenebilme, kohezyon, dayanım, dayanıklılık, hacim sabitliği ve aranan diğer özelliklere sahip en ekonomik betonu elde edebilmek amacıyla gerekli çimento, agrega, su, hava ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkı maddelerinin miktarlarını belirlemek için yapılan işlemler.

Agrega tane büyüklüğü:

Agreganın küçük(d) ve büyük (D) elek göz açıklıkları bakımından gösterilişidir. Bu gösteriliş, büyük göz açıklıklı elek üzerinde (elek üstü) kalan ve küçük göz açıklıklı elekten geçen (elek altı) bazı tanelerin varlığını kabul eder.

Agreganın En Büyük Dane Çapı ($D_{en\ büyük}$):

Elek analizi sonucunda kullanılan elek serisi içerisine belirli oranda malzemenin kaldığı en büyük göz açıklığına sahip elek üzerinde %10'dan daha fazla malzeme varsa bunun bir üst elek göz açıklığı, %10'dan daha az malzeme varsa bu elek göz açıklığı $D_{en\ büyük}$ olarak kabul edilir.

Agrega Görünür Tane Yoğunluğu:

Bir agrega numunesinin etüvde kurutulmuş haldeki kütlesinin, taneler içindeki kapalı boşluklar dâhil, ancak suyun girebildiği boşluklar hariç olmak üzere, suda işgal ettiği hacme oranı.

Etüvde kurutulmuş haldeki tane yoğunluğu:

Bir agrega numunesinin etüvde kurutulmuş haldeki kütlesinin, taneler içindeki kapalı boşluklar ve suyun girebildiği boşluklar da dâhil, suda işgal ettiği hacme oranı.

Ön kurutma yapılmış haldeki tane yoğunluğu:

Bir agrega numunesinin ön kurutma yapılmış haldeki kütlesinin, taneler içindeki kapalı boşluklar dâhil, ancak suyun girebildiği boşluklar hariç olmak üzere, suda işgal ettiği hacme oranı.



Doygun ve yüzeyi kurutulmuş haldeki tane yoğunluğu:

Suyun girebildiği boşluklarda bulunan su ile agreganın numunesinin etüvde kurutulmuş haldeki toplam kütlesinin, taneler içindeki kapalı boşluklar ve suyun girebildiği boşluklar da dâhil, suda işgal ettiği hacme oranı.

Su içeriği:

Rutubetli ve kuru kütleler arasındaki kütle farkı olarak tayin edilir ve deney numunesi kısmının kuru kütlesinin yüzdesi olarak ifade edilir.

Su emme:

Etüvde kurutulmuş agreganın numuneleri tarafından emilen ve yüzde cinsinden ifade edilen suyun kütlesi.

Gevşek Yığın Yoğunluğu:

Belirli bir ölçü kabı içerisindeki sıkışmamış kuru agreganın kütlesinin ölçü kabının hacmine bölünmesi ile elde edilen değer.

Çevresel Etkiler:

Yapısal tasarımda yük olarak düşünülmeyen, beton veya donatı veya gömülü metal üzerine etkileri olan betonun maruz kaldığı kimyasal ve fiziksel etkiler.

Çimento:

Su ile karıştırıldığında, hidrasyon reaksiyonları ve işlemleriyle priz alan ve sertleşebilen hamur meydana getiren ve sertleştikten sonra dayanım ve kararlılığını su içerisinde dahi sürdürebilen öğütülmüş inorganik malzeme.

Kimyasal katkı:

Taze veya sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirmek üzere, karıştırma işlemi esnasında betona, çimento kütlesine oranla az miktarlarda ilâve edilen malzeme.

Mineral katkı:

Betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona özel nitelikler kazandırmak amacıyla kullanılan ince öğütülmüş inorganik malzeme.

**İnce malzeme miktarı:**

Taze beton içindeki, tane büyüklüğü en fazla 0,125 mm olan katı malzemelerin toplam kütlesi.

Sürüklenmiş hava:

Katkı maddesi kullanılarak, karışım esnasında taze beton içerisinde tasarlanarak oluşturulan, 10 µm ile 300 µm arasında çapa sahip küre veya küreye yakın şekilli mikroskobik hava kabarcıkları.

Hapsolmuş hava:

Betonda, plânlanarak oluşturulanlar (sürüklenen) dışında oluşan hava boşlukları.

Toplam su içeriği:

Karma suyu, agreganın bünyesinde ve yüzeyinde bulunan su, hamur şeklinde kullanılan mineral katkı ve kimyasal katkı içerisinde bulunan su, betona buz ilave edilmesi veya buharla ısıtma yoluyla beton bünyesine giren suların toplamı.

Su/çimento oranı:

Taze betonda etkili su miktarının çimento dozajına kütlece oranı.

Numune takımı:

Bir beton yükünden alınan ve en az üç adet beton numuneden oluşan numune grubu.

Dayanım:

Belirtilen koşullar altında o malzemenin taşıyabildiği en yüksek gerilme değeri.

Beton basınç dayanımı:

Beton basınç dayanımı, ilgili standarda göre 28 gün süreyle küre tabi tutulmuş, çapı 150 mm ve yüksekliği 300mm olan standart beton silindir numunenin veya bir kenarı 150 mm olan beton küp numunenin belirli bir yükleme hızında uygulanan tek eksenli basınç yükü altında taşıyabildiği en büyük gerilme değeri.



Beton karakteristik dayanımı:

Beton karakteristik dayanımı, beton sınıfını tanımlamak için kullanılan, istatistiksel verilere dayanılarak belirlenen ve bu değerden daha düşük dayanım değeri elde edilmesi olasılığı, belirli bir oranın üzerine çıkmayan (genelde %5) dayanım değeri.

Yüksek Dayanımlı Beton:

Basınç dayanım sınıfı C55/67'den daha yüksek dayanımı olan normal veya ağır beton ve basınç dayanım sınıfı LC55/60'dan daha yüksek dayanımlı hafif beton.



3. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları

Betonu oluşturan malzemelerin beton karışımına giren oranların belirlenmesi, daha yaygın adıyla beton karışım tasarımı, birbirine bağlı iki ana aşamadan oluşur.

- 1- Uygun bileşenlerin (çimento, agrega, su ve katkılar) seçilmesi ve
- 2- Uygun işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılıkta ve mümkün olan en ekonomik betonun elde edilebilmesi için bu bileşenlerin göreceli oranlarının hesaplanması.

Söz konusu oranların belirlenmesi, kullanılan malzemelerin niteliklerine ve betonun kullanım yeri ve koşullarına bağlıdır. Bu koşullar Karayolu Teknik Şartnamemizde belirtilmektedir.

Genel olarak bakıldığında, en ekonomik beton, asgari su/çimento oranında ve istenilen işlenebilirlikte olup agrega-çimento oranı en yüksek olan betondur. Taze betonun yerleştirilebilirliği, kıvamı (slamp veya çökme) ve işlenebilirliği ile tanımlanabilir.

Bir betonun işlenebilirliğini etkileyen faktörler taze beton özellikleri ile ilgilidir. Sonuç olarak, bu faktörlerin hepsi birbiriyle ilişkilidir.

Dayanım betonun en önemli karakteristik özelliğidir. Diğer birçok beton özelliği, genel hatlarıyla, dayanımla ilişkilendirilebilir. Kullanılan beton bileşenlerinin özellikleri ve ortam koşulları sabit olduğu sürece, su/çimento oranıyla dayanım arasında birebir bir ilişki vardır. Su/çimento oranı arttıkça dayanım azalır, azaldıkça dayanım artar.

Basınç dayanımına ilave olarak, betonun diğer mekanik özellikleri de bazı tasarımlarda kullanılmaktadır. Bu özellikler;

Çekme ve eğilme dayanımı,

Bağ dayanımı,

Elastisite modülü,

Çekmede birim şekil değiştirme kapasitesi,

Sünme'dir.

Beton sadece dayanımına göre sınıflandırılmamalıdır. Beton, hizmet ömrü süresince donma-çözülme, ıslanma-kuruma, ısınma-soğuma, zararlı kimyasal etkiler, vb. şartlara maruz kalabilir.



Yapının maruz kalacağı çevre etki sınıfları belirlenmeli ve beton karışım hesaplarında bu kriterler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Beton karışım oranlarının belirlenmesinde, ilgili projenin öngördüğü bütün hususlar göz önünde bulundurulur ve sonuçta mutlak hacim esasına göre, sıkıştırılarak yerleştirilmiş 1 m³ beton imali için gerekli kuru malzeme miktarları tayin edilir.

Bulunan miktarlara dayanarak, laboratuvarında beton ön karışımlarının hazırlanması, taze beton deneyleri, bu deneylere göre ön karışımda yapılan düzeltmeler, laboratuvarında hazırlanan numunelerin dayanım yönünden kontrol edilmesi ve şantiye için gerekli düzeltmeler bu rehberde belirtilen yöntemlere göre yapılır.



4. Çevre Etki Sınıfının Belirlenmesi

Beton karışımı hazırlanırken öncelikle o yapıya etki edecek statik, hareketli yükler, zemin etkileri, toprak basıncı, rötre, ısı genleşme, rüzgâr etkisi, deprem etkisi, taşıt çarpma etkisi ve hidrolik su etkileri vb. etkiler dikkate alınarak bir beton mukavemet sınıfı belirlenecektir.

Daha sonra yapının bulunduğu yer/konumu itibarı ile **Tablo.1-a ve Tablo.1-b** kullanılmak suretiyle “etki sınıfı” belirlenip, bu etki sınıfına karşılık gelen beton mukavemet sınıfını ve beton özellikleri **Tablo.2** kullanılarak belirlendikten sonra, en büyük etkiyi yaratan (statik-hareketli ve çevre etkilerinden) duruma göre beton mukavemet sınıfı seçilmek suretiyle, yapı elemanlarının kesit boyutları hesaplanarak projelendirmeler gerçekleştirilmelidir. Bu sanat yapılarından bazıları; köprüler, viyadükler, menfezler, yerinde dökme beton bordür (yaya kaldırımı, refüj), her tip büz, rögar, memba tesisatı, sifonlar, beton hendekler, beton ayırma taşları, sınır taşı, kenar taşı, kar siperi, kar direği, beton otokorkuluk, yerinde dökme ve çakma kazıklardır.

Beton, maruz kaldığı çevre ve zararlı kimyasal etkilere karşı etki sınıflarına göre beton sınıfı ve beton özellikleri seçimi örnek olarak aşağıda verilmektedir.

(a) Yağmura maruz kalan (döngülü ıslak-kuru) tüm beton elemanları, karbonatlaşmanın sebep olduğu korozyon nedeniyle; minimum C30/37 MPa beton sınıfında ve XC4 çevresel etki sınıfında seçilecektir.

(b) Deniz suyundan kaynaklanan klorürlerin sebep olduğu korozyon nedeniyle;

- a.** Sahilde veya sahile yakın yerde bulunan beton elemanları, minimum C30/37 MPa beton sınıfında ve XS1 çevresel etki sınıfında seçilecektir.
- b.** Deniz suyunun altında sürekli su içerisinde kalan beton elemanları, gelgit, dalga ve serpinti bölgelerinde bulunan beton elemanları, minimum C35/45 MPa beton sınıfında ve XS3 çevresel etki sınıfında seçilecektir.

Deniz suyu ile temas halinde olan betonlarda “Sülfata Dayanıklı Portland Çimentosu”, “Sülfata Dayanıklı Yüksek Fırın Cürufu Çimento”, “Sülfata Dayanıklı Puzolanik Çimento”lar tercih edilmelidir.

Sülfata Dayanıklı Portland çimentosu kullanıldığında, standartlara uygunluğu belgelenmiş olması şartıyla öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve uçucu küller çimentoya katılarak daha geçirimsiz beton elde edilebilecektir.



- (c) Donma/çözünme etkisine maruz (buz çözücü maddenin bulunduğu veya bulunmadığı) beton elemanları, minimum C30/37 MPa beton sınıfında ve XF4 çevresel etki sınıfında seçilecektir.

Betonda hava sürükleyici kimyasal katkı kullanılmalı ve betonun, yerleştirmeden hemen önceki ortalama hava içeriği, hacimce en az %4,0 olmalıdır. Herhangi bir tek deney sonucunun verilen bu deney sonuçlarından sapması %0,5'den daha fazla olmamalıdır.

- (d) Yer altı suyu ve zemin nedeniyle beton elemanlarının, zararlı kimyasal ortamlara maruz kalması söz konusu ise, temas suyu ve zemin incelenerek gerekli deneyler yapılacaktır (su için: SO_4^{2-} , pH, CO_2 , NH_4^+ , Mg^{2+}), (zemin için: SO_4^{2-} ve asitlik) ve **Tablo.1-b** (Doğal Zeminler ve Yer altı Sularından Kaynaklanan Kimyasal Etkiler için Etki Sınıflarının Sınır Değerleri)'deki XA etki sınıfı belirlenip, **Tablo.2**, "Etki Sınıflarına Göre Projelendirmelerde Esas Alınacak Beton Özellikleri'den beton sınıfı ve özellikleri belirlenecektir. Baskın etkinin SO_4^{2-} 'den kaynaklanması halinde sülfatlara dayanıklı çimento kullanılacaktır.

Tablo.1-a Etki Sınıfları

Sınıf kısa Gösterilişi	Çevrenin Tanımı	Etki Sınıflarının Meydana Gelebileceği Yerlere Ait Bilgi Mahiyetinde Örnekler
1. Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok		
Etki sınıfı X0 donatı veya gömülü metal içermeyen bileşenler için hiçbir zararlı etkinin olmadığı çevrelerde kullanılabilir.		
X0	Donatı veya gömülü metal bulunmayanbeton: Donma-çözülme, aşınma ve kimyasal etkiler haricindeki betona zarar vermeyecek diğer ortamlar.	Donatısız ve donma-çözülme etkilerine maruz kalmayan temel betonları; donatısız içyapı elemanları. Yıl boyunca sürekli olarak çok kuru şartlarda (Bağıl nem <%35) bulunan, içerisinde donatı veya gömülü metal bulunan betonlar
2. Karbonatlaşmanın sebep olduğu korozyon		
Donatı veya diğer gömülü metal ihtiva eden betonun hava ve nem etkisine maruz kaldığı etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XC 1	Kuru veya sürekli ıslak	Yüksek nemli yapıların boşluklu üst yapıları ve alanları hariç kapalı yapıların içindeki betonarme ve öngerilmeli beton yüzeyler, Sürekli olarak agresif olmayan su içinde kalmış betonarme ve öngerilmeli beton yüzeyler
XC 2	Islak, ara sıra kuru	Su ile uzun süreli temas eden beton bileşenler Su depoları, çoğu temeller (zararlı etkisi olmayan toprak içerisine tamamen gömülmüş donatılı ve öngerilmeli beton)
XC 3	Orta derecede rutubetli veya döngülü ıslak ve kuru şartlar	Orta derecede veya yüksek rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki betonlar ve yağmurdan korunmuş, açıkta bulunan betonlar (sundurma tipi binalar, ticari mutfaklar, banyolar, çamaşır odaları, içerdeki yüzme havuzlarının rutubetli odaları, zeminler)
XC 4		Yağmura maruz kalan tüm harici beton elemanları. Islanma ve kurumaya maruz kalan betonarme ve öngerilmeli beton yüzeyler, Buz çözücü tuzlara maruz kalmayan yaya alt geçitlerinin iç beton yüzeyleri, boşluklu üst yapılar veya gözenekli köprü ayakları, Su yalıtımı ile korunan betonarme veya öngerilmeli beton yüzeyler (Hizmet ömrü ile bağlantılı)
3. Deniz Suyu Haricindeki Klorürlerin Sebep Olduğu Korozyon		
Donatı veya gömülü metal ihtiva eden betonun, buz çözücü tuzları da ihtiva eden, deniz suyu haricindeki kaynaklardan gelen klorürleri ihtiva etmesi halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XD 1	Orta derecede rutubetli	Araç trafiğine açık alanlar nedeniyle hava ile taşınan klorürlere maruz kalan beton yüzeyler; özel garajlar. Buz çözücü maddeler içeren doğrudan serpintilerden uzak olan kemer bölümlerindeki donatılı ve öngerilmeli beton yüzeyler. Çok az buz çözücü etkisine maruz kalan yapılarınbölümleri
XD 2	Islak, ara sıra kuru	Tuzlu su; Klorür içeren suya tamamen batırılmışdonatılı ve öngerilmeli beton yüzeyler Yüzme havuzları, klorür içeren endüstriyel sulara maruz betonlar. Taşıt yolunun hemen bitişiğinde 1 m'den daha fazla gömülü otoban yapıları.



