



TÜRKİYE ÇİMENTO MÜSTAHSİLLERİ BİRLİĞİ

ÇİMENTODA STANDARTLAR ve MİNERAL KATKILAR

TÇMB / AR-GE / Y 04.01

Prof. Asım YEĞİNOBALI

Tomris ERTÜN

Nisan 2011, ANKARA

5. BASKI

ISBN 975-8136-23-2

TÇMB / AR-GE ENSTİTÜSÜ

Yerleşim Adresi:

Ankara Teknoloji Geliştirme Bölgesi 1605. Cadde Dilek Binası

Bilkent-Çankaya/ANKARA

Yazışma Adresi:

P.K. 2 Bakanlıklar 06582 ANKARA

Tel: (0312) 444 50 57 • Faks: (0312) 265 09 06

www.tcma.org.tr • info@tcma.org.tr

Kaynak göstermek kaydıyla bu kitaptan alıntı yapılabilir.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|----|
| 1. GİRİŞ | 5 |
| 2. GENEL ÇİMENTOLAR..... | 7 |
| 2.1. Genel Çimento Tipleri Bileşim ve İşaretleme | 7 |
| 2.2. Özellikler ve Uygunluk | 12 |
| 3. ÖZEL ÇİMENTOLAR | 14 |
| 4. ÇİMENTONUN UYGUNLUĞU İÇİN KRİTERLER..... | 16 |
| 5. STANDARDLARDA SINIR GETİRİLEN ÇİMENTO ÖZELLİKLERİ | 20 |
| 6. MİNERAL KATKILAR..... | 24 |
| 6.1. Genel Bir Sınıflandırma..... | 24 |
| 6.2. Mineral Katkılar ve Özellikleri | 25 |
| 6.3. Mineral Katkıların Etkileri | 26 |
| 7. DENEY METODLARI..... | 30 |
| 7.1. TS EN 196 Fiziksel ve Mekanik Deneyler..... | 30 |
| 7.2. TS EN 196 Kimyasal Deneyler..... | 32 |
| 7.3. TS EN 1971'de Yer Alan Özel Deneyler | 35 |
| 8. MUHTELİF ÇEVRESEL ETKİLERE MARUZ BETONLAR İÇİN UYGUN ÇİMENTO TIPLERİ | 36 |
| 8.1. Çeşitli Çevre Etkileri Altında Betonlar İçin Uygun Çimento Tipleri | 38 |
| 8.2. Çeşitli Çevre Etkileri Altında Betonlar İçin Uygun Çimento Tipleri (Üç ana bileşenli CEM-II-M çimentoları için)..... | 40 |
| 8.3. Çeşitli Çevre Etkileri Altında Betonlar İçin Uygun Çimento Tipleri (İki ya da üç ana bileşenli CEM-IV çimentoları ve CEM-V çimentoları için) | 42 |
| 9. BETONDA KULLANILAN MİNERAL KATKILARLA İLGİLİ STANDARDLAR | 44 |
| 10. SONUÇ | 45 |
| 11. KAYNAKLAR..... | 46 |

1. GİRİŞ

TS EN 197 1 "Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri" standardının TSE Teknik Kurulu'nun 11 Mart 2002 tarihli toplantısında kabul edilerek yayınlanmasına karar verilmiştir [1]. Bu yeni standardın yürürlüğe girmesi ile başta en eski ulusal çimento standardı TS 19 olmak üzere mevcut çimento standartlarımızdan 13 tanesi ve portland çimentosu klinkeri standardının geçerlilik süresinin iptal tarihi 2005 yılı sonu olarak belirtilmiştir. TS EN 197-1'de tanımlanan çimentoların özellikleri mevcut TS 24 ve TS 687 standartları [2, 3] yerine yeni kabul edilen TS EN 196 serisi standartlara göre belirlenmektedir [4-10].

Diğer taraftan genel amaçlı olmayıp "özel" olarak tanımlanan Beyaz Çimento (TS 21), Harç Çimentosu (TS 22) ve Sülfatlara Dayanıklı Çimento (TS 10157) ile ilgili mevcut standartlar yürürlükte kalmış olup bunların özelliklerinin belirlenmesinde de mevcut EN 196 serisi deney standartları kullanılmaktadır.

Avrupa ülkelerinin çoğunluğu için geçerli olacak çimento standartlarının hazırlanmasına 1973 yılında Avrupa Standardizasyon Komitesi (CN) 'in teknik komitesi TC 51 tarafından başlanmıştır. Çeşitli Avrupa ülkelerinde çok sayıda çimento türünün yerel standartlara uygun olarak kullanılmakta olduğunu dikkate alan komite, genel çimentolar için hazırladığı EN 197-1'de geniş bir çimento türü yelpazesine yer vermiştir. Sonuç olarak, doğrudan Türk standardı olarak kabul edilen bu Avrupa standardı da mevcut genel amaçlı Türk çimentolarının yerini almıştır.

AB ülkelerinde Yeni Yaklaşım Direktifleri olarak yayınlanarak yürürlüğe giren Yapı Malzemeleri Direktifi kapsamında yer alan ilk harmonize (uyumlaştırılmış) standard olma özelliğini haiz olan "Genel Kullanım Amaçlı Çimentolar" standardı; Türkiye'de TS EN 197-1 olarak yayınlanmıştır.

Aşağıda daha ayrıntılı olarak açıklanacağı gibi yeni standard genel çimento türlerini daha da arttırmakta, yeni bazı kavramlar getirmekte ve mineral

katkıların daha yaygın kullanımına olanak tanımaktadır. Çimentoların bu standarda ve karakteristik değerler olarak verilen sınırlara uygunluğu TS EN 197-2'de açıklanan prosedürlerle belirlenmektedir [11].

Bu kitapçıkta yeni genel çimentolar ve çimentoda kullanılan mineral katkıları hakkında kısaca bilgi verilecek, deney metodları anlatılacak ve çimentoların çevre koşullarına göre kullanım yerlerine değinilecektir.

2. GENEL ÇİMENTOLAR

2.1 Genel Çimento Tipleri, Bileşim ve İşaretleme

TSEN 197-1 - Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri standardı, 89/106/EEC Direktifi (Yapı Malzemeleri Yönetmeliği) kapsamında yayınlanmıştır.

Yeni Genel Çimentolar TS EN 197-1'de "CEM çimentosu" olarak adlandırılırlar. Ayrıca bir klinker standardı olmadığı için, klinkerde aranan özellikler de çimento standardının içine alınmıştır. İlgili tanımlamalar şöyle özetlenebilir:

CEM Çimentosu: Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidrataşyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO₂ toplamının kütlece en az %50 olması gereken çimentodur. Bileşimi portland çimentosu klinkeri, kalsiyum sülfat ve çeşitli mineral katkılardan oluşabilir.

Portland Çimentosu Klinkeri: Kalker ve kil gibi hammaddelerin CaO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₃O₃ gibi oksitlerini içeren, hassas bir orantı ile birleştirilip ince öğütölmüş karışımının (farinin) döner fırında 1400-1500 °C sıcaklıkta sinterlenmesi sonucu elde edilen yaklaşık 1 - 3 cm çapında granüle malzemedir. Kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikat içermeli, CaO/SiO₂ oranıtısı 2,0'den az olmamalıdır. Ayrıca, MgO içeriği en fazla %5 olarak sınırlanmaktadır.

TS EN 197-1 standardı genel amaçlı çimentoları (CEM çimentoları) 5 ana tip içerisinde toplamaktadır:

Ana Tipler:

- CEM I Portland Çimentosu
- CEM II Portland Kompoze Çimento
- CEM III Portland Yüksek Fırın Cüruflu Çimento
- CEM IVPuzolanik Çimento
- CEM V Kompoze Çimento

Bu ana tipler Tablo 2.1’de gösterilen toplam 27 çimento tipini kapsamaktadır. Çimentoların tablodaki bileşimleri ana bileşenler ile minör ilave bileşenlerden oluşmaktadır.

Söz konusu standard AB ülkelerinde 2000 yılında yürürlüğe girmiş olduğundan, 5 yıllık kullanım süresi sonunda; CEN TC/51 Avrupa Standardizasyon Komitesi tarafından tekrar ele alınarak revizyon süreci başlatılmıştır. Bu standarddaki diğer bir yenilik, 2005 yılında yürürlüğe giren “A1” ekidir. Bu ekte “LH” harfleriyle gösterilen Düşük Hidratasyon Isılı Genel Çimentolar tanımlanmıştır.

TS EN 197-1 standardına 2008 yılında yürürlüğe giren A3 ekinde ise uçucu kül ile ilgili yapılmış olan değişiklikler verilmiştir. Buna göre uçucu kül kızdırma kaybı özelliğine göre üç ayrı sınıfta toplanmıştır.

Ana Bileşenler:

Çimento ana bileşenleri: klinker ile TS EN 197-1, Tablo 2.1’de belirtilen ve miktarları kütlece %5’in üzerinde olan ana bileşen mineral katkılarıdır.

Tiplerin ve çimento ana bileşenlerinin belirlenmesinde aşağıdaki semboller kullanılmıştır:

Tip ve Ana Bileşen Sembolleri:

- | | | |
|---|--|---------------------------------|
| A | : Çimentonun en az mineral katkı içeren tipi | |
| B | : Çimentonun A tipinden daha fazla mineral katkı içeren tipi | |
| C | : Çimentonun B tipinden daha fazla mineral katkı içeren tipi | |
| K | : Klinker | S : Granüle yüksek fırın cürufu |
| D | : Silis dumanı | P : Doğal puzolan |
| Q | : Doğal kalsine edilmiş puzolan | V : Silisi uçucu kül |
| W | : Kalkersi uçucu kül | T : Pişmiş şist |
| L | : Kalker (TOC < %0.5) | LL : Kalker (TOC < %0.2) |
| | (TOC: Toplam organik karbon) | |

Yukarıdaki ana bileşenlerin özellikleri standardda verilen ve ilerde değinilecek olan hususlara uygun olmalıdır.

Minör İlave Bileşen:

Her çimento tipine kütlece % 0-5 arasındaki bir minör ilave bileşen katılabilmektedir. Bu madde o çimentoda ana bileşen olarak kullanılmamış bir mineral katkı veya çimento özelliklerini iyileştirecek başka bir inorganik madde olabilmektedir.

Genel çimentoların tipleri ve bileşimleri ile ilgili genel bilgiler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Bileşim Oranları:

- Tablo 2.1'de çimento tipleri için verilen bileşim yüzde değerleri klinker, ana bileşen katkı ve minör ilave bileşen katkıların toplamı esasına göre dir. Yani bunların toplamı 100 olmalıdır. Katılması gereken kalsiyum sülfat 100'e ilave edilecektir.
- Miktarı kütlece %5'i geçen katkılar ana bileşen kabul edilecektir.
- Portland kompoze, puzolanik ve kompoze çimentolarda toplam ana bileşen katkı yüzdesi en az iki değişik katkı maddesi kullanılarak elde edilmelidir.

Dayanım Sınıfları:

Çimentolar için 32.5, 42.5 ve 52.3 olmak üzere 3 dayanım sınıfı belirlenmiştir. Bu değerler TS EN 196-1'e göre tayin edilen ve MPa olarak ifade edilen 28 günlük basınç dayanımları ile ilişkilidir. TS EN 197-1'de karakteristik değerler olarak belirtilmişlerdir.

Ayrıca, her standard dayanım sınıfı için üç erken dayanım sınıfı tanımlanmıştır. Bu amaçla kullanılan sembollerden,

N : Normal erken dayanım sınıfı

R : Yüksek erken dayanım sınıfı

L : Düşük erken dayanım sınıfı

belirtmektedir.

Tablo 2.1 Genel Çimentoların Bileşimleri (kütlece % olarak) [1]