Tablo-1.a Etki Sınıfları (Devamı)

XD 3	Döngülü ıslak ve kuru	Buz çözücüler veya buz çözücüler içeren serpintilerinden doğrudan etkilenen donatılı ve öngerilmeli yüzeyler (örneğin duvarlar, köprü ayakları, taşıt yolundan 10 m içerdeki kolonlar, korkuluk kemerleri ve taşıt yolu seviyesinden 1 m aşağıda gömülü yapılar, döşemeler ve otopark döşemeleri) ^(a)
4. Deniz Suyundan Kaynaklanan Klorürlerin Sebep Olduğu Korozyon		
Donatı veya gömülü metal ihtiva eden betonun deniz suyunda bulunan klorürlere veya deniz suyundan kaynaklanan tuz taşıyan hava ile temas etmesi halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XS 1	Hava ile taşınan tuzlara maruz, fakat deniz suyu ile doğrudan temas etmeyen.	Sahilde veya sahile yakın yerde bulunan beton yapılar.
XS 2	Sürekli olarak su içerisinde.	Suya Tamamen daldırılmış ve sürekli doygun kalan betonarme ve öngerilmeli beton; örneğin deniz suyunun içerisinde sürekli kalan beton.
XS 3	Gelgit dalga ve serpinti bölgeleri.	Yüksek gelgit bölgelerinde çamurlu ve serpinti bölgelerindeki, iskele duvarları gibi donatılı ve öngerilmeli beton bileşenler.
5. Buz Çözücü Maddenin de Bulunduğu veya Bulunmadığı Donma/Çözülme Etkisi		
Betonun, etkili donma/çözülme döngülerine, ıslak durumda maruz kalması halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XF 1	Buz çözücü madde içermeyen suyla orta derecede doygun.	Yağmura ve donmaya maruz kalan tüm dış yapı elemanları Düşey olmayan, suya doygunluğu yüksek oranda olmayan beton yüzeyler, sadece donmaya, yağmura veya suya maruz kalan beton yüzeyler
XF 2	Buz çözücü madde içeren suyla orta derecede doygun.	Serpinti ve sıçrama yolu ile temas eden ve buz çözücü maddeler içeren sulara maruz kalan tüm beton yüzeyler
XF 3	Buz çözücü madde içermeyen suyla yüksek derecede doygun.	Islak iken donmaya maruz kalan yatay veya yataya yakın beton yüzeyler. Sık sık su sıçrayan ve donmaya maruz kalan beton yüzeyler.
XF 4	Buz çözücü madde içeren su veya deniz suyu ile yüksek derecede doygun.	Buz çözücü maddelere maruz yol ve köprü kaplamaları, buz çözücü tuz ihtiva eden su serpintisine doğrudan ve donma etkisine maruz beton yüzeyler, deniz yapılarının dalga etkisi altındaki donmaya maruz bölgeleri.
İlave koruma (örneğin çatlak-köprüleme yöntemi ile kaplama) gerekli olabilir.		
Not 1 - Burada bahse konu olan nem şartları, donatı veya diğer gömülü metali saran beton örtü tabakası içerisindeki şartlardır. Ancak çoğu durumda beton örtü tabakası şartlarının betonun içerisinde bulunduğu çevre şartlarını yansıttığı kabul edilir. Bu durumda çevre şartlarının sınıflandırılması yeterli olabilir. Ancak, beton ve içerisinde bulunduğu çevre arasında yalıtım tabaka varsa bu şartlar geçerli olmayabilir. Not 2 - Bir yüzeyi klorür içeren suya batmış, diğer yüzeyi ise açık havaya maruz kalan donatılı ve ön gerilmeli beton elemanları potansiyel olarak daha ciddi etki altındadır. Özellikle de kuru tarafın yüksek ortam ısısına maruz kaldığı durumlarda söz konusu etki daha da şiddetlidir. Karşılaşılabilecek muhtemel etkilere uygun bir şartname geliştirmek için, gerekli görüldüğünde, uzman tavsiyesine başvurulmalıdır.		

Tablo.1-a Etki Sınıfları (Devamı)
6. Betonun Kimyasal Etkilere maruz kalması.

Betonun, Tablo-308-25-b'de verilen tabii zeminler ve yer altı sularından kaynaklanan zararlı kimyasal etkilere maruz kalması durumunda etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır. Deniz suyu, coğrafik bölgeye göre sınıflandırılır, bu nedenle betonun kullanılacağı yerde geçerli sınıflandırma uygulanır.

Not -3: XA3 etki sınıfında veya Tablo-308-25-b'de geçerli etki sınıfının tayini için özel çalışma yapılmasına gerek duyulabilir. Tablo-308-25-b'de verilen sınır değerlerin dışındaki değerler, diğer zararlı kimyasal maddeler, kimyasal maddelerle kirlenmiş zemin veya su, Tablo-308-25-b'de verilen kimyasallarla birlikte yüksek hızda akan su bulunması

XA1	Tablo-25-b'ye göre hafif derecede zararlı kimyasal ortam.	Atık su arıtma tesislerinde bulunan depolar, sıvıgübre konteynerleri.
XA2	Tablo-25-b'ye göre orta zararlı kimyasal ortam.	Deniz suyu ile temas halindeki beton bileşenler, zararlı kimyasallar içeren zeminler üzerindeki beton bileşenler.
XA 3	Tablo-25-b'ye göre yüksek derecede zararlı kimyasal ortam.	Endüstriyel atık su arıtma tesisleri, hayvan besleme yemlikleri, baca gazı arıtma ile soğutma kuleleri.

7. Mekanik Aşınma Etkisi:

Beton kullanım esnasında önemli derecede mekanik kullanıma maruz kalacaksa, etki sınıfı aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.

XM1	Orta derecede aşınma	Üzerinde, şişme lastikli araçların hareket ettiği taşıyıcı zeminler veya yüzeyi sertleştirilmiş sanayi tesisine ait zeminler.
XM2	Yüksek derecede aşınma	Üzerinde, şişme lastikli veya içi dolu lastikli çatallı yükleyicilerin (forklift) hareket ettiği taşıyıcı zeminler veya yüzeyi sertleştirilmiş sanayi tesisine ait zeminler.
XM3	Çok yüksek derecede aşınma	Üzerinde, içi dolu lastik veya çelik tekerli çatallı yükleyicilerin hareket ettiği taşıyıcı zeminler veya yüzeyi sertleştirilmiş sanayi tesisine ait zeminler; üzerinde, sık sık paletli araçların hareket ettiği zeminler; hızlı ve türbülanslı akan sulardaki beton su yapıları (enerji kırıcı havuzlar vb.)

8. Alkali silika reaksiyonu nedeniyle betonun tahribatı

Betonda alkali silika reaksiyonunun oluşabileceği ortamlarda etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.

XWO	Normal kür işleminin ardından çok kısa süreyle rutubetli kalma dışında, kullanımı boyunca büyük ölçüde kuru kalan beton.	Bina içinde kullanılan yapı bileşenleri, yağmur, yüzey suyu, zemin rutubeti vb. etkenler ile temas halinde olmayan ve/veya bağıl nemi %80'den daha fazla olan ortam şartlarına sürekli olmayan şekilde maruz kalan bina dışında kullanılan yapı bileşenleri.
XWF	Sık sık veya daha uzun süreyle rutubetli ortamlara maruz beton.	Yağmur, yüzey suyu, zemin rutubeti vb. etkilere maruz kalan korumasız dış yapı bileşenleri, endüstriyel veya ticari binalarda bulunan ıslak mekânlar, iç mekan yüzme havuzları, çamaşır odaları ve ıslak odalar gibi % 80'den daha fazla rutubete sahip ortamlarda kullanılan yapı bileşenleri, sık sık çiğlenme noktasının altındaki sıcaklıklara maruz yapı elemanları (baca delikleri, ısı aktarım merkezleri, hayvan ahırları vb.), en küçük boyutu 0,9 m olan kütle betonu elemanları (herhangi bir rutubeti dikkate almadan)

Tablo.1-a Etki Sınıfları (Devamı)		
XWA	XWF sınıfındaki şartlara ilave olarak betonun, aynı şartlara alkalilerin de bulunduğu şekilde maruz kalması	Deniz suyu ile temas halindeki yapı bileşenleri, herhangi ilave dinamik yüke maruz olmayan, ancak buz çözücü tuzlarla temas eden yapı bileşenleri (deniz suyunun çarptığı bölgeler, otopark zeminleri ve park için ayrılmış özel alan), alkalilerle temas halindeki endüstriyel veya tarımsal yapılarda kullanılan yapı bileşenleri (sıvı gübre konteyneri gibi)
XWS	Yüksek dinamik yüklerin olduğu ve alkalilerin doğrudan etki ettiği ortamdaki beton	Deniz suyu ile temas halinde ve yüksek dinamik yüklere maruz beton bileşenler (beton yol yüzeyleri veya döşemeleri gibi)

Tablo.1-b Doğal Zeminler ve Yeraltı Sularından Kaynaklanan Kimyasal Etkiler için Etki Sınıflarının Sınır Değerleri

Zararlı kimyasal ortamların aşağıda verilen sınıflaması, doğal zemin ve yeraltı suyunun 5 °C ila 25 °C arasında sıcaklığa sahip olması ve su akış hızının durguna yakın derecede yavaş olması esas alınarak yapılmıştır. Herhangi bir kimyasal karakteristiğe ait en ağır değer sınıfı belirler. İki veya daha fazla zararlı kimyasal karakteristiğin aynı sınıfı belirttiği yerlerde ortam, bu özel durum için bir üst sınıf seçmenin gerekli olmadığını gösteren bir özel çalışma bulunmaması durumunda, bir sonraki daha yüksek sınıfa dâhil olarak alınmalıdır.				
Kimyasal karakteristlik	Referans Deney Metodu	XA 1	XA 2	XA 3
Yeraltı suyu				
(SO ₄) ⁻² ^(a) mg/L	TS EN 196-2	≥ 200 ve ≤ 600	> 600 ve ≤ 3.000	> 3.000 ve ≤ 6.000
pH	TS EN ISO 10523	≤ 6,5 ve ≥ 5,5	<5,5 ve ≥ 4,5	<4,5 ve ≥ 4,0
CO ₂ mg/L	TS EN 13577	≥ 15 ve ≤ 40	> 40 ve ≤ 100	>100 ve doygunluk seviyesine kadar
(NH ₄) ⁺ ^(b) mg/L	ISO 7150-1	≥ 15 ve ≤ 30	> 30 ve ≤ 60	> 60 ve ≤ 100
Mg ⁺² mg/L	TS 6228 EN ISO 7980	≥ 300 ve ≤ 1.000	> 1.000 ve ≤ 3.000	> 3000 ve doygunluk seviyesine kadar
Zemin				
(SO ₄) ⁻² mg/kg ^(c) (Toplam)	TS EN 196-2 ^(d)	≥ 2.000 ve ≤ 3.000 ^(e)	>3.000 ^(e) ve ≤ 12.000	>12.000 ve ≤ 24.000
Baumann Gully'ye Göre asitlik mL/kg	TS EN 16502	> 200	Uygulamada karşılaşılmaz.	
^{a)} Yeraltı suyunun 600 mg/L'den daha fazla (SO ₄) ⁻² içeriği durumlar, beton karışım tasarımında belirtilmelidir.				
^{b)} (NH ₄) ⁺ içeriğine bakılmadan, sıvı gübre XA1 çevre etki sınıfı olarak sınıflandırılabilir.				
^{c)} Geçirgenliği 10 ⁻⁵ m/s'den daha düşük olan kil zeminler bir alt etki sınıfına geçirilebilirler.				
^{d)} Deney metodunda, (SO ₄) ⁻² 'ün hidroklorik asitle ekstraksiyonu tarif edilmiştir; Alternatif olarak, betonun kullanılacağı yerde yapılıyorsa, su ile açığa çıkarma metodu da kullanılabilir. ^{e)} Islanma kuruma döngüleri veya kılcal su emme nedeniyle, betonda sülfat iyonu birikimi tehlikesi olan yerlerde 3000 mg/kg olan sınır 2000 mg/kg'a indirilebilir.				

Tablo.2 Etki Sınıflarına Göre Projelendirmelerde Esas Alınacak Beton Özellikleri

Kısım	Etki Sınıfı	Çevresel Etki	En yüksek su/çimento oranı ^(c)	En düşük dayanım sınıfı ^(b)	En düşük çimento içeriği ^(c) (kg/m ³)	En düşük hava içeriği (%)	Diğer gerekler
1	X0 ^(a)	Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok	-	C12/15	-	-	-
2	XC1	Karbonatlaşmanın sebep olduğu korozyon	0,65	C20/25	260	-	-
	XC2		0,60	C25/30	280	-	-
	XC3		0,55	C30/37	280	-	-
	XC4		0,50	C30/37	300	-	-
3	XS1	Deniz suyu	0,50	C30/37	300	-	-
	XS2		0,45	C35/45	320	-	-
	XS3		0,45	C35/45	340	-	-
4	XD1	Deniz suyu haricindeki klorür etkisi	0,55	C30/37	300	-	-
	XD2		0,55	C30/37	300	-	-
	XD3		0,45	C35/45	320	-	-
5	XF1	Donma/çözülme etkisi	0,55	C30/37	300	-	TS EN 12620'ye uygun, yeterli donma/çözülme dayanıklılığına sahip agregalar
	XF2		0,55	C25/30	300	4,0 ^(a)	
	XF3		0,50	C30/37	320	4,0 ^(a)	
	XF4		0,45	C30/37	340	4,0 ^(a)	
6	XA1	Zararlı Kimyasal Ortamlar	0,55	C30/37	300	-	-
	XA2		0,50	C30/37	320	-	Sülfata dayanıklı çimento ^(b)
	XA3		0,45	C35/45	360	-	
7	XM1	Aşınma	0,55	C30/37	300	-	-
	XM2		0,55	C30/37	300	-	Beton yüzeyine işlem uygulanır ^(d)
	XM3		0,45	C35/45	320	-	Sert agregalar kullanılır

- (a) Hava sürüklenmemiş betonun performansı, ilgili etki sınıfı için donma/çözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla karşılaştırılarak, uygun deney yöntemine göre yapılacak deneylerle belirlenmelidir.
- (b) Ortamda bulunan sülfat miktarının XA2 ve XA3 çevre etki sınıfına işaret etmesi durumunda, TS EN 197-1'e veya tamamlayıcı ulusal standartlara uygun sülfata dayanıklı çimento kullanılması gereklidir.
- (c) k-değeri kavramının uygulanması durumunda, en yüksek su/çimento (w/c) oranı ve en düşük çimento içeriği Madde 308.02.05.03.01'ye uygun olarak değiştirilir. En düşük çimento içeriği, çimento ve standartta belirtilen k-değeri ile eşdeğer çimentoya dönüştürülmüş mineral katkıların toplam miktarını ifade etmektedir. Örneğin, 280 kg CEM I 42,5 çimentosu ve 50 kg uçucu kül içeren karışımın eş değer çimento içeriği 300 kg'dır. İlgili çevresel etki sınıfına ait en düşük çimento içeriği kontrol edilirken 300 kg'a göre değerlendirme yapılır.
- (d) Yüzeydeki terleme suyunun vakumla çekilmesi ve yüzeyin helikopterle sıkıştırılarak düzeltilmesi gibi.

NOTLAR:

- 1-Beton bir yapının hizmet ömrü betonun tasarımına, beton özelliklerine ve uygulamaya bağlıdır. Tabloda verilen değerler, planlanmış tasarım hizmet ömrünün en az 50 yılı olduğu varsayımına dayanmaktadır; ancak beton yapılar daha kısa (ör. 20 yıl) veya daha uzun (ör. 100 yıl) hizmet ömürleri için tasarlanabilir.
- 2- Tabloda verilen değerler, kullanım yerinde geçerli hükümlerde öngörülen çevre etki sınıfında kullanım için uygunluğu sağlanmış olan, TS EN 197-1'e uygun genel çimentoların kullanımı ve D_{max} değeri 20 mm – 32 mm arasında olan normal ağırlıktaki agregalar kullanılarak imal edilmiş betonlar için geçerlidir.
- 3- En düşük dayanım sınıfları, su/çimento oranı ile dayanım sınıfı 32,5 olan çimento kullanılarak hazırlanmış betonun dayanım sınıfı arasındaki bağıntıdan elde edilmiştir.
- 4- En yüksek su/çimento oranı ve en düşük çimento içeriği sınır değerleri, her durumda geçerlidir, bununla birlikte beton dayanım sınıfı gereklilikleri de ek olarak belirtilebilir.

5. Çimento Seçimi

Çimento, aşağıda belirtilen kriterlere uygun olarak seçilmelidir.

- Yapım yöntemi,
- Beton yapının kullanım amacı,
- Kür şartları (ısıtıl işlem gibi),
- Yapı boyutları (ısıtıl gelişimi),
- Yapının maruz kalacağı çevre şartları,
- Bileşenlerden kaynaklanan alkaliler ile agrega arasında etkileşme olması durumu.

Tablo.3-a Çevresel Etki Sınıflarına Maruz Betonlar için Kullanılması Önerilen Çimento Tipleri ^a

				Korozyon etkisi yok	Donatı Korozyonu									Betona etkisi											Ön gerilme Çeliğine uyumluluk	
					Karbonatlaşma nedeniyle Korozyon					Klorür nedeniyle korozyon				Donma / Çözülme Etkisi				Zararlı Kimyasal Ortam			Aşınma					
										Deniz Suyu dışında Klorür Etkisi		Deniz Suyundan kaynaklanan Klorür Etkisi														
					XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ^d	XA3 ^d	XM1	XM2		XM3
CEM II	A		S-D; S-T; S-L; S-L; D-T; D-L; D-L; T-L; T-L; S-V; V-T; V-L; V-L ¹	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
			S-P; D-P; D-V ¹ ; P-V; P-L; P-L; P-T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X ^f
			D-W; S-W ¹ ; P-W; L-W; T-W	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B		S-D; S-T; D-T; S-V; V-T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
			S-P; D-P; D-V ¹ ; P-T; P-V	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X ^f
			S-L; S-L; D-L; P-L; P-L; V-L; V-L ¹ ; T-L; T-L; W-T; D-W; S-W; P-W; L-W; LL-W ¹	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo.3-b Farklı Çevresel Etki Sınıflarına Maruz Betonlar için Kullanılması Önerilen Çimento Tipleri ^a

Etki sınıfı X= Kullanılması önerilir O=Kullanılması önerilmez			Korzyon Etkisi yok	Donatı Korzyonu									Betona Etkisi									Ön gerilme Çeliğine uyumluluk			
				Karbonatlaşma nedeniyle Korzyon					Klorür nedeniyle korzyon				Donma / Çözülme Etkisi				Zararlı Kimyasal Ortam			Aşınma					
									Deniz Suyu dışında Klorür Etkisi		Deniz Suyundan kaynaklanan Klorür Etkisi														
				XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS 1	XS 2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ^d	XA3 ^d		XM1	XM2	XM3
CEM IV	B	(P ⁹)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	X	X	X	X	0	0	0			
CEM V	A	(S-P ^h)				X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0	X	X	X	X	0	0	0		
Çok Düşük Hidratasyon Isılı (VLH)	III/B			0		0	0	0	X	0	X	0	0	0	0	0	X	X	X	0	0	0	0		
	III/C																								
	IV/A ¹																								
	IV/B ¹																								
	V/A ¹																								
		V/B ¹																							
a) Bu çizelgede kullanılması önerilmeyen çimento, taraflar arasında mutabakat sağlanması durumunda kullanılabilir. b) Dayanım sınıfı ≥42,5 veya dayanım sınıfı 32,5 R ve kütlece ≤ %50 öğütölmüş yüksek fırın cürufu. c) CEM III/B sınıfı çimento sadece deniz yapıları uygulamalarında, su/çimento ≤ 0,45, dayanım sınıfı en az C35/45 ve çimento dozajı c≥ 340 kg/m³ ise kullanılabilir. Betonda hava sürükleyici katkı kullanılması gereklidir. d) XA1 etki sınıfına kıyasla daha ciddi kimyasal etkiye maruz betonlarda, deniz suyu dışındaki sülfat etkisi için yüksek oranda sülfata dayanıklı çimento kullanılmalıdır. Alternatif olarak, sülfat içeriği en fazla 1,500 mg/L olan zararlı etkiye sahip sular için sülfata dayanıklı çimento yerine uçucu kül ve çimento karışımı kullanılabilir. Yüksek sülfata dayanıklılık için gerekler, CEM I-SR-3 veya daha düşük çimento, CEM III/B-SR veya CEM III/C-SR çimentoların kullanılması durumunda sağlandığı kabul edilir. e) İçerisine belli oranda mineral katkı ilave edilmiş çimentolar daha iyi performans verebilir. Üç ana bileşenli CEM-II-M tip çimentosu için Tablo 28-b 'ye ve CEM IV ve CEM V çimentoları ve iki veya üç ana bileşen için Tablo 28-c' ye bakılmalıdır. f) Bu tip uygulamalarda, puzolanlı çimentolar performanslarını kanıtlayan yeterli veri bulunmamasından dolayı kullanılmamalıdır. g) TS 25' e uygun tras ihtiva eden, tras oranı en fazla %40 olan traslı çimento. h) Trasın ana bileşen olduğu traslı çimentolara uygulanır. i) TS 13515' e göre üretilen betonda kullanılan uçucu kül TS EN 450-1' e uygun olmalı ve kızdırma kaybı %5' i aşmamalıdır.																									

Tablo.4 Farklı Çevresel Etki Sınıflarına Maruz Betonlar İçin Kullanılması Önerilen Çimento Tipleri ^a

Etki Sınıfı X= Kullanılması önerilir O=Kullanılması önerilmez	Korozyon Etkisi yok	Donatı Korozyonu										Betona Etkisi				
		Karbonatlaşma nedeniyle Korozyon					Klorür nedeniyle Korozyon					Donma / Çözülme Etkisi				
		Deniz Suyu dışında Klorür Etkisi					Deniz Suyundan kaynaklanan Klorür Etkisi					XF1	XF2	XF3	XF4	Zararlı Kimyasal Ortam
CEM I	XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	XA1	XA2 ^d	XA3 ^d		
		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		A/B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		P/Q	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		A/B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		V ⁱ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		W ⁱ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEM II	XO	A/B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		LL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		L	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		M ^{e,i}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEM III	XO	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEM IV ^{e,i}	XO	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEM V ^{e,i}	XO	A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

6. Agregası Seçimi, En Büyük Tane Boyutu ve Granülometrelerinin Belirlenmesi

Agregası; doğal, yapay veya geri kazanılmış olup yapılarda kullanılan taneli malzemelerdir.

Agreganın niteliği ve özellikleri, taze ve sertleşmiş betonun karakteristik ve performans özelliklerinde doğrudan ve önemli ölçüde etkilidir. Kırmı agregası dikkatlice seçilmeli, tanelerin kübik nitelikte olması tercih edilmelidir.

Agregası temiz, sağlam ve dayanıklı olacak ve bünyesinde zararlı miktarlarda toz, çamur, kil veya organik orijinli yabancı maddeler bulundurmıyacaktır. Donmuş agregası kesinlikle kullanılmıyacaktır. Kullanılacak her bir agregası fraksiyonu Alkali Silika Reaksiyonu (ASR), zararlı organik maddeler ve kil yönünden mutlaka test edilmelidir. ASR riskini yok etmenin en güvenilir yolu, ASR riski olan agreganın kullanılmamasıdır.

Agregaların Tane Sınıflarına ayrılması ve En Büyük Tane Çapı Seçimi (D_{maks})

İyi gradasyona sahip agregalarda maksimum dane çapındaki boşluk miktarı daha küçük boyuttakilere göre daha azdır. Böylece daha büyük boyuttaki agregalarla yapılan betonlarda birim hacim için gerekli harç ihtiyacı daha azdır. Genel olarak hem boyut hemde ücret bakımından en ekonomik olması için 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 aşmıyacak tarzda seçilmelidir. Bunların dışında beton pompa ile iletilecek ve dökülecekse betonda kullanılacak agreganın en büyük tane büyüklüğü pompa iletim borusu iç çapının 1/3'ünü aşmamalıdır. Bazı eleman boyutları için kullanılabilecek en büyük tane büyüklükleri, donatı aralığına ait yukarıdaki husus da dikkate alınmak şartıyla **Tablo.5**'de verilmiştir.

Tablo.5 Çeşitli yapı elemanları için boyutlara bağlı olarak kullanılacak agregası en büyük tane büyüklükleri

Yapı elemanı kesitinin en dar boyutu cm	Agregası en büyük tane büyüklüğü (en fazla) (mm)			
	Donatılı perde, giriş 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



Beton yapımı sırasında agrega karıştırıcıya, tane sınıflarına ayrılmış olarak konulmalı ve bu durum karışım hesaplarında dikkate alınmalıdır. Bu hususta beton sınıfı agrega en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak **Tablo.6**'dan yararlanılmalıdır. **Tablo.6**'da verilen agrega tane sınıfları, uygulanması gereken asgari sınıflardır. Gerekli durumlarda tane sınıfı müşterinin talebiyle artırılabilir veya azaltılabilir. Bununla birlikte **Tablo.6**'da verilen agrega tane büyüklüklerinden başka diğer elek göz açıklıkları da gerekli görüldüğünde agrega tane sınıflandırması için kullanılabilir.

Tablo.6 Beton agregasının tane sınıflarına ayrılması

Beton sınıfı	Karışimdaki agrega en büyük tane büyüklüğü, (D _{en büyük}), (mm)																
	8			12			16			22,4				32 (31,5)			
	Tane sınıfı adedi																
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4
C16/20 C20/25 C25/30	0/4	4/8		0/4	4/11,2		0/4	4/16		0/4	4/11,2	11,2/22,4		0/4	4/11,2	11,2/32	
	0/2	2/4	4/8	0/2	2/4	4/11,2	0/4	4/8	8/16	0/2	2/4	4/11,2	11,2/22,4	0/4	4/8	8/16	16/32
C30/37 C35/45 C40/50 C45/55 C50/60	0/2	2/4	4/8	0/4	4/11,2		0/4	4/8	8/16	0/4	4/11,2	11,2/22,4		0/4	4/11,2	11,2/32	
				0/2	2/4	4/11,2	0/2	2/4	4/16	0/2	2/4	4/11,2	11,2/22,4	0/2	2/4	4/11,2	11,2/32

Tablo.6 Beton agregasının tane sınıflarına ayrılması (devamı)

Beton sınıfı	Karışimdaki agrega en büyük tane büyüklüğü, (D _{en büyük}), (mm)									
	45					63				
	Tane sınıfı adedi									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
C16/20 C20/25 C25/30	0/4	4/22,4	22,4/45			0/4	4/16	16/32	32/63	
	0/4	4/11,2	11,2/22,4	22,4/45		0/4	4/11,2	11,2/22,4	22,4/63	
C30/37 C35/45 C40/50 C45/55 C50/60	0/4	4/11,2	11,2/22,4	22,4/45		0/4	4/16	16/32	32/63	
	0/2	2/4	4/11,2	11,2/22,4	22,4/45	0/4	4/8	8/16	16/32	32/63



Agrega Granülometrilerinin Belirlenmesi

Beton yapımında kullanılacak agregalara ait tane büyüklüğü dağılımı; TS EN 933-1'e göre agrega tane sınıfına (d/D) bağlı olarak belirlenmelidir.

Agrega tane sınıfının belirtilmesinde kullanılan elek göz açıklıkları **Tablo.7**'de verilmektedir.

Tablo.7 Agrega Tane Sınıfının Belirlenmesinde Kullanılan Elek Göz Açıklıkları

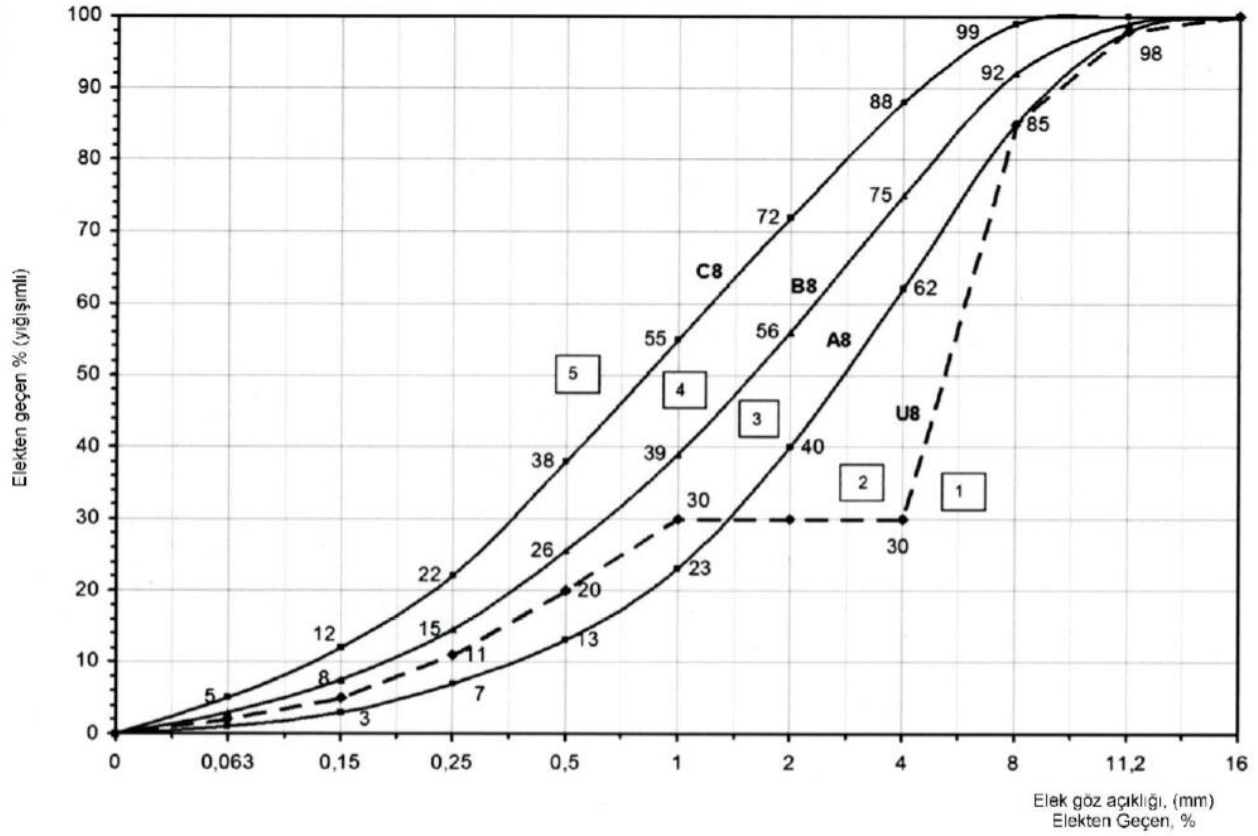
Temel Elek Serisi mm	Temel Elek Serisi + seri 1 mm	Temel Elek Serisi + seri 2 mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6 (5)	-
-	-	6,3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4 (22)	-
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63
Not: Parantez içinde gösterilen yuvarlatılmış büyüklükler, agrega tane büyüklüklerinin basitleştirilmiş gösterilişi olarak kullanılabilir.		

-Beton karışımında kullanılacak agrega tane büyüklüğü dağılımı grafikleri en büyük tane büyüklüğü farklı agregalar için **Şekil.1, Şekil.2, Şekil.3** ve **Şekil.4**'te gösterilen 3 numaralı ve 4 numaralı bölgelerde bulunacak şekilde seçilmelidir.

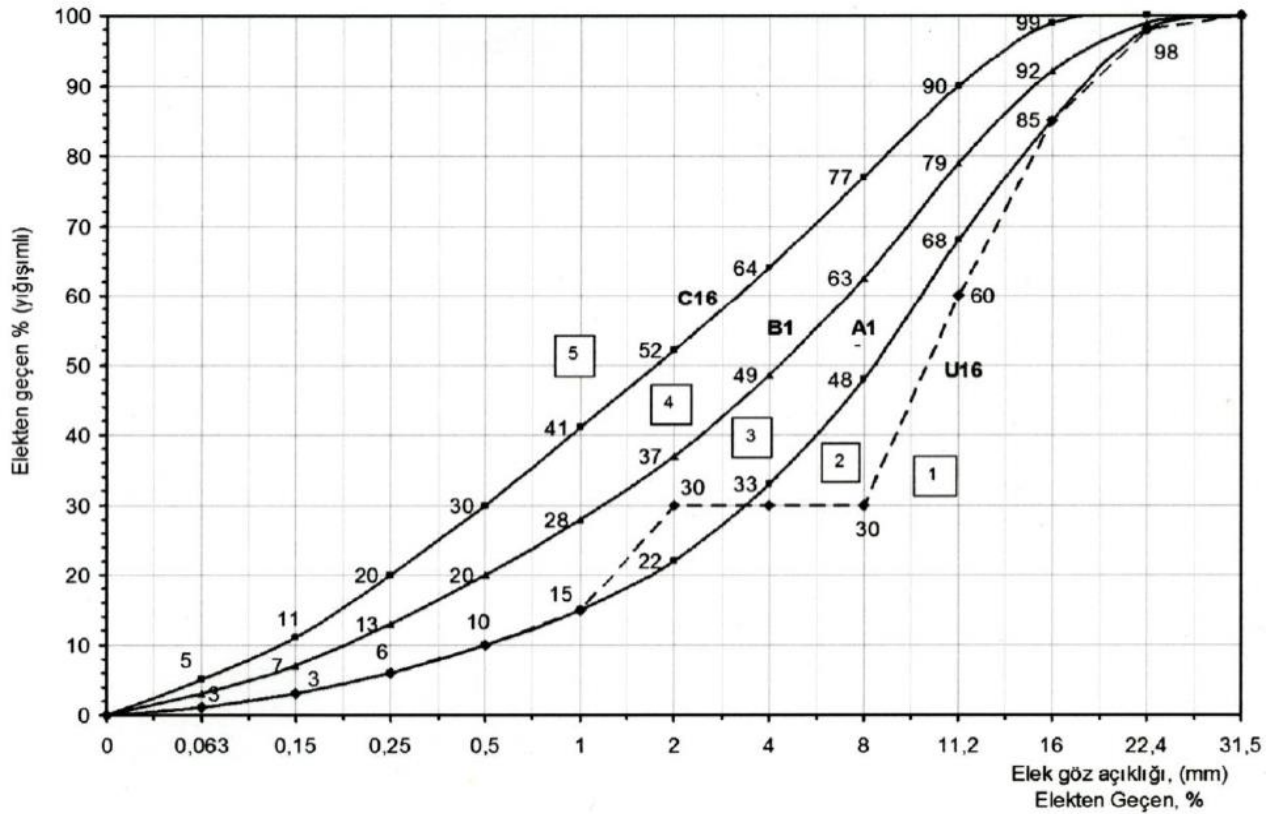
-3 numaralı bölgeye düşecek tane dağılımları, uygun bölge olduğu için, tercih edilmelidir. Bunun mümkün olmaması halinde 4 numaralı olan kullanılabilir bölgeye düşen tane dağılım eğrisi kullanılmalıdır.

-Zorunlu durumlarda 2 numaralı bölgeye düşen kesikli tane dağılımları da kullanılabilir.