| Ana Tipler | Çimento Tipleri ve işaretleri | | Ana Bileşenler | | | | | | | | | Minör ilave Bileşen | | |
|------------|--------------------------------|------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-------------|---------------|------------------|--------|---------------------|-------|-----|
| | | | Klinker K | Yüksek Fırın Cürufu S | Silis dumanı D | Puzolan | | Uçucu Kül | | Pişmiş Şist T | Kalker | | | |
| | | | | | | Doğal P | Doğal Kalsine Edilmiş Q | Silisi V | Kalkersi W | | L | | LL | |
| CEMI | Portland Çimento | CEMI | 95-100 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| CEM II | Portland Cürüflü Çimento | CEM II/A-S | 80-94 | 6-20 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-S | 65-79 | 21-35 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | Portland Silis Dumanlı Çimento | CEM II/A-D | 90-94 | — | 6-10 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | Portland Puzolanlı Çimento | CEM II/A-P | 80-94 | — | — | 6-20 | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-P | 65-79 | — | — | 21-35 | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/A-Q | 80-94 | — | — | — | 6-20 | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-Q | 65-79 | — | — | — | 21-35 | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | Portland Uçucu Küllü Çimento | CEM II/A-V | 80-94 | — | — | — | — | 6-20 | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-V | 65-79 | — | — | — | — | 21-35 | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/A-W | 80-94 | — | — | — | — | — | 6-20 | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-W | 65-79 | — | — | — | — | — | 21-35 | — | — | — | — | 0-5 |
| | Portland Pişmiş Şistli Çimento | CEM II/A-T | 80-94 | — | — | — | — | — | — | 6-20 | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-T | 65-79 | — | — | — | — | — | — | 21-35 | — | — | — | 0-5 |
| | Portland Kalkerli Çimento | CEM II/A-L | 80-94 | — | — | — | — | — | — | — | — | 6-20 | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-L | 65-79 | — | — | — | — | — | — | — | — | 21-35 | — | 0-5 |
| | | CEM II/A-LL | 80-94 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 6-20 | 0-5 |
| | | CEM II/B-LL | 65-79 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 21-35 | 0-5 |
| | Portland Kompoze Çimento | CEM II/A-M | 80-94 | ◀-----6-20-----▶ | | | | | | | | | 0-5 | |
| | | CEM II/B-M | 65-79 | ◀-----21-35-----▶ | | | | | | | | | 0-5 | |
| | CEM III | Yüksek Fırın Cürüflü Çimento | CEM III/A | 35-64 | 36-65 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| CEM III/B | | | 20-34 | 66-80 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| CEM III/C | | | 5-19 | 81-95 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| CEM IV | Puzolanlı Çimento | CEM IV/A | 65-89 | — | ◀-----11-35-----▶ | | | | — | — | — | — | 0-5 | |
| | | CEM IV/B | 45-64 | — | ◀-----36-55-----▶ | | | | — | — | — | — | 0-5 | |
| CEM V | Kompoze Çimento | CEM V/A | 40-64 | 18-30 | — | ◀-----18-30-----▶ | | — | — | — | — | — | 0-5 | |
| | | CEM V/B | 20-38 | 31-50 | — | ◀-----31-50-----▶ | | — | — | — | — | — | 0-5 | |

Standard İşaretleme:

Genel çimentolar Standard numarasını ve Tablo 2.14deki ifadelerine dayanım sınıflarını ilave ederek tanımlanırlar. Ayrıca CEM II/A-M II/B-M, IV/A, VI/B, V/A ve V/B çimentolarında klinkerin yanındaki diğer anabileşenlerin sembolleri de parantez içinde yazılmalıdır. Bazı örnekler aşağıda verilmiştir:

- Dayanım sınıfı 32.5 olan, yüksek erken dayanımlı portland çimentosu:

TS EN 197 - 1 - CEM I 32,5 R

- Toplam olarak kütlece % 66-80 arasında granüle yüksek fırın cürufu içeren, dayanım sınıfı 32,5 olan yüksek fırın cürüflü çimento:

TS EN 197 - 1 - CEM III / B 32,5 N

- Toplam olarak kütlece % 6 - 20 arasında tras (doğal puzolan) içeren, dayanım sınıfı 42.5 olan, normal erken dayanımlı portland puzolanlı çimento:

TS EN 197 - 1 CEM II / A - P 42,5

- Toplam olarak kütlece % 31-50 arasında granüle yüksek fırın cürufu ve % 31-50 arasında silissi uçucu kül içeren, 32.5 dayanım sınıfında kompoze çimento:

TS EN 197 - 1 - CEM V/B (S - V) 32.5 N

- Toplam olarak kütlece %6-20 arasında granüle yüksek fırın cürufu, silissi uçucu kül ve kalker (TOC miktarı %0,2'den az) içeren 32.5 dayanım sınıfında, yüksek erken dayanımlı portland kompoze çimento:

TS EN 197 - 1 - CEM II/A (S - V - LL) 32.5 R

- Toplam olarak kütlece %66 - %80 arasında Granüle Yüksek Fırın Cürufu içeren, normal erken dayanımlı ve düşük hidrasyon ısı, dayanım sınıfı 32,5 olan Cürüflü Çimento:

TS EN 197 - 1 - CEM III/B 32,5 N - LH

2.2 Özellikler ve Uygunluk

Mekanik ve Fiziksel Özellikler

TS EN 197-1 çimentoları için öngörülen mekanik ve fiziksel özellikler Tablo 2.2’de “karakteristik” değerler olarak gösterilmiştir. Ayrıca 1997’den önceki çimento standartlarında yer alan tane inceliği ve priz bitiş süreleri ile ilgili sınırlamalar kalkmış bulunmaktadır. İlaveten, 32.5 ve 42.5 dayanım sınıflarında 28 günlük dayanımlar için üst sınır belirtilmektedir.

Tablo 2.2 Gerekli Mekanik ve Fiziksel Özellikler için Karakteristik Değerler [1]

| Dayanım Sınıfı | Basınç Dayanımı (MPa) | | | | Priz Başlama Süresi (dakika) | Genleşme (mm) |
|----------------|-----------------------|----------|------------------|-------|------------------------------|---------------|
| | Erken Dayanım | | Standard Dayanım | | | |
| | 2 Günlük | 7 Günlük | 28 Günlük | | | |
| 32.5 N | | ≥16.0 | ≥32.5 | ≤52.5 | ≥75 | ≤10.0 |
| 32.5 R | ≥10.0 | — | | | | |
| 42.5 N | ≥10.0 | — | ≥42.5 | ≤62.5 | ≥60 | |
| 42.5 R | ≥20.0 | — | | | | |
| 52.5 N | ≥20.0 | — | ≥52.5 | — | ≥45 | |
| 52.5 R | ≥30.0 | — | | | | |
| | TSEN 196-1 | | | | TSEN 196-3 | |

Kimyasal Özellikler

TS EN 197-1 çimentoları için öngörülen kimyasal özellikler Tablo 2.3’de “karakteristik” değerler olarak gösterilmiştir. Gene 1997’den önceki çimento standartlarında yer alan MgO kısıtlaması bu tabloda yer almamaktadır (Ancak klinker MgO içeriği için %5 sınırı belirtilmiştir). Ayrıca CEM IV, çimentolarının puzolanik özellik kriterini sağlamaları gerekmektedir. İlave açıklamalar standarddaki tablonun dipnotlarında verilmiştir.

Tablo 2.3 Gerekli Kimyasal özellikler için Karakteristik Değerler [1]

| Özellik | Standard | Çimento Tipi | Dayanım Sınıfı | Özellikler |
|--|--|------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Kızdırma Kaybı | TS EN 196 - 2 | CEM I CEM III | Hepsi için | $\leq \% 5.0$ |
| Çözünmeyen Kalıntı | TS EN 196 - 2 | CEM I CEM III | Hepsi için | $\leq \% 5.0$ |
| Sülfat Miktarı (SO ₃ olarak) TS EN 196-2 | | CEM I CEM II CEM IV CEM V | 32.5 N 32.5 N 42.5 N | $\leq \% 3.5$ |
| | | CEM III | 42.5 N 52.5 N 52.5 N | $\leq \% 4.0$ |
| Klorür İçeriği | TS EN 196 - 21 | Hepsi için | Hepsi için | $\leq \% 0.10$ |
| Puzolanik Özellik | TS EN 196 - 5 | CEM VI | Hepsi için | Deneyi Sağlar |
| Hidratasyon Isısı | TS EN 196 - 8 veya TS EN 196 - 9 | Hepsinde I/H tipi için | Hepsi için | 270 J/g en çok |

3. ÖZEL ÇİMENTOLAR

TS EN 197-1 Standardının kapsadığı genel kullanım amaçlı çimentoların haricinde kalan; gerek klinker üretimi sırasında, gerekse ilave edilen mineral katkıları sayesinde özel kullanım alanlarına hitap eden çimentolardır.

Özel çimentolar için mevcut standartlar aşağıda verilmiştir:

- **TS 10157 Sülfatlara Dayanıklı Çimentolar:**

C_3A (trikalsiyum alüminat) miktarı sınırlanmış (max. %5) olarak üretilen klinker; kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir. Sülfata dayanım özelliği puzzolan ve yüksek fırın curufu ihtiva eden çimentolarda da görülmektedir.

Bu özelliği kapsayan tüm çimento türlerini ihtiva eden bir standart çıkarılması için CEN/TC/51; AB'nin Çimento ve Kireç Teknik Komitesi çalışmalarını sürdürmektedir.

- **TS 21 Beyaz Portland Çimentosu:**

Özel nitelikli kil (renk verici oksitler ihtiva etmeyen) ile kireçtaşının birlikte pişirilmesiyle elde edilen beyaz klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir.

- **TS EN 413-1 Harç Çimentosu (Çimento-Kâgirde Kullanım için)**

Dayanım gelişmesi için gerekli Portland Çimentosu Klinkeri ihtiva eden; ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır. İlave bileşene ihtiyaç duyulmadan sadece kum ve su ile karıştırılarak duvar, sıva ve kaplama işlerinde kullanıma uygun harç yapımı temin eder.

Harç çimentosunun imalatını ve özelliklerini geliştirmek için öğütme kalaylaştırıcı, hava sürükleyici ajanlar gibi kimyasal katkıları ilave edilebilir.

• **TS 13353 BORU AKTİF BELİT (BAB) ÇİMENTOSU :**

TS EN 197 - 1'deki çimento tanımına uyan bu çimentonun klinkerinin ana bileşeni aktif (α' - C_2S) belit fazıdır. Portland çimentosuna göre farkı alit fazı yerine bu fazın bulunmasıdır. Çok düşük hidratasyon ısılı çimento özelliği gösteren bu çimento özellikle kütle betonlarında, baraj yapımında kullanıma uygundur. Klinker oluşum sıcaklığı 1300 °C civarında olup; yakıt enerji tasarrufu ile ve CO2 emisyonu azaltımı açısından çevre dostu özellik sergiler.

• **TS EN 197-4 Yüksek Fırın Cürufu Katkılı, Düşük Erken Dayanımlı Çimentolar:**

Genel Çimentoların (TS EN 197-1) hidratasyon reaksiyonlarına ve proseslerine sahip olmakla birlikte, bileşim, incelik ve bileşenlerinin reaktivitelerine bağlı olarak hidratasyon gelişimi daha yavaştır.

Sınırlandırılmış hidratasyon ısısına sahip, yüksek fırın cürufu katkı ve erken dayanımı düşük olan çimentodur.

• **TS EN 14216 Çok Düşük Hidratasyon Isılı Özel Çimentolar:**

Su ile karıştırıldığında hidratasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımı ve kararlılığını koruyan ve geliştiren, genel çimentoların hidratasyon reaksiyonlarına sahip bir çimentodur. Ancak; bileşim, incelik ve bileşenlerinin reaktivitelerine bağlı olarak hidratasyon gelişimi daha yavaştır. Özellikle barajlar ve kütle beton uygulamaları için uygundur.

• **TS EN 14647 Kalsiyum Alüminat Çimentosu**

Hızlı priz alan, yüksek sıcaklıktan dayanıklı olup; sülfat direncine de uygundur. Bu çimento yüksek alünlü veya alüminyumlu çimento olarak bilinir. Ama bileşeni mono kalsiyum alüminattır ($CaO \cdot Al_2O_3$). Genel çimentoların yerine geçecek şekilde kullanıma uygun olmayıp, hızlı sertleşme; sıcaklık; aşınma ve kimyasal etkilere direncin istendiği yerlerde kullanılabilir.

4. ÇİMENTONUN UYGUNLUĞU İÇİN KRİTERLER

TS EN 197-1 harmonize ürün standardının kapsamında bulunan 27 genel çimento için "Uygunluk Kriteri" standardın 9. maddesinde yer almıştır. Bu standardın uygunluk değerlendirilmesi işlemleri için, ayrıca 2002 yılında TSE tarafından yayınlanmış olan TS EN 197-2 Uygunluk Değerlendirme Standardı mevcuttur. Uygunluk Değerlendirme Standardı imalatçının yürüteceği fabrika üretim kontrolünü, otokontrol deneylerini, belgelendirme kuruluşunun görevlerinin esaslarını ve uygunsuzluk durumunda takip edilecek kuralları belirle. Uygunluk belgesi için prosedürler ve sevk merkezleri için gerekler de bu standardda tanımlanmıştır.

TS EN 197-1 Genel Çimentolar, harmonize ürün standardında yer alan, genel çimentolar, AB'ye (Avrupa Birliği) uyum yasaları çerçevesinde yer alan 89 / 106 / EEC sayılı YMY (Yapı Malzemeleri Yönetmeliği) kapsamına girmiş olduklarından CE işaretlemesine konudur. Bu standardın ekinde verilen (Ek ZA) açıklamalar, CE uygunluk işareti için gereklere dairdir.