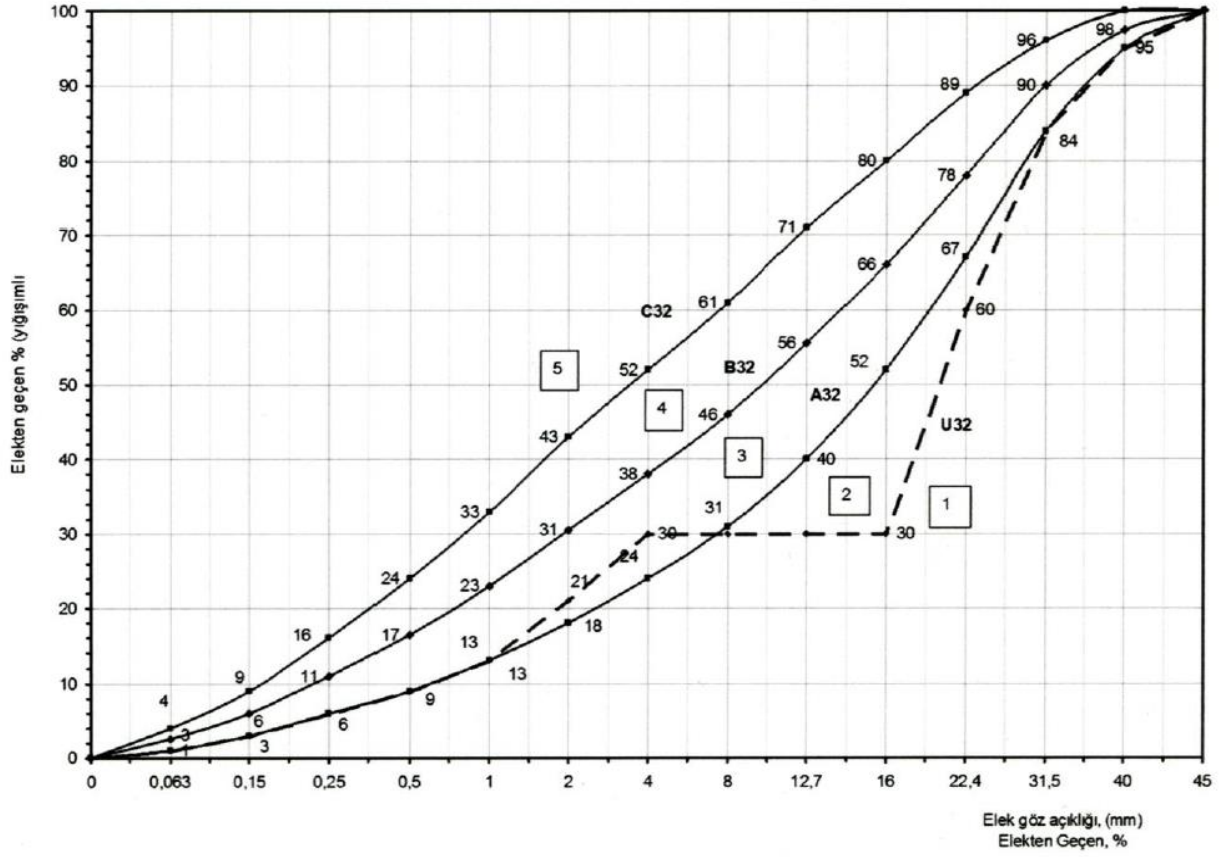
-5 numaralı bölgeye düşen tane dağılımları kullanılmamalıdır.



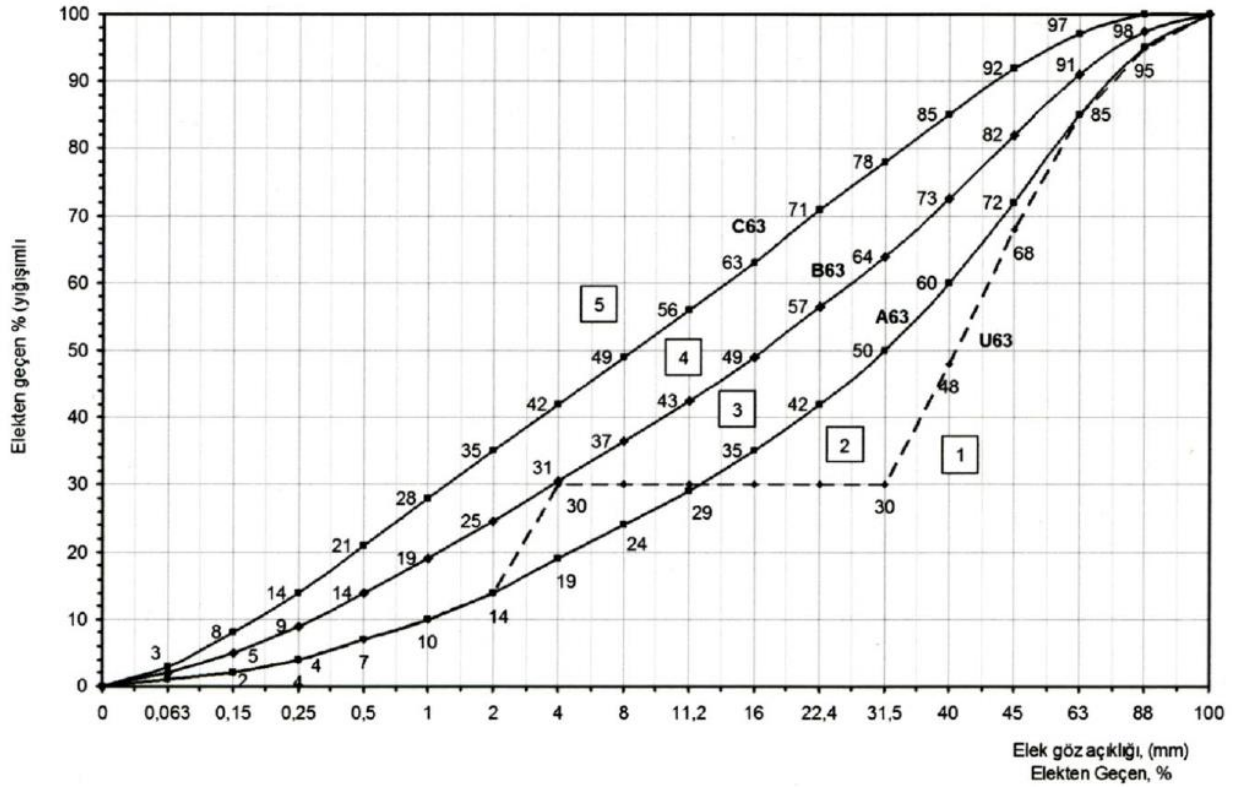
Şekil.1 Agreganın en büyük tane büyüklüğü 8,0 mm olan beton için belirlenen agreganın tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar



Şekil.2 Agreganın en büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan beton için belirlenen agreganın tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar



Şekil.3 Agreganın en büyük tane büyüklüğü 32,0mm (31,5mm) olan beton için belirlenen agreganın tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar



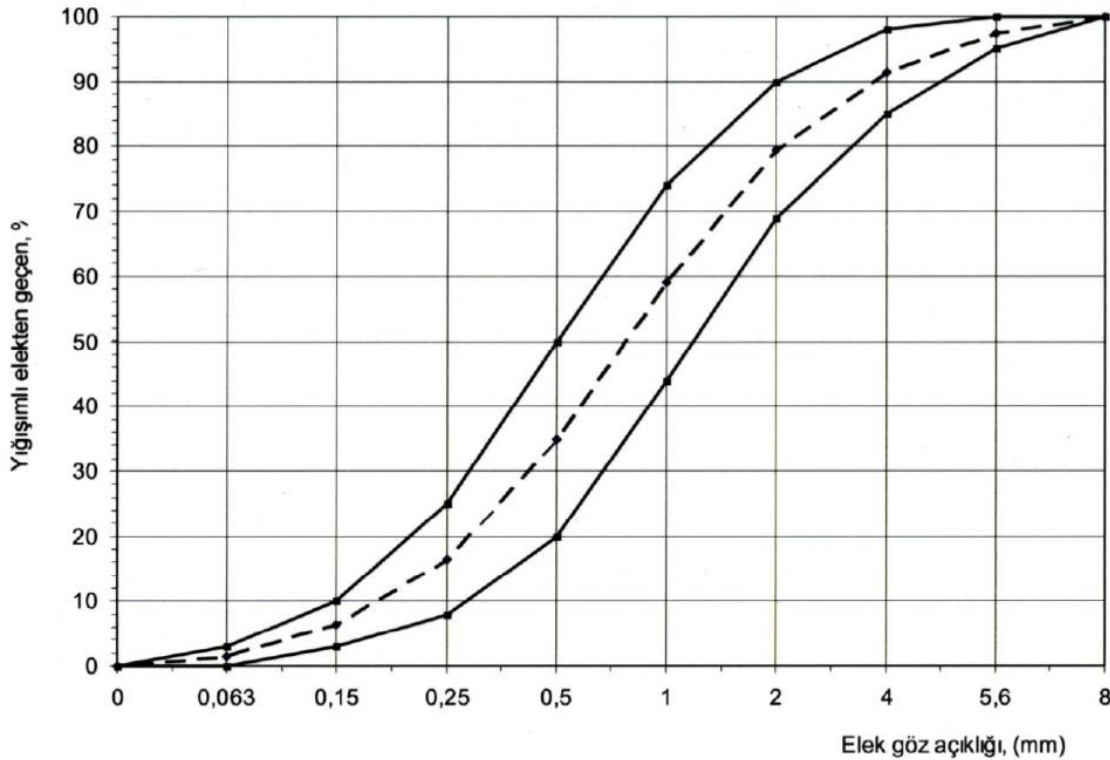
Şekil.4 Agreganın en büyük tane büyüklüğü 63,0mm olan beton için belirlenen agreganın tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar

Pompa ile İletilen Betonlarda, Agregalar için Granülometri Eğrileri:

Döküleceği yere bir pompa vasıtası ile bir hortum veya boru içerisinde aktarılan bu beton için, agrega en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak, **Tablo.8 ve 9**'da önerilen elek göz açıklıkları ve yığışimli elekten geçen sınırlar kullanılacaktır. Tane dağılım eğrileri için **Şekil.5, Şekil.6 ve Şekil.7**'de verilen tane dağılım eğrileri uygulanacaktır.

Tablo.8 Pompa ile İletilen Betonda İnce Agrega için Önerilen Tane Büyüklüğü Dağılımı Eğrisine Ait Sınırlar

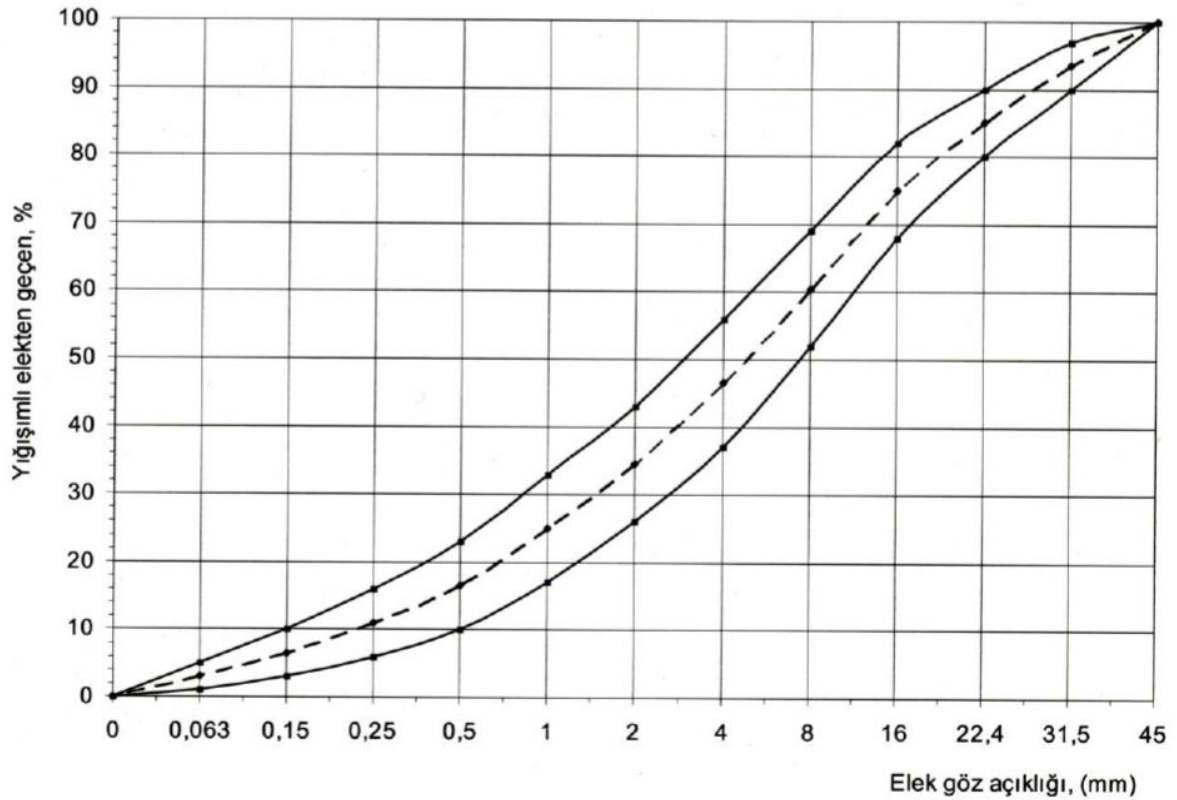
Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%) (Yığışimli)	Elekte Kalan, (%) (Yığışimli)
8	100	0
5,6	95 - 100	0 - 5
4	85 - 98	2 - 15
2	69 - 90	10 - 31
1	44 - 74	26 - 56
0,50	20 - 50	50 - 80
0,250	8 - 25	75 - 92
0,150	3 - 10	90 - 97
0,063	0 - 3	97 - 100
Pan	0	100



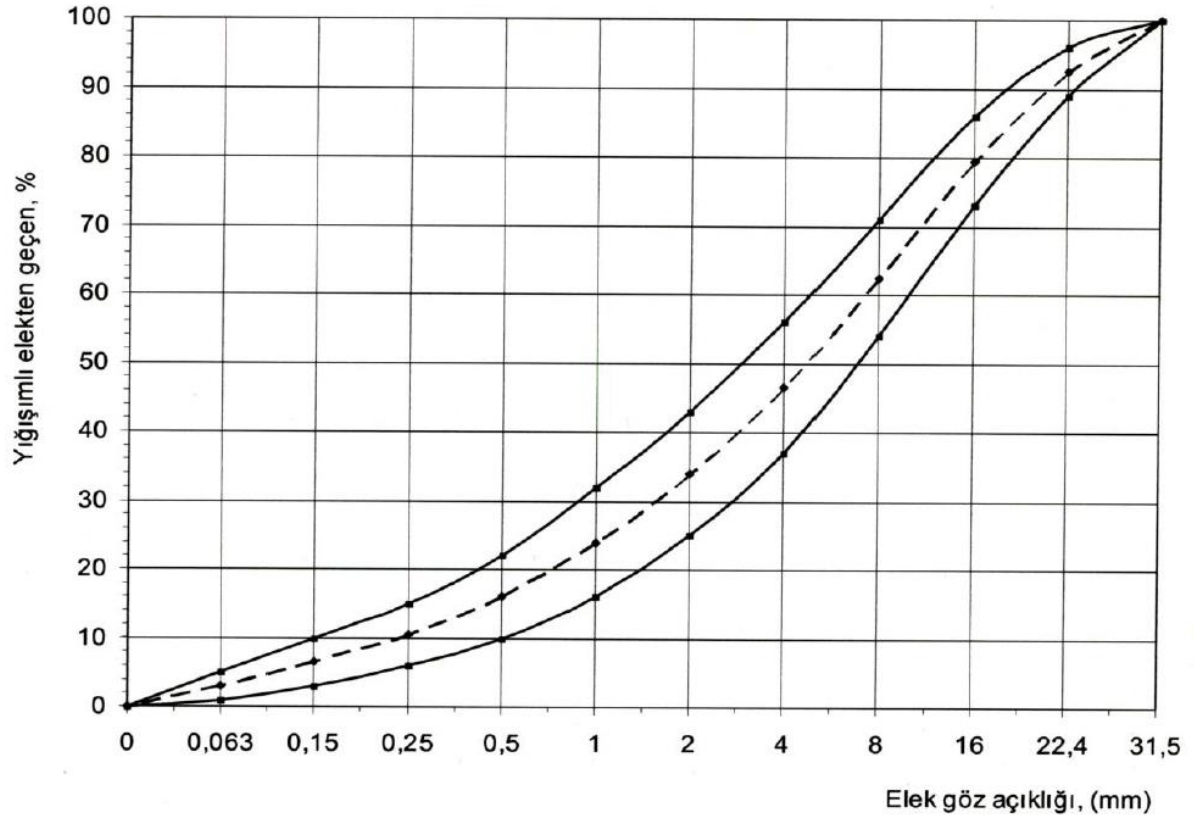
Şekil.5 Pompa ile iletilen betonda kullanılması önerilen ince agregaya ait tane büyüklüğü dağılımı eğrisi

Tablo.9 Pompa ile İletilen Betonda Kullanılması Önerilen ve En Büyük Tane Boyutları 31,5 mm ve 22,4 mm olan Agrega Karışımlarına Ait Tane Büyüklüğü Dağılımı Eğrisine Ait Sınırlar

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen, % (Yığılımlı)	
	En Büyük Tane Boyutu 31,5 mm	En Büyük Tane Boyutu 22,4 mm
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.6 En büyük agrega tane boyutu 31,5 mm olan ve pompa ile iletmeye uygun betonda kullanılması önerilen tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar



Şekil.7 En büyük agrega tane boyutu 22,4 mm olan ve pompa ile iletmeye uygun betonda kullanılması önerilen tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar



7. Çok İnce Malzeme İçeriği

Tablo.10'da beton sınıfları C50/60 ve LC50/55 ile daha düşük beton sınıfları ve XF ve XM çevre etki sınıflarına maruz kalacak betonlar ile **Tablo.11**'de ise C55/67 ile LC55/60 ve üzeri beton sınıflarında tüm çevre etki sınıflarına maruz kalacak betonlar için çok ince malzeme (<125mm) içeriği ile ilgili sınır değerler verilmiştir.

Diğer tüm beton sınıfları için çok ince malzeme içeriği 550 kg/m³ değerini aşmamalıdır.