Uygunluk Kriteri:

- I- İmalatçı tarafından yapılan otokontrol testleri: bu testler TS EN 197 - 1 standardının 9. maddesinde belirlenen periyotlarda, sürekli anlık numune alma esasına dayanılarak yapılır. Yeni bir ürün üretilmesi durumunda numune alma periyotları, normal üretime göre daha fazla sıklık arz eder. Alınan numuneler için tespit edilecek özellikler: erken ve Standard dayanım, priz başlangıcı, genleşme, sülfat ve klorür miktarı ve bileşim ile CEM I ve CEM III çimentoları için kızdırma kaybı ve çözünmeyen kalıntı, CEM IV çimentoları için puzolanik özellik tayinleridir.

Bu test sonuçları için yapılan istatistiksel değerlendirme sonuçları ise dayanımlar için "değişkenlere" diğer özellikler için ise "niteliklere göre muayene işlemine tabi tutulur.

- II- İstatistiksel uygunluk kriterine ilave olarak, tek tek deney uygunluğu için “Tek Sonuçlar için Sınır değerler” belirlenmiştir.
- III- Çimentonun bileşimi, üretici tarafından çıkış noktalarından ayda 1 kez alınan anlık numuneler kullanılarak kontrol edilir, standardda çimento tipleri için verilen Tablo 1’deki bileşim özelliklerinin gereklerine uygunluğuna bakılır.
- Tek sonuç için referans değerden -2 alt ve +2 üst değerlik sapmaya müsaade edilir. Çimento bileşimi için, üretici tarafından uygun işlemler ve doğrulama metodları kullanılmalı ve belgelendirilmelidir.
- IV. Çimentoyu oluşturan tüm bileşenler için, yine bu standardda verilen özellikler sağlanmalı, bunun için üretim sırasında uygun işlemler uygulanmalı ve belgelendirilmelidir.

TS EN 197-2 Uygunluk Değerlendirmesi:

TS EN 197-“1 Genel Çimentolar Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri Standardının tamamlayıcısı ve 2. Bölümü olan bu standardda, üretici ve belgelendirme kuruluşları için gerekler tanımlanmıştır. İmalatçının fabrika üretim kontrolü 4. madde de verilmiştir. Bu madde Kalite Yönetim Sistem Standardı EN ISO 9001’in ilgili maddelerini dikkate alır. Fabrikanın Kalite Yönetim Sisteminin mevcudiyeti bu maddeler için kolaylık sağlayacaktır. Kalite El Kitabı, Kalite Politikası, atanmış Yönetim Temsilcisi, İç tetkikler ve yönetimin gözden geçirmesi, dokümantasyon sistemi ve kalite kayıtları fabrika tarafından uyulması gereken hükümler arasında yer almaktadır. Ayrıca fabrika, proses kontrolle ilgili olarak çimento bileşenleri ve bileşimi ile ilgili metotları, uygun olmayan deney cihazları ile ilgili kontrol ve kalibrasyonları yerine getirmekle mükelleftir.

Fabrika, muayene ve deney durumu ile yükleme boşaltma, depolama, paketlenme ve sevkiyat ile ilgili prosedürleri belirlemeli ve uygulamalıdır.

İmalatçının görevleri kapsamındaki 4.3.1 maddesindeki “otokontrol deney sistemi” TS EN 197-1 Standardının 9. maddesinde yer alan Uygunluk Kriteri Maddesindeki gerekler için kullanılmalıdır.

CE işaretlemesi için gerekli olan, EC uygunluk kriterini değerlendiren Belgelendirme Kuruluşunun görevleri standardının 5. maddesinde verilmiştir.

Belgelendirme kuruluşlarının görevleri belgelendirme, muayene ve deney olarak farklılaşmıştır. Bu görevlerin tamamı için tek bir kuruluş olabildiği gibi, herbiri ayrı kuruluşlar tarafından yapılabilir. Uyulması gereken standartlar ise:

TS EN 45011 Ürün Belgelendirmesi yapan Belgelendirme Kuruluşları için Genel Kriterler; TS EN ISO 17020 Çeşitli Tipteki Muayene Kuruluşlarının Çalıştırılması için Genel Kriterler; TS EN ISO IEC 17021 Uygunluk Değerlendirmesi Yönetim Sistemlerinin Tetkikini ve Belgelendirmesini Sağlayan Kuruluşlar için şartlar, EN ISO IEC 17025 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği için Genel Şartlar standartlarının ilgili maddeleridir.

- I. Fabrika üretim kontrolünün gözetimi, değerlendirme ve kabulünü içeren, Muayene görevleri, bu standardın 4. maddesi olarak, imalatçının fabrika üretim kontrolü gereklerini yerine getirdiğini ve Kalite El Kitabında belirtildiği şekilde yapıldığını doğrulamalıdır. Kalite El kitabındaki majör bir değişikliğin, imalatçı tarafından bir ay içinde Belgelendirme Kuruluşuna rapor edilme gereği vardır.

Muayene, önceden haber verilmek kaydıyla yılda bir kez yapılmalıdır.

Her muayeneyi müteakip, gizli bir rapor hazırlanarak imalatçıya gönderilir. Uygun düzeltici faaliyet ve planlamalar imalatçı tarafından belgelendirme kuruluşuna bildirilmelidir.

- II. Numunelerin otokontrol deney sonuçlarının değerlendirilmesi ile ilgili olarak, üretim kontrolünün gözetimi, değerlendirilmesi ve kabulü; üretici-

nin otokontrol deney sonuçlarının, TS EN 197-1 madde 9'daki istatistiksel uygunluk kriterleri ve tek sonuç limit değerine göre uygunluk kontrolünü kapsar ve yılda en az iki kez yapılır.

Her değerlendirmeden sonra hazırlanan gizli raporun bir nüshası üreticiye gönderilir.

- III. Otokontrol numunelerinden ayrı olarak, imalatçının deney sonuçlarının doğruluğunu kontrol için muayene kuruluşu tarafından yine fabrika çıkış noktalarından, yılda en az altı kez olmak üzere ve önceden izin almaksızın numuneler alınır. Numune alımı ve uygulanacak deneyler TS EN 196 serisi Deney Standardları esas alınır.

Sonuçlar Belgelendirme kuruluşu tarafından değerlendirilir. Her tetkikten sonra, gizli bir rapor hazırlanılarak bir kopyası üreticiye gönderilir. Yeni bir fabrika kurulduğunda veya mevcut bir fabrikada yeni ürüne geçildiğinde başlangıç muayenesi yapılır. Başlangıç periyodu üç aydır. Uygunluk durumunda üretici ve belgelendirme kuruluşunun alacağı önlemler belirlenmiştir.