Tablo.10 En büyük agrega tane büyüklüğü 16 mm ve 63 mm arasında ve XF ve XM çevresel etki sınıflarına maruz betonlarda (C50/60 ve LC50/55 ve altı beton sınıflarında) izin verilen en fazla çok ince malzeme (<0,125 mm) miktarı.

Çimento dozajı kg/m ³	En fazla izin verilen çok ince malzeme miktarı kg/m ³
≤ 300	400
≥ 350	450

Tablo.11 En büyük agrega tane büyüklüğü 16 mm ve 63 mm arasında ve tüm çevresel etki sınıflarına maruz betonlarda (C55/67 ve LC55/60 ve daha yüksek dayanımlı betonlar için) izin verilen en fazla ince malzeme (<125mm) miktarı.

Çimento dozajı kg/m ³	En fazla izin verilen çok ince malzeme miktarı kg/m ³
≤ 400	500
450	550
≥ 500	600

Çimento dozajının 300 kg/m³ ve 350 kg/m³ arasında olması durumunda, **Tablo.10**'da verilenlerden doğrusal enterpolasyon işlemi ile ara değerler belirlenebilir.

Çimento dozajının 400 kg/m³ ve 500 kg/m³ arasında olması durumunda, **Tablo.11**'de verilenlerden doğrusal enterpolasyon işlemi ile ara değerler belirlenebilir.

Tablo.10'da çok ince malzeme içeriği için üst sınır değerler 50 kg/m³ değerini aşmayacak şekilde aşağıda verilen miktarlar kadar artırılabilir;



- Çimento dozajı 350 kg/m^3 'ten daha fazla olduğunda, 350 kg/m^3 'ten fazla olan miktar kadar,
- Betonda tip II puzolanik malzeme kullanılması durumunda, tip II katkı miktarı kadar.
- Betonda tip II puzolanik malzeme kullanılması durumunda, **Tablo.11**'de çok ince malzeme içeriği için üst sınır değer 50 kg/m^3 değerini aşmayacak şekilde ilave edilen tip II katkı miktarı kadar.

Tablo.10 ve **Tablo.11**'de 2. sütunda verilen sınır değerler, agregada en büyük tane büyüklüğünün 8 mm olması durumunda 50 kg/m^3 kadar artırılabilir.

Çok ince malzeme miktarı 0 – 0,125 mm arasında yer alan çimento ve mineral katkıları dahil diğer malzemelerin toplamıdır.



8. Mineral Katkıların Kullanımı

Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçin k-değeri kavramı

k- değeri kavramı, tip II mineral katkıların aşağıda verilen şartlarda değerlendirilmesine imkân sağlar. Su/çimento ifadesi yerine eşdeğer su/çimento oranı $(w/c)_{eq}$ ve hesaplanması için aşağıdaki bağıntıların kullanılması gerekmektedir.

$(\text{Çimento} + k \times \text{mineral katkı})$ miktarı ilgili çevre etki sınıfı için gerekli en az çimento miktarından az olmamalıdır

$$(w/c)_{eq} = su / (\text{çimento} + k_f \times f), \text{ (uçucu kül için),}$$

$$(w/c)_{eq} = su / (\text{çimento} + k_s \times s), \text{ (silis dumanı için),}$$

$$(w/c)_{eq} = su / (\text{çimento} + k_f \times f + k_s \times s), \text{ (uçucu kül ile birlikte silis dumanı için),}$$

$$(w/c)_{eq} = su / (\text{çimento} + k_{cf} \times cf), \text{ (cüruf için).}$$

Burada;

k_f : Uçucu küle ait k değeri

k_s : Silis dumanına ait k değeri

k_{cf} : Öğütülmüş taneli yüksek fırın cürufuna ait k değeri

f : Betonda kullanılan uçucu kül miktarı

s : Betonda kullanılan silis dumanı miktarı

cf : Betonda kullanılan cüruf miktarı

Uçucu Kül için k-değeri kavramı;

- CEM I ve CEM II/A çimento tipleri içeren bir betonda k-değeri olarak 0,4'ün kullanılmasına izin verilir.

- CEM I çimentosu ile birlikte kullanılacak en fazla uçucu kül miktarı aşağıda verilen gerekliliği dikkate alınmalıdır:

$$(Uçucu\ kül/\text{çimento}) \leq 0,33 \text{ (kütlegece).}$$

- CEM II çimentosu ile birlikte kullanılacak en fazla uçucu kül miktarı aşağıda verilen gerekliliği sağlamalıdır:

$$(Uçucu\ kül/\text{çimento}) \leq 0,25 \text{ (kütlegece).}$$

- Yukarıda belirtilenlerden daha fazla miktarda uçucu kül kullanılması durumunda, fazla olan kısım $su / (\text{çimento} + k \times \text{uçucu kül})$ oranı ve en düşük çimento içeriği $(\text{çimento} + k \times \text{mineral katkı})$ hesaplamalarında dikkate alınmaz.



Silis Dumanı İçin k- değeri kavramı;

Eşdeğer su/çimento oranı hesaplanmasında dikkate alınacak silis dumanı miktarı, çimento miktarına oranla en fazla %11 olmalıdır. Daha fazla kullanılması durumunda, arta kalan kısım eşdeğer su/çimento oranı hesaplanmasında dikkate alınmaz.

Su/çimento oranının $\leq 0,45$ olduğu durumlarda eşdeğer su/çimento oranı hesaplanmasında $k_s=2,0$ olarak alınmalı

Su/çimento oranının $> 0,45$ olduğu durumlarda XC ve XF haricindeki tüm etki sınıfları için eşdeğer su/çimento oranı hesaplamasında $k_s=1,0$ kullanılmalıdır.

XF2 ve XF4 haricindeki tüm etki sınıfları için, su/çimento oranının yerine eşdeğer su/çimento oranı hesaplanmasında $k_s=1,0$ kullanılabilir.

Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçin k- değeri kavramı;

CEM I ve çevre etki sınıfına bağlı olarak CEM II/A, CEM II/B tipi çimentolar ile birlikte öğütülmüş taneli yüksek fırın cürufu kullanımında betonda eşdeğer su/çimento hesaplamasında izin verilen k değeri aşağıdaki şekilde alınmalıdır;

Her iki tip çimento ile çimento kütlesine oranla:

%100'e kadar yüksek fırın cürufu kullanıldığında $(w/c)_{eq}$ hesaplanmasında CEM I çimentosu kullanıldığında $k = 0,8$

CEM II/A çimentosu kullanıldığında $k = 0,6$ olarak alınmalıdır.

Doğal puzolan (tras) için k-değeri kavramı;

Doğal puzolan (tras) kullanılması durumunda $(w/c)_{eq} = su / (\text{çimento} + k \times \text{mineral katkı})$ oranının hesaplanmasında k değeri dikkate alınmamalıdır.

Bunun yerine, betonda kullanılacak trasın CEM I ve/veya CEM II/A ve CEM II/B çimentoları ile belirli oranlarda ikame edilmesi ile elde edilen bağlayıcı ve sadece CEM I ve/veya CEM II/A ve CEM II/B çimentoları ile yapılan betonların performanslarının birbirleri ile mukayese edilerek gerekli tras oranı, en az çimento miktarı ile toplam bağlayıcı ve eşdeğer (w/c) değeri belirlenmelidir.



En düşük çimento miktarı hesaplanmasında trasın çimentoya göre kütlece oranı (t/c) $<0,20$ ise k değeri dikkate alınmalıdır.

CEM I tipi çimento ile yapılan beton performans çalışmalarına göre belirlenmelidir.

En düşük çimento ile tras miktarı toplamı **Tablo.2** sütun 6'da verilen değerden daha düşük olmamalıdır.

Uçucu kül ile silis dumanı karışımları için k değeri kavramı;

Uçucu kül ve silis dumanı birlikte kullanılıyorsa, uçucu kül miktarı:

- çimentonun %33'ünden,
- silis dumanı miktarı ise çimentonun %11'inden daha fazla olmamalıdır.

9. Ortalama Hedef Dayanım ve Su / Çimento Oranı Seçimi

Beton tasarımında dikkate alınması gerekli ortalama hedef dayanım, silindir veya küp şekilli numuneler için karakteristik dayanıma ihtiyat payı ilave edilerek bulunan değerlerdir. Bu değerler standard sapma bilinmediği durumlarda kullanılması önerilen emniyet katsayılarıdır. Bu söz konusu ihtiyat payları beton sınıfına göre değişiklik göstermekte olup farklı beton sınıfları için **Tablo.12**'de verilmiştir.

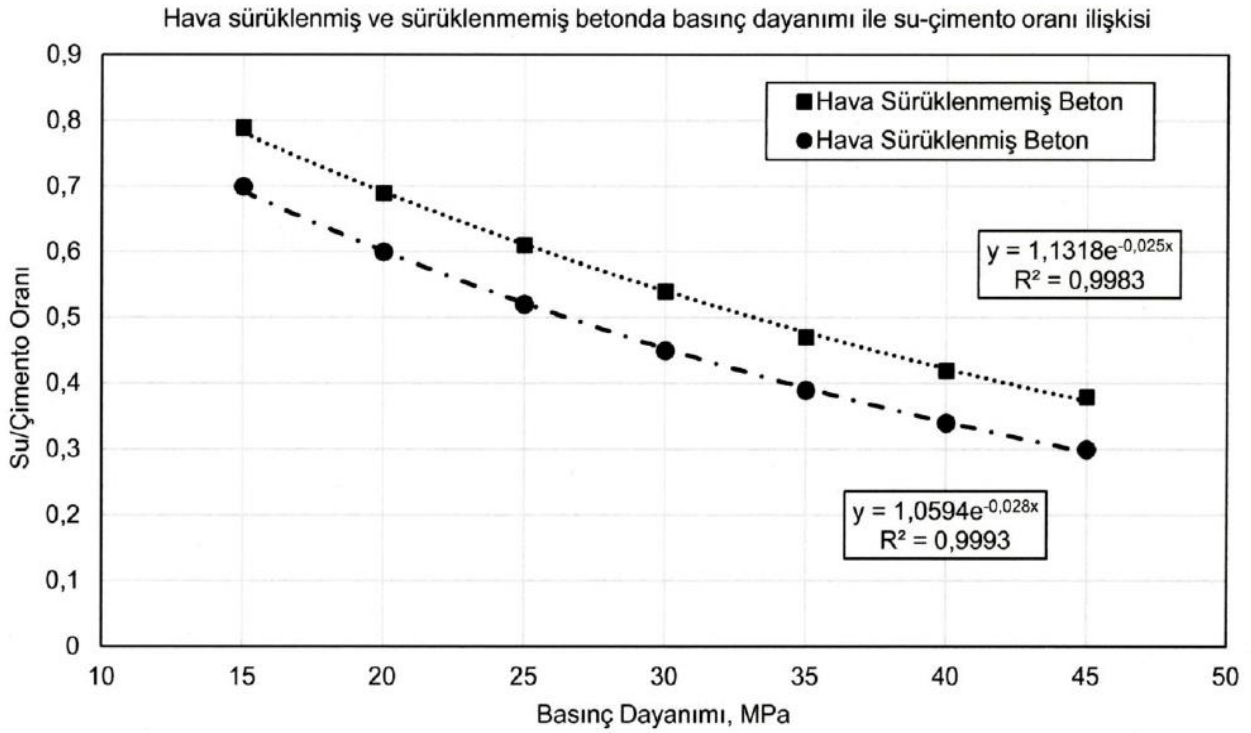
Su/çimento oranı, betonun (katkılı veya katkısız) dayanım sınıfı ve maruz kalacağı dış etkilerin şiddeti (çevre etki sınıfları) ile ilişkilidir. **Tablo.1**'de farklı iklim şartlarına ve çevre etkilerine maruz kalan betonlarla ilgili kısımda betonun içinde bulunacağı çevre etki sınıfı belirlenmeli ve bu sınıfa uygun en az çimento dozajı, en düşük karakteristik basınç dayanımı ve en büyük s/ç oranı gibi parametreler belirlenmelidir. 28 günlük basınç dayanımlarına bağlı olarak s/ç oranları ise **Tablo.13**'de verilmiştir. Betonun döküleceği ortamın iklim ve çevre şartları öncelikle belirlenmeli ve beton, dayanım sınıfından önce dayanıklılık yönünden değerlendirilmeye alınmalıdır. Betonun dayanım sınıfı ikinci sırada düşünülmeli ve gerektiğinde daha yüksek beton sınıfının gerekleri sağlanmalıdır.

Tablo.12 Beton Dayanım Sınıfları ve Dizayn Hedef Basınç Dayanımları

Beton Sınıfı	Karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} (MPa)		Hedef basınç dayanımı, f_{cm} (Ortalama silindir/eşdeğer küp basınç dayanımı) (MPa)		
	Karakteristik silindir (150x300) (mm) Basınç dayanımı f_{ck} (MPa)	Eşdeğer küp (150x150x150) (mm) basınç dayanımı f_{ck} (MPa)	Standart sapma biliniyorsa	Standart sapma bilinmiyorsa	
				(150x300) (mm) silindir	(150x150x150) (mm) küp
C14/16	14	16	$f_{cm} = f_{ck} + 1,48\sigma$	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.13 28 Günlük beton basınç dayanımlarına göre yaklaşık s/ç oranları

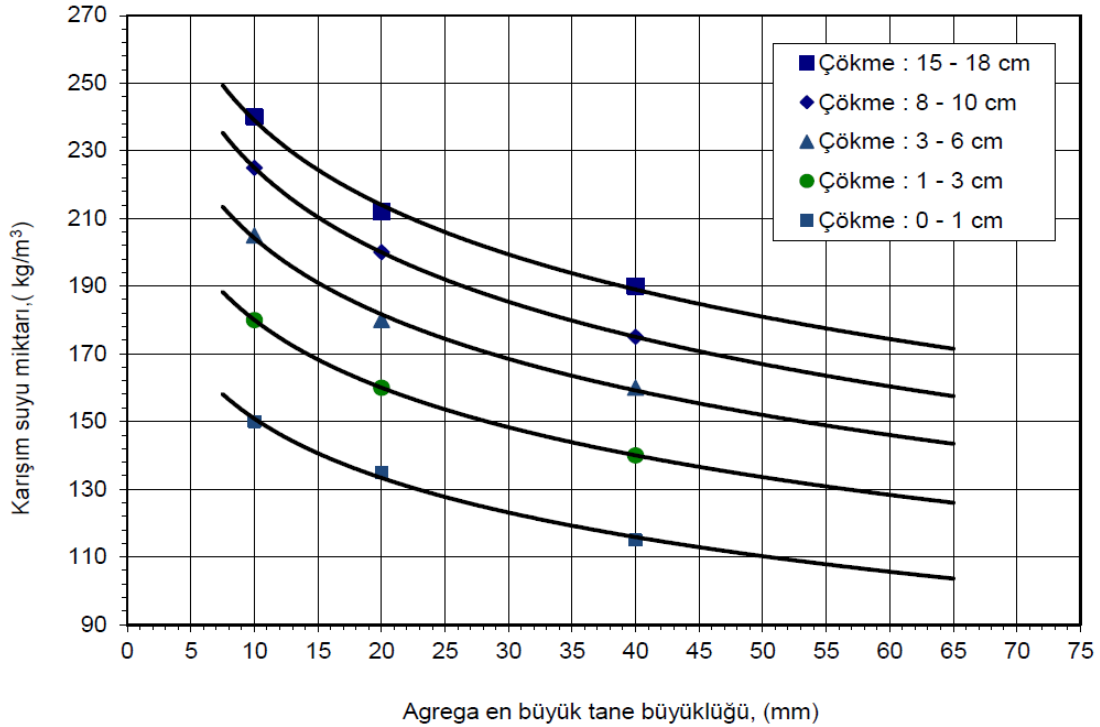
Basınç dayanımı (28 gün) (150x300)mm Silindir (MPa)	Su / çimento oranı	
	Hava sürüklenmemiş beton	Hava sürüklenmiş beton
45	0,38	0,30
40	0,42	0,34
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

**Şekil.8** Tablo.12’de verilen s/ç oranı ile basınç dayanımı arasındaki yaklaşık ilişkinin grafiksel olarak gösterimi. Tabloda yer almayan farklı s/ç oranlarına ait dayanım değerleri için bu grafikten yararlanılabilir.

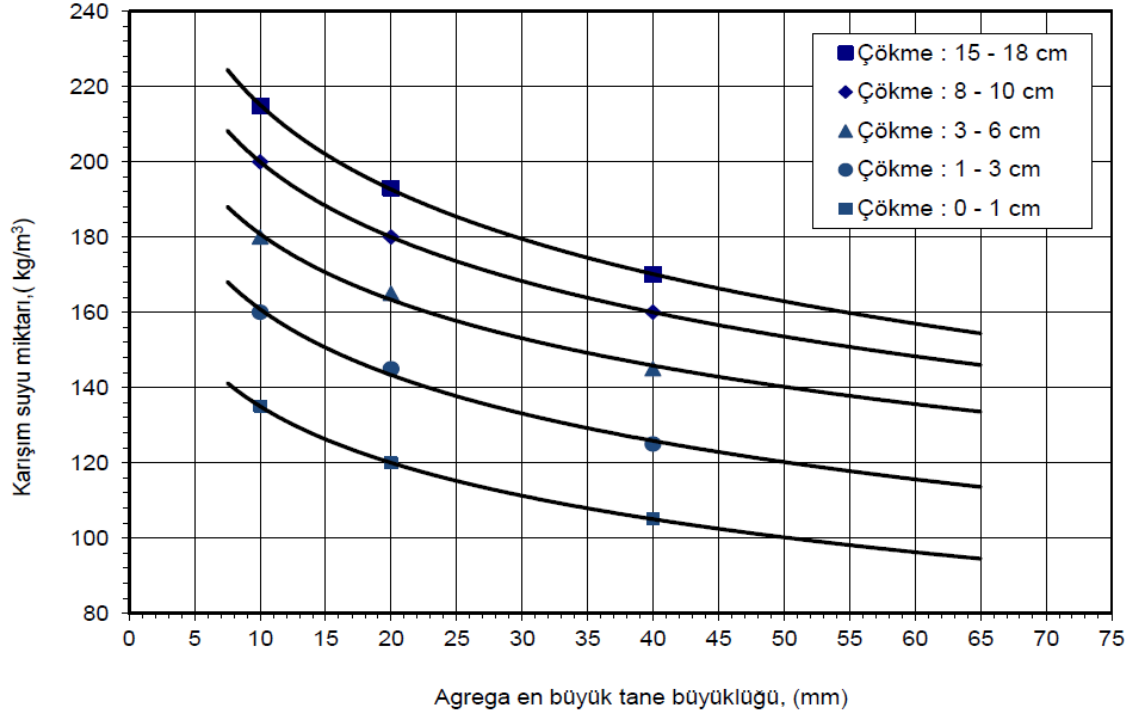
10. Su Miktarının Seçilmesi

Beton karışımına ilâve edilecek su miktarı, gerekli asgari çimento miktarı ve su/çimento oranı bilindiği durumlarda hesapla bulunmalıdır. Ancak, istenilen kıvamın sağlanması amacıyla betona gerektiğinde su ilâve edilmeli veya azaltılmalı ve karışım hesapları tekrar gözden geçirilmelidir.

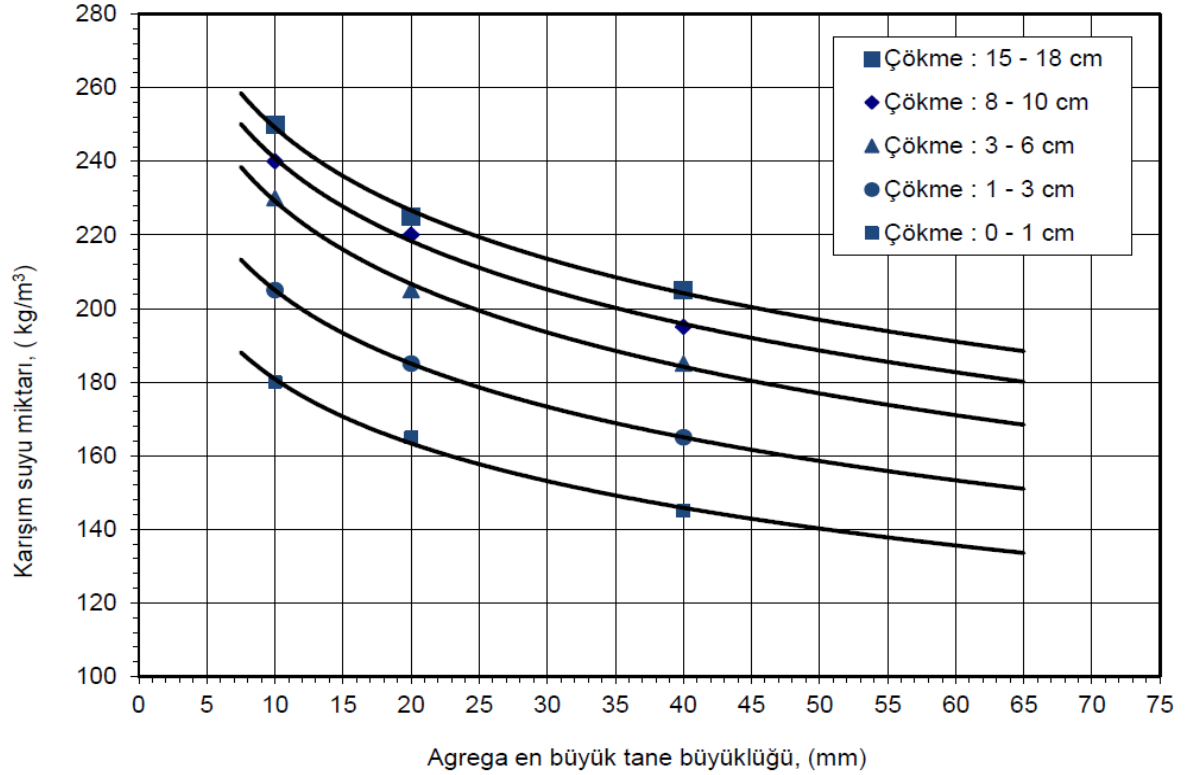
Şekil.9, Şekil.10, Şekil.11 ve Şekil 12'de hava sürükleyici katkı haricinde herhangi bir kimyasal katkı kullanılmadan yapılan betonların kıvama, agreganın en büyük tane büyüklüğüne ve agreganın tipine bağlı olarak yaklaşık karışım suyu miktarları verilmektedir. Kimyasal katkı ile beton yapıldığında, kimyasal katkının cinsine bağlı olarak, grafiklerden bulunan karışım suyu miktarlarından belirli oranda su azaltma ile katkılı beton karışım suyu miktarına geçilebilir. Bunun haricinde su miktarı tecrübe ile de belirlenebilir.



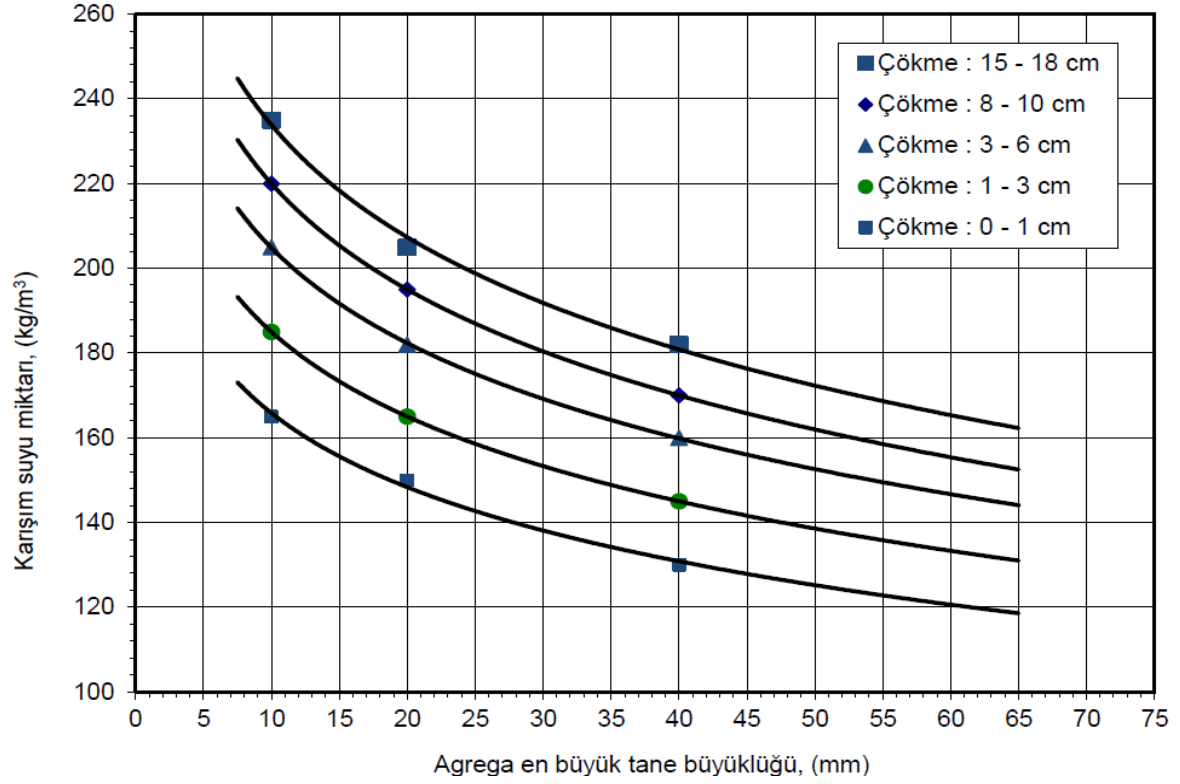
Şekil.9 Doğal şekillenmiş agreganın en büyük tane büyüklüğüne ve beton çökme değerlerine sahip için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları



Şekil.10 Doğal şekillenmiş agrega kullanılan farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları



Şekil.11 Kırmataş agrega kullanılan farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı çökme değerlerine sahip kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları

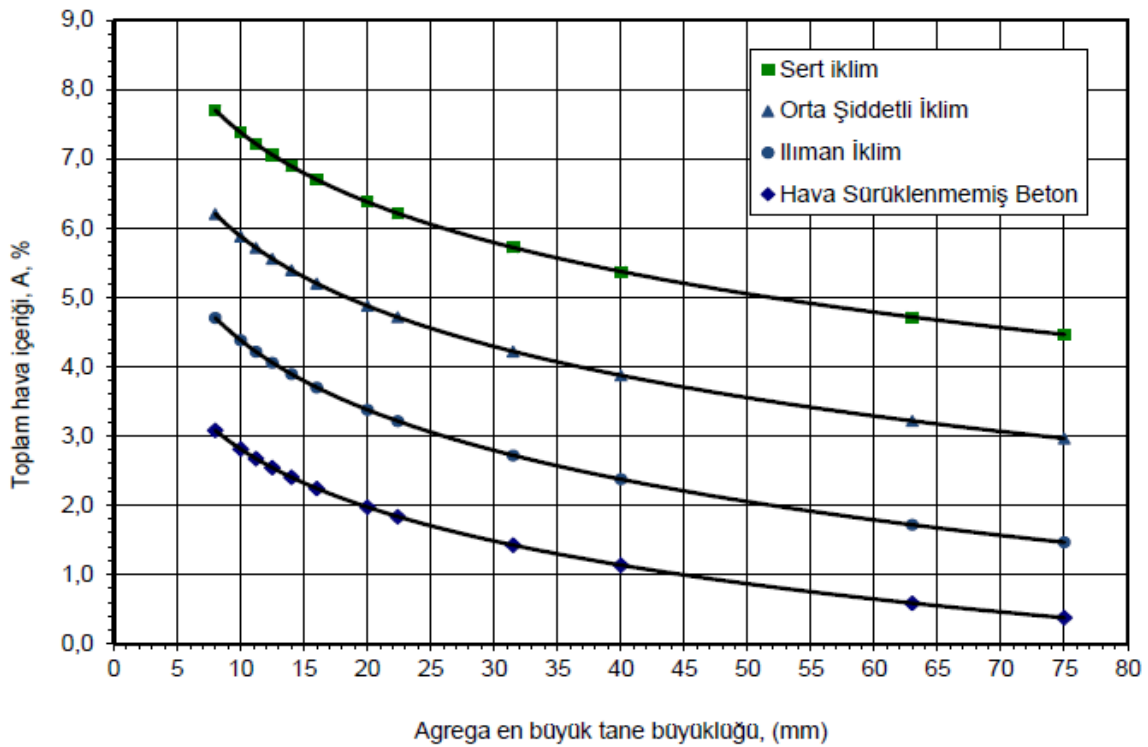


Şekil.12 Kırmataş agregası kullanılan farklı en büyük agregası tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerlerine sahip kimyasal katkısız ve hava sürüklenmiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarları

11. Hava İçeriğinin Seçilmesi

Beton karışımlarında önemli etkenlerden biri beton içindeki hava miktarıdır. Bu miktar normal betonda yaklaşık %0,3- %3 civarındadır.

Betonun toplam hava içeriği, iklim şartlarına ve agrega en büyük tane büyüklüğüne uygun olarak seçilmelidir (**Şekil.13**). Hava sürüklenmiş betonlarda sürüklenmiş olan hava boşluklarının çimento pastası içinde homojen dağılımının sağlanıp sağlanmadığının kontrolü için sertleşmiş betonda hava boşluk özellikleri TS EN 480-11 standardına göre tayin edilmeli ve donma ve çözülme etkilerine karşı dayanıklı beton için gerekli kriterler sağlanmalıdır.



Şekil.13 Agreganın en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesaplarında kullanılacak toplam hava içerikleri

12. Kıvamın Seçimi

Kıvam, karışım suyu nedeniyle taze betonun kazandığı akıcılığın ölçüsüdür.

Tane dağılımı iyi seçilmiş taze betona belirli bir kıvam kazandıracak su miktarı, bu dağılımın oranları değişmemesine rağmen, agreganın yapısına bağlı olarak değişebilir. Çok köşeli ve gevşek yapıli agregaların su ihtiyacı daha fazladır.

En büyük tane büyüklüğü arttıkça su ihtiyacı azalır. Karışıma hava katılması ve bazı katkıları da su ihtiyacını azaltır.

Eğer kıvam belirtilmemişse, işin cinsine göre uygun çökme değeri **Tablo.14**'den seçilebilir.

Tablo.14 Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme (slamp) değeri

Yapı Elemanı	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

Kendiliğinden yerleşen beton ve çok yüksek akışkan betonlar hariç, beton kıvamı TS EN 12350-2'ye göre belirlenmeli ve uygun döküm şartları ve homojen bir yapı oluşmasını sağlayacak en düşük değerde olmalıdır.

Genellikle taze beton için çökme değeri projede betonun döküleceği inşaat tekniğine ve yapı tipine göre önceden belirlenmektedir. Ancak, betonun yerleştirilme şartlarına göre kıvam gerektiğinde artırılabilir veya azaltılabilir.



Beton, hazır beton olarak bir tesiste pompa ile iletilerek dökülecek ve yerleştirilecekse daha yüksek kıvam değeri, pompa ile iletilen beton için Madde.6'da verilen agrega granülometri eğrilerinden yararlanılarak belirlenmelidir.

Taze Betonun Kıvamı **Tablo.15**'de belirtilen kıvam sınıflarından birisine göre tayin edilmekte ve değerlendirilmektedir.

Tablo.15 Taze Beton Kıvam Sınıfları

Çökme Sınıfları (TS EN 12350-2)		Vebe Sınıfları (TS EN 12350-3)		Sıkıştırılabilme Sınıfları (TS EN 12350-4)		Yayılma Sınıfları (TS EN 12350-5)	
Sınıf	Çökme (mm)	Sınıf	Vebe Süresi (sn)	Sınıf	Sıkıştırılabilme Derecesi	Sınıf	Yayılma Çapı (mm)
S1	10 – 40 (± 10)	V0	≥ 31 (± 3)	C0	≥ 1,46 (± 0,10)	F1	≤ 340 (± 30)
S2	50 – 90 (± 20)	V1	21- 30 (± 3)	C1	1,26 - 1,45 (± 0,10)	F2	350 – 410 (± 30)
S3	100 – 150 (± 30)	V2	11 – 20 (± 3)	C2	1,11 - 1,25 (± 0,08)	F3	420 – 480 (± 30)
S4	160 – 210 (± 30)	V3	6 – 10 (± 2)	C3	1,04 - 1,10 (± 0,05)	F4	490 – 550 (± 30)
S5	≥ 220 (± 30)	V4	3 – 5 (± 1)			F5	560 – 620 (± 30)
						F6	≥ 630 (± 30)

13. Beton Karışım Hesabının Yapılması

1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak karışım elemanlarının miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. Betonda kimyasal katkı kullanıldığı durumlarda, katkının yaklaşık yarısının su olduğu kabulü dikkate alınmalıdır. Bu nedenle katkı miktarının yarısı kadar bir su miktarının toplam karışım suyundan çıkarılması gerekmektedir.

Beton karışım oranlarının tayini hacim esasına göre yapılmalıdır.

$$\frac{\zeta}{\rho_{\zeta}} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + w + \frac{W_a}{\rho_a} + 10 \times A = 1000 \text{ dm}^3$$

Burada;

- ζ : Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg) ,
- p : Karışımında çimentoya ilâve olarak kullanılacak mineral katkı (puzolan) miktarı (kg) ,
- k : Karışımında kullanılacak kimyasal katkı miktarı (kg) ,
- ρ_{ζ} : Çimentonun yoğunluğu (kg/dm³) ,
- ρ_p : Mineral katkı (puzolan) malzemenin yoğunluğu (kg/dm³) ,
- ρ_k : Kimyasal katkının yoğunluğu (kg/dm³) ,
- w : Karışıma girecek suyun hacmi (dm³) ,
- W_a : Karışıma girecek agreganın miktarı (kg) ,
- ρ_a : Agreganın ortalama özgül kütlesi (g/cm³) veya (kg/dm³) ,
- A : Betondaki toplam hava miktarı (%)

Çimento Miktarı ve Yoğunluğunun Bulunması

Madde.10'daki su miktarı ile **Madde.9**'dan alınan Su / Çimento oranı yardımıyla çimento miktarı aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$\zeta = \frac{s}{(s/\zeta)}$$

- ζ : Karışıma girecek çimento kütlesi (kg) ,
- s : Karışıma girecek su kütlesi (kg) ,
- s/ζ : Su/çimento oranı

Bunun dışında çimento miktarı başlangıçta tecrübe ile belirlenen tahmini bir değer olarak da seçilebilir.

Madde.10'da verilen grafiklerden bulunan su miktarından daha fazla su gerekirse çimento miktarı, s/ç oranı korunacak şekilde artırılabilir. Daha az su gerektiği tespit edilirse, çimento miktarı uygun miktarda azaltılmalıdır. Bu azaltma hiçbir durumda betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini etkilemeyecek miktarda yapılmalı ve gerekli en az çimento

miktarından daha az olmamalıdır. Kimyasal katkıları kullanılması durumunda s/ç oranı korunmak şartıyla, kimyasal katkının tipine bağlı olarak bir miktar su azaltılması yapılabilir. Çimento yoğunluğu için alınacak değerler **Tablo.16**'dan yaklaşık olarak bulunabilir.