- IV- Uygunluk belgesi ve Uygunluk markasının belgelendirme kuruluşu tarafından üreticiye verilmesiyle çimentonun standarda uygunluğu gösterilmiş olur. EC uygunluk belgesi ve CE uygunluk markası için gerekler TS EN 197 1'in ekinde verilmiştir.

- V- Üretim yapan fabrikalar haricinde kalan sevk merkezleri için gerekler standardda ayrıca belirlenmiştir.

5. STANDDARDLARDA SINIR GETİRİLEN ÇİMENTO ÖZELLİKLERİ

Tablo 2.3 ve 2.4'de görüldüğü gibi Standard, çimentonun bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerine sınır getirmektedir. Tablo 2.4'e göre bazı kimyasal sınırlar ancak belirtilen çimento, tipleri için geçerlidir. İlgili çimento özellikleri ve sınırlama nedenleri aşağıda kısaca açıklanacaktır:

Basınç Dayanımı: Çimentonun en önemli özelliğidir. Standard kum ile yapılmış harç numuneler üzerinde ölçülür. Erken dayanım için 2 veya 7 günlük yaşlarda, Standard dayanım için 28 günlük yaşta elde edilen değerler standardda belirtilen karakteristik değerden daha az olmamalıdır.

Beton bileşimi ve yapımı ile ilgili parametreler değişmediği takdirde çimento dayanımı arttıkça beton dayanımı da artacaktır.

Priz Başlama Süresi: Normal kıvamdaki çimento hamurunun plastikliğini kaybetmeye başladığı zamana kadar geçen süredir. Vicat cihaz ile belirlenir. Taze betonun işlenebilmesini kaybetmesi ile ilişkili olduğu için standartlarda belirtilen süreden daha az olmamalıdır. (Genellikle böyle bir süre içinde taze betonun karıştırılıp, taşınıp, kalıba yerleştirilerek sıkıştırılabileceği kabul ediliyor).

Priz Bitiş Süresi: Performansa dönük olarak hazırlanan yeni standardda priz bitiş süresi sınırlandırılmamıştır.

Hacim Sabitliği (Genleşme): Karma oksitlere katılmayarak serbest kalan CaO ve MgO, çimento içinde az miktarda bulunmalarına rağmen harç veya beton sertleştikten sonra hidrate olarak hacim genleşmesi ve çatlamalara yol açabilirler.

CaO ham maddelerinin doğru orantıda harmanlanmaması, (kireç fazlalığı) iyi öğütülmemesi veya yeterince pişirilmemesi sonucu serbest halde buluna-

bilir. Fırında yüksek sıcaklıkta oluşan kristal yapısı dolayısı ile hidrasyonu gecikmeli olarak meydana gelir. MgO genellikle kalker içinde bulunur. Klinker yapısındaki serbest MgO, periklas olarak bulunur. CaO'dan daha sıkı bir kristal yapıya sahip olduğundan hidrasyonu daha gecikmeli ve yavaştır. Gene de sertleşmiş betonun hacim sabitliğine zaman içerisinde zarar verebilir.

Bu konuda yapılan deneyde çimento hamuru kaynar suda hızlandırılmış kür ve hidrasyona tabi tutulur. Serbest CaO içeriğine bağlı olarak hamurun genişmesi yerleştirildiği Le Chatelier halkalarının içneleri arasındaki mesafenin açılması ile belirlenir. Açılma değerinin standarddaki sınırı aşmaması gerekir.

Kükürt Trioksit (SO₃) İçeriği: Sülfatlar çimento içine ham maddelerden, katkılardan veya yakıttan girebilir. Ayrıca, C₃A hidrasyonunu kontrol amacı ile klinker kalsiyum sülfat ile öğütülmektedir. Harç veya beton sertleştikten sonra içlerinde kalan veya dışardan gelen sülfat, alçı ve etrenjit oluşturarak hacim genişmesi ve çatlama yapabilir. Bu nedenle kimyasal analiz sonucu çimentoda bulunan SO₃ miktarı standartlarda verilen sınırı aşmamalıdır.

Klorür İçeriği: Klorürler çimento içine ham maddelerden veya katkılardan girebilir. Sertleşmiş harç veya beton içinde bileşenlerden veya dışarıdan gelen klorürün en büyük sakıncası beton içindeki çelik donatıda ve metallerde korozyon riskini arttırmasıdır. Ayrıca, higroskopik madde olarak harç ve betonu rutubetli tutar. Bu nedenlerle kimyasal analiz sonucu çimentoda bulunan klorür miktarı standartlarda verilen sınırı aşmamalıdır.

Kızdırma Kaybı: Uzun süre depolanmış, rutubete ve havaya maruz kalmış çimento başta içindeki serbest CaO ve MgO olmak üzere kısmen hidrate olur sonra havanın da etkisi ile karbonatlaşır. Kısacası çimento bayatlamaya başlar. Bu reaksiyonların ne ölçüde yer aldığını anlamak için çimento 950-1000 °C arasında kızdırılır ve ağırlık kaybı yüzde olarak belirlenir. Kızdırma kaybı özellikle rutubetin buharlaşmasından ve CaCO₃'dan CO₂'in ayrışmasından kaynaklanır. Standartlarda verilen sınırı geçmemelidir.

Hidratasyon Isısı: Çimentonun hidratasyonuna bağlı olarak, verilen bir zaman dilimi sonunda açığa çıkan ısının miktarıdır. Betonun kullanıldığı yapı türüne veya hava koşullarına bağlı olarak hidratasyon ısısı düşük veya yüksek çimento kullanımı tercih edilebilir. Örneğin baraj gibi düşük yüzey/hacim oranına sahip yapılarda betonun yüzeye yakın bölgeleri ile iç bölgeleri arasındaki sıcaklık farkı ısı gerilme ve çatlamalara neden olur. Bu tür yapılarda hidratasyon ısısı düşük çimento kullanılmalıdır. Sıcak havalarda hidratasyon ısısı düşük, soğuk havalarda ise hidratasyon ısısı yüksek çimento kullanımı da genellikle daha uygun olmaktadır. Hidratasyon ısısı Joule/g veya cal/g olarak ölçülür ve ifade edilir.