Tablo.16 Farklı çimento tipleri için yaklaşık yoğunluk değerleri

Çimento Tipi	Özgül Kütle
CEM I 42,5N ve CEM I 42,5R	3,10 / 3,15
CEM II/A 42,5R, CEM II/B 42,5R	3,00
CEM III/A, CEM III/B	2,95
CEM IV, CEM V	2,85

Toplam Agregal Hacminin ve Miktarının Bulunması

Karışımında çimento, su, kimyasal ve mineral katkıları ve havadan arta kalan hacim agregal ile doldurulacaktır.

V_a agregal hacmi olmak üzere Madde.13'de verilen bağıntı,

$$V_a = \frac{W_a}{\rho_a} = 1000 - \left(\frac{c}{\rho_c} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + s + A \right) (dm^3) \text{ şeklinde ifade edilirse,}$$

bağıntının sağ tarafındaki;

$\frac{c}{\rho_c}, \frac{p}{\rho_p}, \frac{k}{\rho_k}, s$ ve A değerleri sıra ile Madde 13'e uygun olarak bulunmuş olduğundan sol taraftaki $V_a = \frac{W_a}{\rho_a}$ değeri (agreganın hacmi) hesapla bulunur.

1 m³ betonda kullanılacak toplam agreganın kütlece hesaplanabilmesi için her tane sınıfı agregaya ait özgül kütle ρ_a 'nın tayin edilmiş olması gereklidir.

Agrega en büyük tane büyüklüğüne göre belirlenen tane sınıfları, uygun tane dağılımından bulunan agregal sınıflarına ait karışım oranları ve özgül kütleler (bağıl yoğunluk) tespit edildiğinde, agregalara ait ağırlıklı ortalama özgül kütle aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.



$$\bar{\rho}_a = \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_{a1}} + \frac{x_2}{\rho_{a2}} + \frac{x_3}{\rho_{a3}} + \dots + \frac{x_n}{\rho_{an}}}$$

Burada,

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ değerleri kütlece agregaya karışım oranlarını ve $\rho_{a1}, \rho_{a2}, \rho_{a3}, \dots, \rho_{an}$ agregaya özgül kütle veya bağıl yoğunluk değerlerini göstermektedir.

$\bar{\rho}_a$ değeri, agregalara ait ağırlıklı ortalama bağıl yoğunluk değerini verir ve bu değer bulunduğundan sonra toplam agregaya kütlesi hesap edilmelidir.

$$M_a = V_a \times \bar{\rho}_a$$

Burada, M_a 1 m³ beton karışımına giren agregaya ait toplam kütleyi verir ve her agregaya tane sınıfına ait kütleler,

(M_1, M_2, M_3 ve $\dots, M_n$), agregaya karışım oranları (x_1, x_2, x_3 ve $\dots, x_n$) ile çarpılarak belirlenmiş olacaktır.

Agregalarda Rutubet Düzeltmesinin Yapılması

Agregalara ait kullanılan referans özgül kütle değerleri yaygın olarak doymuş kuru yüzey (DKY) olarak belirlendiğinden, bulunan agregaya miktarları da DKY değerleri olmaktadır. Agregalar beton karışımları yapılırken genellikle doymuş kuru yüzey (DKY) durumunda değildir ve rutubet durumlarının sürekli olarak belirli aralıklarla kontrol edilmesi ve belirlenmesi gereklidir. Agregalara ait rutubetler (R) ve su emme (S_e) değerlerine göre rutubet düzeltmesi aşağıda verildiği gibi yapılmalıdır.

$$S_e - R = \dots\dots\dots \text{'den çıkan sonuç}$$

Burada S_e belirli bir sınıfı ait agreganın su emme değerini ve R ise aynı sınıfa ait agreganın o andaki toplam rutubet durumunu gösterir. Bu değerlerin arasındaki fark aşağıdaki gibi değerlendirilir;

(+) ise malzeme “Hava Kuru”

(-) ise malzeme “Islak”

(0) ise malzeme Doymuş Yüzeyi Kuru “DYK” durumundadır.

Buradan elde edilen sonuçlarla;

Karışım suyu düzeltme işlemi ve düzeltilmiş su miktarı:

$$w_1 = w_0 + \sum_{i=1}^n M_{ai}(DKY) \times \left(\frac{S_e - R}{100} \right)_i$$

Her agregası sınıfı için agregası rutubet düzeltme işlemi ve düzeltilmiş agregası miktarları:

$$M_{ai} = M_{ai}(DKY) - M_{ai}(DKY) \times \left(\frac{S_e - R}{100} \right)_i$$

Bağıntıları ile hesaplanır.

Burada;

W_1, W_0 : Karışımına giren düzeltme öncesi ve düzeltme sonrasındaki su miktarları, kg/m^3 ,

M_{ai} : Su düzeltilmesi yapılmış agregası sınıfına ait kütle kg/m^3 ,

$M_{ai}(DKY)$: Agregalara ait Doygun Kuru Yüzey (DKY) kütle değerleri kg/m^3 ,

S_e : Agregaların su emme % si,

R : Agregaların toplam rutubet % sidir.

Betonda kullanılan bazı kayası cinslerine bağlı olarak agregası özgül kütle değerleri deneysel olarak yapılmamışsa **Tablo.17**'de verilen yaklaşık değerler kullanılabilir.

Tablo.17 Doygun kuru yüzey halde bulunan bazı agregası cinsleri için hesaplama işlemlerinde aşağıdaki yoğunluklar kullanılabilir.

İnce agregası (0-4)mm	
Kayaşı Cinsi	Yoğunluğu (kg/dm^3)
Kuvars Kumu	2,64
Yoğun Kalker Kumu	2,70
İri Agregası (>4)mm	
Granit	2,62
Gnays	2,67
Kalker	2,70
Porfir, Diabaz	2,85
Diyorit	2,90

14. Laboratuvarıda Beton Karışım Dizaynı Hazırlanması

- Karışım dizaynından önce beton imalatında kullanılacak gerekli tüm malzemelerin (Çimento, Agregası, Kimyasal ve Mineral Katkıları ve varsa diğer malzemeler) yeterli miktarda laboratuvarıda hazır bulundurulmalıdır. Sadece bir beton sınıfının dizaynı için gerekli minimum malzeme miktarları **Tablo.18**'de verilmektedir.

Tablo.18 Beton karışımı için gerekli en az malzeme miktarları

Malzeme	Miktar, kg
İnce Agregası 1	250
İnce Agregası 2 (Varsa)	250
İri Agregası 1	200
İri Agregası 2	200
İri Agregası 3 (Varsa)	200
Çimento	150
Karışım Suyu	50
Kimyasal Katkı	2
Mineral Katkı	100
Hava Sürükleyici Kimyasal Katkı (Varsa)	1
Not: Yukarıda verilen miktarlar sadece 7 ve 28 günlük küp veya silindır şekilli numunelerin basınç dayanımlarını belirlemek için yeterlidir. Durabilite ile ilgili (permeabilite ve donma-çözülme v.b.) deneyler yapılması gerektiğinde bu miktarlar kimyasal katkıları hariç 2 ile çarpılmalıdır.	

- Hazırlanacak beton karışım dizaynı için gerekli olan bilgilerin yer aldığı beton karışım hesap bilgi formu ile agregası bilgi formu Şekil.14 ve 15'de verilmektedir.
- Dizayn hesaplamalarında kullanılan malzemeler ile ilgili gerekli fiziksel ve kimyasal deneylerin yapılması ikinci aşamadır. Özellikle agregaların elek analizi, ince malzeme miktarı yoğunluk ve su emme değerleri ile çimento ile birlikte kimyasal ve mineral katkıları yoğunlukları belirlenmelidir.
- Beton sınıfı ve betonun döküleceği ortam ve çevre etki şartları belirlenmelidir. Beton sınıfı belirlenmiş ise **Tablo.1.**'den yararlanılarak ortam ve çevre şartları tespit edilmelidir. Betonun en az çimento dozajı, en az beton dayanım sınıfı, en fazla su/çimento oranı ve en az hava içeriği ilgili çevre şartlarına bağılı olarak belirlenmelidir.

Şekil.14 Beton Karışım Hesap Bilgi Formu

BETON KARIŞIM HESABI BİLGİ FORMU									
İşveren :									
Proje Adı :									
Şantiye ve / veya proje kesimi :									
Yüklenici :									
Betonun Kullanılacağı yapı veya yapı elemanının özellikleri :									
Adı :									
En dar donatı aralığı (mm) :									
Kalıp Derinliği (mm) :									
En dar kalıp boyutu (mm) :									
Pas payı (mm) :									
Betonda aranan 28 günlük karakteristik özellikler :									
Karakteristik basınç dayanımı (f _{ck}) :				Mpa					
Karakteristik çekme dayanımı :		Eğilmede		Mpa					
		Yarmada		Mpa					
		Direkt :		Mpa					
Standart numune türü ve boyutları :									
Standart Sapma :				Mpa					
Şantiye marjı (rf)				Mpa					
Kabul edilebilir kusurlu numune % si				%					
Beton Kıvamı :									
Slump konisi :		cm		VE - BE :		sn			
Sıkıştırma Fak.									
Diğer (Belirtiniz)									
Malzeme ölçümü :		Ağırlık :		☐		Hacim :		☐	
						Diğer :		☐	
Sıkıştırma Tekniği :									
Yük. Frekanslı daldırma tip vibratör		☐		Vibratörsüz :		☐			
Yük. Frekanslı satih vibratörü		☐		Şişleme ile :		☐			
Normal frekanslı daldırma tip vibratör		☐		Sıkıştırma Fak.		☐			
Normal frekanslı satih vibratörü		☐							
Yerleştirme Tekniği :									
Pompa :		☐		Tremi :		☐		Oluk :	
								Diğer :	
Transmikser :		☐		Kamyon :		☐		Diğer :	
Beton Üretim Tekniği :									
Rutubet kontrollü beton santrali		☐							
Rutubet kontrolsüz beton santrali		☐							
Betoniyer		☐							
Diğer		☐							
Rutubet düzeltmesi yapılıyor mu ?		Evet		☐		Hayır		☐	
En iri agregat boyutu (D _{max}) :				mm					
Kür (bakım) metodu ve / veya kür maddesi ve özellikleri :									
Katkı cinsi , özelliği , standardı , kullanım % si , priz süresi :									
Kullanılacak Çimento :									
Cinsi :		Standardı :		Fabrikası :					
Miktarı :		En az :		kg / m ³		En çok :		kg / m ³	
İstenilen Deneyler :									
Agrega :									
1. Çakıl :		mm		1. Kum		mm		Agrega Orijini :	
2. Çakıl :		mm		2. Kum		mm		Kum : Tabii ☐ Kıрма ☐	
3. Çakıl :		mm		3. Kum		mm		Çakıl : Tabii ☐ Kıрма ☐	
İstenilen Deneyler :									
Yukarıdaki Bilgileri Veren Kişinin									
Adı Soyadı :				Görevi :					
Adresi :				İmza :					

**Şekil.15** Agregat Bilgi Formu

AGREGA BİLGİ FORMU					
KGM Bölge No :					
Ocak Adı :					
Yeri (İl / İlçe / Köy)					
İşleten Firma					
Testi İsteyen :					
Ocak Yeri Haritada İşaretilimi	Evet	☐	Hayır	☐	
Kullanılacağı Proje Adı :					
Miktarı :		Kg			
İnce Agregat	☐	Kaba Agregat	☐		
Malzeme Cinsi :	Tabii :	☐	Kırma :	☐	
Numuneyi Alan Kişinin :					
Adı Soyadı :					
Ünvanı :					
Kurumu :					
Yukarıdaki Bilgileri Veren Kişinin					
Adı Soyadı :		Görevi :			
Adresi :					
				İmza :	

- Betonarme hesaplamalarında daha önceden belirlenmiş olan beton dayanım sınıfı ortam ve çevre şartlarına bağlı olarak değiştirilebilir. Bu gibi durumlarda durabilite kriterleri öncelikli düşünülmeli ve buna göre belirlenen beton sınıfına geçilmelidir.
- Dayanım Sınıfı belirlendikten sonra dizayn sırasında kullanılacak numune şekline bağlı olarak (küp veya silindir) betonun 28 günlük hedef dayanım değeri **Tablo.12**'den belirlenmelidir.
- Çevre etki şartlarına bağlı olarak dizaynda kullanılacak çimento tipinin belirlenmesi için **Madde.5** 'den yararlanılmalıdır.



- Elek analizi sonuçları **Madde.6**'da gösterildiği gibi uygun karışım oranları belirlenir. Agreganın uygun karışım oranlarının belirlenmesi elle hesaplanarak ya da hazır bilgisayar programları ile belirlendikten sonra ilgili granülometri eğrisi sınırları içinde kalacak şekilde ayarlanır.
- Uygun agrega karışım oranlarının belirlenmesinin ardından malzemelerin yoğunlukları kullanılarak **Madde.13**'e göre DKY durumunda Beton Karışım Oranları belirlenir.
- Beton karışım dizaynlarının yapılması için farklı çimento dozajlarında çalışma yapılması gerekmektedir. Bu sebeple ilk olarak en az çimento dozajından başlanmalı ve belirli miktarda artışlarla en az 3 farklı dozajda karışım oranları belirlenmelidir. Her çimento dozajında döküm yapılarak 7 ve 28 günlük basınç dayanımı ve gerektiğinde diğer deneyler için numune alınmalıdır.
- Beton dökümünde taze beton nitelikleri belirlenmelidir. Betonun döküm ve yerleştirme koşullarına bağlı olarak işlenebilirlik, çökme ve hava içeriği değerleri önceden belirlenmelidir.
- Beton dizaynında 25 dm³'lük ön dökümler yapılmalı ve slump ve hava içeriği ayarlanmalıdır.
- Çökme değeri olabilecek en az değerde belirlenmelidir. Pompa ile dökülecekse betonun çökme değeri genellikle S3 sınıfında seçilmelidir. Bu değer betonun taşıma mesafesine bağlı olarak daha büyük değerde ayarlanabilir.
- Deneme dökümünde betonun çökme ve hava içeriği durumuna göre gerektiğinde karışıma su ilâve edilmeli veya azaltılmalıdır. Hava içeriği miktarının ayarlanması amacıyla gerektiğinde hava sürükleyici katkı oranı yeniden değiştirilmelidir. Betonun hava içeriği, çökme değerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir, bu sebeple çökme ve hava içeriği beraber ayarlanmalıdır.
- Betonun durabilite ile ilgili deneylerin yapılması gerekiyorsa malzeme miktarları revize edilmeli ve deneyler sonunda alınacak numune şekli ve sayısı ile orantılı olarak artırılmalıdır.



- Alınan numuneler laboratuvar ortamında 7 ve 28 günlük küründen sonra hedef dayanım değeri 3 numunenin ortalaması olarak elde edilmelidir.
- Elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımı ile durabilite deney sonuçları hedef dayanım kriterlerinin hepsini birden sağlaması gerekmektedir.
- Yapılan dizayn çalışmalarında belirlenen çimento dozajında, istenilen taze beton özelliklerini sağlayabilen karışım suyu miktarı ve kimyasal ve mineral katkıların oranları belirlenerek karışım tasarımı tamamlanmış olacaktır.



15. Örnek Beton Karışım Hesabı

C30/37 Beton Dayanım Sınıfında, orta derecede rutubetli veya döngülü ıslak ve kuru çevre etkilerine maruz kalabilecek donatılı bir perde için, su azaltıcı kimyasal katkı kullanarak beton karışım hesabının yapılması istenmekte olup betonun yapılacağı şantiyenin çalışma şartları bilinmemektedir. (Beton S2 Kivam sınıfında ve kalıp en dar boyutu 25 cm, donatı pas payı 35 mm'dir.)

Kullanılacak Malzemeler:

Çimento

CEM II/B 42,5R ($\rho_c = 3,00 \text{ kg/dm}^3$)

Agrega (kırmataş agregası)

Su emme:

İri çakıl için: %0,4,

İnce çakıl için: %0,8,

İnce agregası için: %1,6 olarak tespit edilmiştir.

Doğal rutubetler:

İri çakıl için %1,1

İnce çakıl için %1,2

İnce agregası için %3,4 olarak tespit edilmiştir.

Yoğunluk:

İri ve ince çakıl için $2,78 \text{ kg/dm}^3$,

İnce agregası için $2,65 \text{ kg/dm}^3$ (doğru kuru yüzey hali) olarak tespit edilmiştir.

Hesaplama:

Agrega en büyük tane büyüklüğü

Kullanılacak agreganın en büyük tane büyüklüğü, **Tablo.5**'in 2. satırının 1. sütunundan anma büyüklüğü 32 mm olarak tespit edilmektedir.



Bu tane büyüklüğünün, kolonda pas payı için bırakılan 35 mm'den küçük olduğu için de uygun seçim olduğu anlaşılır.

Tane sınıflarına ayırma

Yapılacak betonun sınıfı C30/37 olduğu için agregayı **Tablo.6**'ya uygun olarak en az 3 tane sınıfına ayırmak gereklidir.

Agrega tane şekli her tane sınıfı için yaklaşık aynı olduğu daha önce belirlenmiş olduğu için 0/4, 4/16, 16/32 olarak üç tane sınıfına ayırmak yeterlidir.

Tane büyüklüğü dağılımı (granülometri) seçimi

Ocaktan alınan agreganın 38 veya 40 mm'lik elekten elenmek suretiyle en büyük agreganın tane büyüklüğü 31,5 mm olarak belirlenmektedir.

En büyük tane büyüklüğü 31,5 mm olan agreganın ile yapılacak olan pompalanmaya uygun beton için 31,5 mm için önerilen en ideal tane büyüklüğü dağılımının kullanılması seçilmiş ve bu eğri **Şekil.6**'da verilmiştir.

Şekil.5'de ise ince agreganın için pompa ile iletmeye uygun ideal tane dağılım eğrisine uyacak şekilde ince agreganın oranı belirlenmelidir.

Bu şekilde belirlenen agreganın karışım oranları kırmızı çizgi halinde **Şekil.16**'da gösterilmektedir.

Agrega karışım oranları;

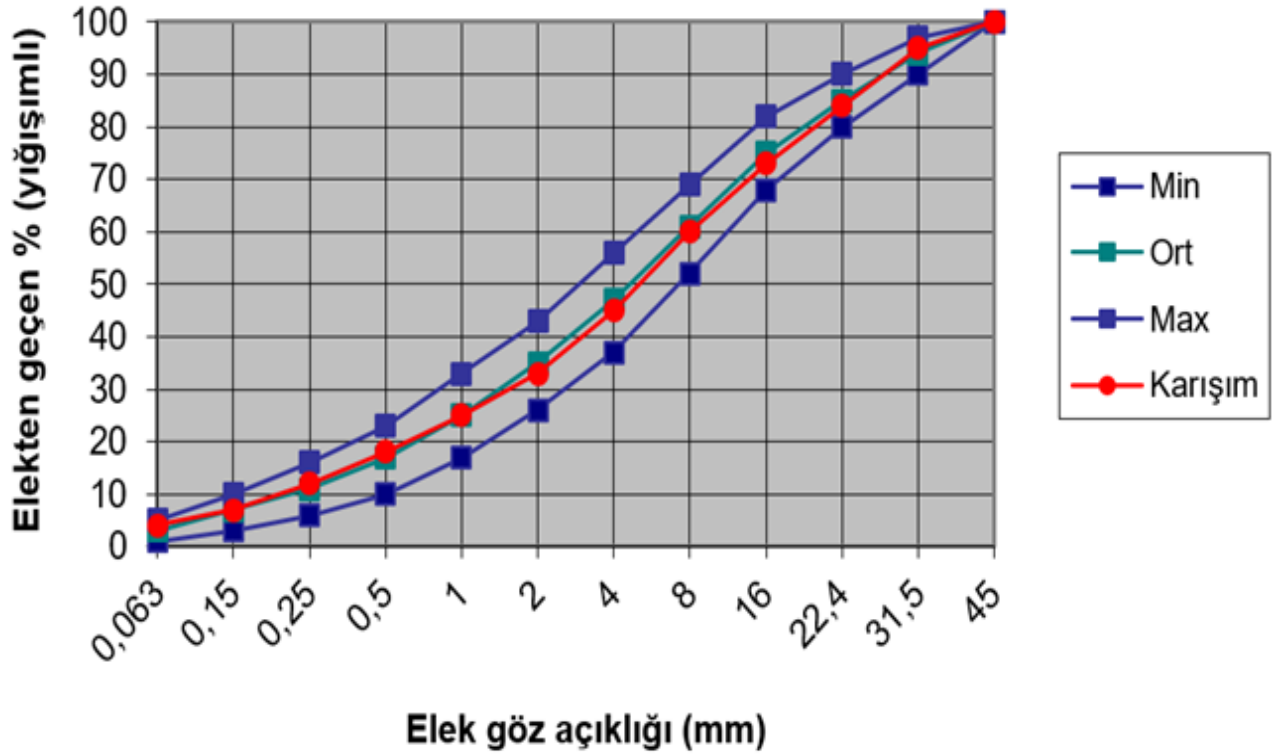
İnce agreganın yüzdesi olarak da %45

İnce çakıl yüzdesi olarak %25

İri çakıl yüzdesi olarak %30,

şeklinde belirlenmiştir.

Den büyük: 31,5 mm Gradasyon Eğrisi



Şekil.16 Örnekte kullanılan agreganın Şekil.6'da verilen pompa ile iletilen betonda kullanılmaya uygun tane dağılım eğrisi. Betonda kullanılan agreganın tane dağılımı kesikli çizgi ile gösterilmiş olup bu eğri için belirlenen oranlar grafik üzerinde verilmiştir.

Su/çimento oranı

Yapı orta derecede rutubetli veya döngülü ıslak ve kuru şartlara maruz kalacağı bilindiğinden çevre etki sınıfı **Tablo.1**'e göre bakıldığında XC4 olarak belirlenmiş ve,

Tablo.2'den:

su/çimento oranı en fazla 0,50,
çimento dozajı en az 300 kg/m³
olduğu tespit edilir.

Tablo.12'den C30/37 sınıfı betonun laboratuvarında hedef dayanımının

Silindir için ortalama: 36 MPa

Küp için ortalama: 43 MPa olduğu görülmektedir.



Bu beton sınıfı için 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımının (f_{ck}), 30 MPa olduğu ve örneğimizde, standard sapmanın bilinmediği kabul edildiğine göre, karışım hesabına temel alınacak ortalama hedef basınç dayanımı (f_{cm}) **Tablo.12**'den 36 MPa olarak bulunur.

Şekil.8'den silindir hedef dayanımı olan 36 MPa dayanım için hava sürüklenmemiş betonun s/ç oranının yaklaşık 0,48 olduğu tespit edilmektedir.

Su/çimento oranının bu değeri **Tablo.2**'den elde edilen en fazla 0,50 değerinden küçük olduğu için hesap değeri olarak s/ç= 0,48 seçilmelidir.

Katkı Oranı ve Çökme değeri

Çökme değeri S2 kıvamında (**Tablo.15**) (50 cm ilâ 90 mm) 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

Karışım suyu miktarı agreganın kırmataş olması nedeniyle **Şekil.11**'den hava sürüklenmemiş betonlar için 210 kg/m³ olarak belirlenir.

Ancak yüksek oranda su azaltıcı bir süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılacağı için, ilk tahmin olarak %15-20 civarında su azaltması yapılabileceği kabul edildiği takdirde;

su miktarı yaklaşık 175 kg/m³ olur.

Hava muhtevası

Hava miktarı, **Şekil.13**'den Orta şiddetli iklim koşulları için ortalama %4,0 olarak belirlenmiştir.



Çimento miktarı:

Su miktarı 175 kg/m³

s/ç oranı en az 0,48 olduğundan bu durumda çimento miktarı;

$$\text{ç} = \frac{s}{(s/\text{ç})} = \frac{175}{0,48} = 365 \text{ kg/m}^3 \text{ olarak tespit edilmektedir.}$$

Çimento Hacmi:

1 m³ betonda bulunacak çimento hacmi

$$\frac{365}{3,00} = 121,7 \text{ dm}^3 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kimyasal katkı hacmi:

Toplam çimento dozajı 365 kg/m³ olduğuna göre kimyasal katkı miktarı 1 m³ betonda;

Akışkanlaştırıcı katkı miktarı:

$$365 \times 1,5 / 100 = 5,48 \text{ kg}$$

Kimyasal katkının hacmi ise:

$$5,48 / 1,15 = 4,77 \text{ dm}^3$$

Agrega hacmi:

$$V_a = \frac{W_a}{\rho_a} = 1000 - \left(\frac{\text{ç}}{\rho_{\text{ç}}} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + s + A \right) (\text{dm}^3) \text{bağıntısı kullanılarak;}$$

$$V_a = \frac{W_a}{\rho_a} = 1000 - \left(\frac{365}{3,00} + 175 + 4 \times 10 + \frac{5,48}{1,15} \right) = 658,5 (\text{dm}^3) \text{ olarak hesaplanır.}$$

Agreganın ortalama özgül kütlesi, $\overline{\rho}_a$, (DKY)

$$\overline{\rho}_a = \frac{1}{\frac{x_1}{\rho_{a1}} + \frac{x_2}{\rho_{a2}} + \frac{x_3}{\rho_{a3}} + \dots + \frac{x_n}{\rho_{an}}} \text{ bağıntısı kullanılarak;}$$

$$\overline{\rho}_a = \frac{1}{\frac{0,45}{2,65} + \frac{0,25}{2,78} + \frac{0,30}{2,78}} = 2,720 \text{ kg/dm}^3 \text{ olarak hesaplanır.}$$

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

1 m³ beton içine girecek agrega miktarları;

$$M_a = W_a \times \overline{\rho}_a = 658,5 \times 2,720 = 1791,1 \text{ kg}$$

$$\text{İnce agrega (0/4) mm } M_{(0/4)}DKY = 1791,1 \times 0,45 = 806,0 \text{ kg}$$

$$\text{İnce çakıl (4/16) mm } M_{(4/16)}DKY = 1791,1 \times 0,25 = 447,8 \text{ kg}$$

$$\text{İri çakıl (16/32) mm } M_{(16/32)}DKY = 1791,1 \times 0,30 = 537,3 \text{ kg}$$

olarak hesaplanır.

Agrega ve karışım suyu için rutubet düzeltme işlemi:

Her tane sınıfı için $S_e - R$ hesaplanmalıdır:

$$\text{İnce agrega için, } 1,6 - 3,4 = -1,8$$

$$\text{İnce çakıl için, } 0,8 - 1,2 = -0,4$$

$$\text{İri çakıl için, } 0,4 - 1,1 = -0,7$$

Bütün değerler negatif (-) olduğundan hepsinin ıslak olduğu anlaşılmaktadır.

Bu durumda karışıma girecek su miktarının azaltılması gerekecektir.

$$w_1 = w_0 + \sum_{i=1}^n M_{ai}(DKY) \times \left(\frac{S_e - R}{100} \right)_i$$

$$w_1 = 175 + 806,0 \times \left(\frac{-1,8}{100} \right) + 447,8 \times \left(\frac{-0,4}{100} \right) + 537,3 \times \left(\frac{-0,7}{100} \right) = 154,9 \text{ kg/m}^3$$

Ayrıca kimyasal katkının %50'sinin su olduğu varsayıldığında, bu su miktarından katkının yarısı kadar daha su azaltmak gerekiyor.

Bu durumda nihai su miktarı;

$$W = 154,9 - \frac{5,48}{2} = 152,2 \text{ kg/m}^3 \text{ olur.}$$

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

$$M_{(0/4)} = 806,0 - 806,0 \times \left(\frac{-1,8}{100}\right) = 820,5 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{(4/16)} = 447,8 - 447,8 \times \left(\frac{-0,4}{100}\right) = 449,6 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{(16/32)} = 537,3 - 537,3 \times \left(\frac{-0,7}{100}\right) = 541,1 \text{ kg/m}^3$$

Tablo. 19 Agregalar 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 %	St -R %	Rutubet düzeltmesi yapılmış miktarlar kg/m ³	Karışım suyu düzeltmesi kg/m ³
0/4	45	2,65	806,0	1,60	3,4	-1,8	820,5	-14,5
4/6	25	2,78	447,8	0,80	1,2	-0,4	449,6	-1,8
16/32	30	2,78	537,3	0,40	1,1	-0,7	541,1	-3,8
Toplam:	100	-	1791,1	-	-	-	1811,2	-20,1

Tablo.20'de 1 m³ agrega DKY kütleleri ve 1 m³ su düzeltilmesi yapılmış kütleler ile 25 dm³ deneme dökümü için karışıma girecek malzemelerin miktarları verilmiştir.

Tablo.20 25 dm³ deneme karışımı için hesaplanan miktarlar

Malzemeler	1 m ³ beton için DKY miktarlar kg	1 m ³ beton için düzeltilmiş miktarlar, kg	25 dm ³ için miktarlar, kg
Çimento	365	365	9,1
Su	175	152,2	3,81
Kimyasal Katkı	5,48	5,48	0,137
İnce agrega	806,0	820,5	20,51
İnce çakıl	447,8	449,6	11,24
İri çakıl	537,3	541,1	13,53
Toplam:	2336,6	2333,9	58,33

Deney karışımlarının ayarlanması

Bu hesaplamalar tamamlandıktan sonra laboratuvarı 25 dm³ deneme karışımının yapılması ile istenilen çökme değeri, birim hacim kütle ve hava muhtevası ölçümleri yapılmak suretiyle gerçek karışım oranları TS EN 12350-6 ve 7 standardlarında belirtilen taze beton verimi değeri dikkate alınarak belirlenmelidir.

25 dm³ deneme karışımı yapıldıktan sonra, istenilen çökme değeri için karışıma 200 cm³ su ilave edildiği varsayalım. Bu durumda betonun s/ç oranı değişmiştir.

25 dm³ betonda kıvam sağlanması için 200 cm³ su ilave edildiğinden 1 m³ beton için gerçek DKY su miktarı aşağıdaki gibi düzeltilmelidir;

$$W = (W_0 + \left(\frac{W_d}{1000}\right) \times \left(\frac{1000}{25}\right))$$

$$W = (175 + \left(\frac{200}{1000}\right) \times \left(\frac{1000}{25}\right)) = 183 \text{ L/m}^3$$



DKY durumundaki su miktarı;

$$W = 175 + 8 = 183 \text{ kg/m}^3 \text{ olacaktır,}$$

s/ç oranı 0,48 değerinde sabit kalması gerektiğinden çimento miktarı da artacaktır.

$$C = \frac{183}{0,48} = 381,3 \text{ kg/m}^3 \text{ olacaktır.}$$

Akışkanlaştırıcı katkı miktarı:

$$381,3 \times 1,5 / 100 = 5,72 \text{ kg}$$

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

$$V_a = \frac{W_a}{\bar{\rho}_a} = 1000 - \left(\frac{381,3}{3,00} + 183 + 4 \times 10 + \frac{381,3 \times 0,015}{1,15} \right) = 644,9 \text{ (dm}^3\text{)}$$

Yeni toplam agrega kütlesi:

$$M_a = W_a \times \bar{\rho}_a = 644,9 \times 2,720 = 1754,1 \text{ kg/m}^3 \text{ olacaktır.}$$

$$\text{İnce agrega (0/4) mm } M_{(0/4)}DKY = 1754,1 \times 0,45 = 789,3 \text{ kg}$$

$$\text{İnce çakıl (4/16) mm } M_{(4/16)}DKY = 1754,1 \times 0,25 = 438,5 \text{ kg}$$

$$\text{İri çakıl (16/32) mm } M_{(16/32)}DKY = 1754,1 \times 0,30 = 526,2 \text{ kg}$$

olarak hesaplanır.

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

$$M_{(0/4)} = 789,3 - 789,3 \times \left(\frac{-1,8}{100} \right) = 803,5 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{(4/16)} = 438,5 - 438,5 \times \left(\frac{-0,4}{100} \right) = 440,3 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{(16/32)} = 526,2 - 526,2 \times \left(\frac{-0,7}{100} \right) = 529,9 \text{ kg/m}^3$$

Deneme karışımından sonra yapılan düzeltmeler sonunda 1 m³ betona girecek olan agregâ özellikleri ile karışımâ giren gerçek miktarlar aşağıda **Tablo.21**'de verilmiştir.

Tablo.21 1 m³ beton için malzemelerin yeni miktarları

Tane Sınıfları	Agregâ karışım oranları	Agregâ özgül kütleleri g/dm ³	Agregâ DKY kütleleri kg/m ³	Agregâ su emmeleri %	Agregâ rutubetleri %	St -R %	Rutubet düzeltmesi yapılmış miktarlar kg/m ³	Karışım suyu düzeltmesi kg/m ³
0/4	45	2,65	789,3	1,60	3,4	-1,8	803,5	-14,5
4/6	25	2,78	438,5	0,80	1,2	-0,4	440,3	-1,8
16/32	30	2,78	526,2	0,40	1,1	-0,7	529,9	-3,7
Toplam:	100	-	1754	-	-	-	1773,7	-20,0

Su miktarı hesaplanması:

$$w_1 = 183 + 803,5 \times \left(\frac{-1,8}{100}\right) + 440,3 \times \left(\frac{-0,4}{100}\right) + 529,9 \times \left(\frac{-0,7}{100}\right) = 163,1 \text{ kg/m}^3$$

Son olarak yapılan düzeltmeler sonunda tekrar 25 dm³ deneme dökümü yapılmalı ve karışım oranları ile taze beton özellikleri aşağıda verilen **Tablo.22**'ye göre doğrulanmalıdır.

Doğrulama işlemi tamamlandıktan sonra ise numune alma için en az 25 dm³ beton karışımı hazırlanmalıdır.

Tablo.22 1 m³ beton için DKY miktarlar, rutubet düzeltilmesi yapılmış ve 25 dm³ düzeltilmiş numune alma için beton karışım miktarları

Malzemeler	1 m ³ beton için DKY miktarlar kg	1 m ³ beton için düzeltilmiş miktarlar, kg	25 dm ³ için miktarlar, kg
Çimento	381,3	381,3	9,53
Su	183	163,1	4,078
Kimyasal Katkı	5,72	5,72	0,143
İnce agregası	789,3	803,5	20,09
İnce çakıl	438,5	440,3	11,01
İri çakıl	526,2	529,9	13,25
Toplam:	2324,0	2323,8	58,10



Yararlanılan Kaynaklar

1. *Karayolu Teknik Şartnamesi (2023)*
2. *Karayolları Beton Karışım Oranları Tayin Rehberi (1998)*
3. *TS 802 “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları” (2016)*
3. *TS EN 206 “Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk”, (2021)*
4. *TS 13515, “TS EN 206’nın uygulamasına yönelik tamamlayıcı standard”, (2021)*
5. *TS 500, “Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları”, (2000)*
7. *TS 706 EN 12620, “Beton agregaları”, (2009)*



Karayolları Genel Müdürlüğü
Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı
İnönü Bulvarı No:14 06570 Yücetepe/ANKARA
Tel: 0312 449 90 00
www.kgm.gov.tr / info@kgm.gov.tr