Çözünmeyen Kalıntı: Normal olarak üretilmiş katkısız portland klinkeri HCl içerisinde hemen hemen tamamen çözünür. Çözünmeyen kısım varsa bu iki şeyden kaynaklanabilir: 1) Döner fırında pişirme ve ilgili reaksiyonlar tamamlanamamıştır ve/veya 2) Çimentoda mineral katkı vardır. Çözünmeyen kalıntı standartlarda verilen değeri geçmemelidir.

Puzolanik özellik: Bu özellik sadece CEM IV tipi Puzolanik Çimentolar için istenmektedir. Deneyde hidrate çimento ile temas halindeki çözeltideki Ca(OH)_2 miktarı çözeltiyi doygun hale getirecek miktardan daha düşük bulunuyorsa sonuç olumlu kabul edilmektedir.

Toplam Organik Karbon (TOC): Katkı maddesi olarak kullanılan kalkerde bulunabilecek organik karbon betona hava sürükleyen kimyasal katkılarla olumsuz etkileşir. Kimyasal katkı ve oluşturduğu hava kabarcıkları karbon etrafında kümelenirler ve betonun donma-çözülme direncini arttırmada etkili olamazlar. Bu nedenle TOC miktarının standardda belirtilen sınırları geçmemesi istenir.

Kil Muhtevası (Metilen Mavisi Deneyi): Çok ince taneli olan ve nem durumuna göre hacim değişikliği gösteren killerin miktarı çimento katkı maddesi olarak kullanılacak kalkerde (ve genelde beton agregalarında) sınırlandırılmaktadır. Aksi takdirde çimento ve çimentolu üründe karışım suyu ihtiyacı artacak,

hacim sabitliği ve agrega-çimento hamuru arayüzeyi olumsuz olarak etkile-
necektir.

İncelik: Performansa dönük olarak hazırlanan yeni standardda çimento ve mineral katkı maddelerinin tane inceliği konusunda herhangi bir sınır getirilmemiştir. Ancak bazı şartnamelerde (ve eski standartlarda) bu maddelerin en az belirli bir inceliğe sahip olması istenebilir. Tane inceliği arttıkça hidrasyon ve kimyasal reaksiyonlar hızlanacak, erken dayanım artacaktır. Diğer taraftan, gerekli öğütme enerjisi de artacak ve belirli bir kıvam için gereken su ihtiyacı da artış gösterebilecektir.

6. MİNERAL KATKILAR

6.1 Genel Bir Sınıflandırma

Çimento ve betona eskiden beri doğal veya yapay (endüstriyel) kökenli mineral katkıları katılmaktadır. Bu katkıları sınıflandırmadan önce "puzolanik madde"nin tanımını hatırlatmak yerinde olur:

Puzolanik Madde (Puzolan): Kendi başına bağlayıcı özelliği olmayan ancak ince öğütülmüş olarak kireç hidrat ile karıştırıldığında hidrolik bağlayıcı özelliği kazanan silis ve/veya alüminyum silikat bileşimli maddedir.

Mineral katkıların genel bir sınıflandırılmaları ve tipik örnekler şöyle sıralanabilir:

- Bağlayıcı özelliği olanlar: Suda soğutulmuş (granüle) yüksek fırın cürufu...
- Bağlayıcı ve pozalink özellikte olanlar: Kalkersi uçucu kül, bazı bitümlü şist külleri...
- Puzolanik aktivitesi yüksek olanlar: Silis dumanı, pirinç kabuğu külü...
- Normal puzolanlar: Silisi uçucu kül, doğal veya kalsine puzolanlar...
- Puzolanik aktivitesi düşük olanlar: Yavaş soğumuş yüksek fırın cürufu, bazı doğal puzolanlar, bazı kazan cürufları, bitki külleri...
- Atıl olanlar: İnce öğütülmüş kuvars, kalker, bentonit...

Mineral katkıların etkileri katıldıkları klinker veya çimentonun özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Ayrıca atıl olarak sınıflandırılan bazı katkıların, örneğin kalker tozunun, çimento hidratasyonu ve hamur oluşumu üzerinde olumlu etki yapabildikleri anlaşılmaktadır.

6.2 Mineral Katkılar ve Özellikleri

Mineral katkı türleri ve TS EN 197-1 de öngörülen bileşimleri konusunda ilave bilgiler aşağıda özetlenmiştir:

Doğal Puzolan: Doğada bulunan puzolanik özellikte madde ve kayaçlardır. Genellikle volkanik kökenlidirler. Türkiye’de “tras” olarak adlandırılırlar. TS EN 197-1’e göre doğal puzolanlarda reaktif silis miktarı en az %25 olmalıdır.

Kalsine Edilmiş Doğal Puzolan: Puzolanik özellikleri ısı işlem uygulanarak kazandırılmış olan doğal madde ve kayaçlardır. Reaktif silis içerikleri en az %25 olmalıdır.

Granüle Yüksek Fırın Cürufu: Yüksek fırında pik demir elde edilirken demir cevheri içindeki SiO_2 ve Al_2O_3 içeren gayri saflıklar yumuşatıcı olarak katılan kalkerdeki CaO tarafından bağlanır. Bu şekilde oluşan cürufun bileşimi portland çimentosuna büyük benzerlik gösterir. Fırın çıkışında hızla soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca içindeki CaO, MgO ve SiO_2 miktarları toplamı gene en az 2/3 oranında olmalıdır. $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ orantısının ise 1,0’dan fazla olması istenmektedir.

Uçucu Kül: Çok ince öğütülmüş kömür yakan fırınların baca gazlarına karışan ve çoğunlukla çimentodan ince olan kül tanecikleri elektrostatik yöntemlerle tutularak ayrılırlar. Genellikle kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde elde edilir. Kızdırma kaybı 1 saatte %5’i geçmemelidir. Kızdırma kaybı %5-7 arasında ise kül koşullu olarak çimentoda kullanılabilir.

Silisi Uçucu Kül: Reaktif CaO oranı %10’dan az olan puzolanik özellikli uçucu küldür. Serbest CaO içeriği %1’den fazla olmamalıdır. Serbest CaO değeri %2,5’e kadar olan küller koşullu olarak kullanılabilirler. Reaktif SiO_2 %25’den fazla olmalıdır.

Kalkersi Uçucu Kül: Reaktif CaO oranı %10’dan fazla olan bağlayıcı ve/veya puzolanik özellikli uçucu küldür. Reaktif CaO miktarı %15’e kadar olan

küllerde reaktif SiO_2 %25'den fazla olmalıdır. Reaktif CaO miktarı %15'den fazla olan küller koşullu olarak kullanılabilirler. Hacim genişmesi 10 mm'yi geçmemelidir.

Pişmiş Şist: Yaklaşık 800°C 'de pişirilen şist bileşimi itibarı ile puzolanik ve bağlayıcı özellikler gösterir. Çimento gibi test edildiğinde 28 günlük basınç dayanımı en az 25 MP'a olmalıdır. Hacim genişmesi 10 mm'yi geçmemelidir.

Kalker (Kireçtaşı): CaCO_3 içeriği en az %75 olmalıdır. Kil içeriği % 1,2'yi geçmemelidir. Standardda toplam organik karbon (TOC) değerinin en fazla %0,20 (LL) ve %0,50 (L) olarak sınırlandırıldığı iki sınıfa ayrılmıştır.

Silis Dumanı: Silisyum ve ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsın kömürle indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli baca tozudur. Reaktif silis içeriği en az %85 olup BET özgül yüzeyi en az 15 ml/g olmalıdır. Kızdırma kaybı 1 saatde %4'ü geçmemelidir.

6.3 Mineral Katkıların Etkileri

TS EN 197-1'de değişik mineral katkıları ve bunların çeşitli kombinasyonlarını içeren çok sayıda çimento türüne yer verilmiştir. Gerçekten uygun özelliklerdeki mineral katkıların çimento üretiminde kullanımı önemli ekonomik, çevresel ve teknik avantajlar sağlamaktadır.

Örnek olarak bir mineral katkının muhtemel etkilerini kısaca gözden geçirelim. Şekil 6.1 a) da katkısız bir portland çimentosu bileşimi görülmektedir. Hatırlanacak olursa, bileşimin yaklaşık %90 kadarı dört karma oksitten oluşur. Bunlar C_3S ve C_2S olarak belirtilen kalsiyum silikatlar ile C_3A ve C_4AF olarak belirtilen kalsiyum alüminatlarıdır.

Şekil 6.1 b) ve c) de çimento belirli bir miktarda katkı ile oluşturulmuştur. Mineral katkıları genellikle klinker elde edildikten sonra klinkerle birlikte öğütülerek

katılırlar. Dolayısı ile çimento elde etmek için daha az hammadde (doğal kaynak) ve daha az enerji kullanılmakta, ortaya daha az sera gazı çıkmaktadır. Katkı maddesi endüstriyel atık ise çevresel yarar daha da fazladır. Bu arada toplam bağlayıcı içindeki dört karma oksitin göreceli miktarları katkı miktarına bağlı olarak azalmıştır.

| |
|---------------------|
| C ₃ S |
| C ₂ S |
| C ₃ A |
| C ₄ AF |
| C, M, S, N, K... |

a) Çimento

| | |
|---------------------|-------|
| C ₃ S | KATKI |
| C ₂ S | |
| C ₃ A | |
| C ₄ AF | |
| C, M, S, N, K... | |

b) Katkılı çimento

| | |
|---------------------|-------|
| C ₃ S | KATKI |
| C ₂ S | |
| C ₃ A | |
| C ₄ AF | |
| C, M, S, N, K... | |

c) Çimento + Katkı

Şekil 6.1 Çimento ve Mineral Katkı.

Çimento su ile karıştırıldığında kalsiyum silikatlar bağlayıcı özellikteki kalsiyum silikat hidrat, C-S-H, jelini oluştururlar ve bir miktar kireç hidrat, CH açığa çıkar. C_3S erken dayanıma ve hidrasyon ısısına daha fazla katkıda bulunur. Daha fazla kireç açığa çıkarır. Kalsiyum alüminatlar da jel meydana getirirler. C_3A hidrasyon ısısını artırır, sülfatlara karşı direnci azaltır.

Şekil 6.2 a)'da katkısız çimento hamurunun bileşimi gösterilmiştir. Bağlayıcı özellikteki C-S-H jelleri kalsiyum alüminat jelleri hamurun yarısından fazlasını oluşturmakta, kireç hidrat CH açığa çıkmakta ve gözenekler oluşmaktadır. CH ve gözenekler dayanım ve dayanıklılığı olumsuz etkileyen unsurlardır. Katkılı çimentonun hidrasyonu ve özellikleri ise farklıdır: Karma oksitlerden C_3A azaldığı için sülfat direnci artacak, C_3S ve C_3A azaldığı için hidrasyon ısısı ve erken dayanım azalacaktır. C_2S ve C_3S azaldığı için açığa çıkan CH miktarı da azalacaktır. Bu da genel sülfat direncini ve dayanıklılığı arttıracaktır. Puzolanik özelliklere sahip olduğu kabul edilirse, katkı kalan CH'yi zamanla bağlayarak yeni (puzolanik) C-S-H jeline dönüştürecek ve gözenekleri tıkayacaktır. Dolayısı ile zamana bağlı olarak dayanım ve dayanıklılıkta artış söz konusudur. Özet olarak, Şekil 6.2 b)'de gösterildiği gibi katkılı çimento hamurunda bağlayıcı jeller artmakta, CH ve gözenekler azalmaktadır.

| |
|-------------------------|
| Jeller C - S - H |
| CH |
| Gözenekler |
| Hidrate olmamış taneler |

a) Katkısız

| |
|--|
| Jeller C - S - H Puzolanik C - S - H |
| CH |
| Gözenekler |
| Hidrate olmamış taneler |

b) Puzolan Katkılı

Şekil 6.2 Çimento Hamur Yapıları.

Kuşkusuz bu genel etkiler klinker ve katkı özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Puzolanik olmayan bazı katkıların bile ince öğütüldüklerinde harç ve betonda su ihtiyacını azalttıkları, hidrasyonu hızlandırdıkları ve gözenekleri tıkayarak dayanıklılığı arttırdıkları bilinmektedir.

Sonuç olarak, çimentoya katılan mineral katkıları:

- Ekonomi ve enerji tasarrufu sağlanması,
- Doğal kaynakların ve çevrenin korunması, sera gazlarının azaltılması,
- Hidratasyon ısının azaltılması,
- Çimento ürünlerinde işlenebilmenin kolaylaştırılması, dayanıklılığın ve zamanla dayanımın

gibi konularda yararlı olabilmektedir. Erken dayanımlarda görülebilecek azalma çimentoyu daha ince öğüterek veya klinker özelliklerini değiştirerek çözümlenebilmektedir.

7. DENEY METODLARI

Çimentonun ürün standardında belirtilen özelliklerinin tayin edilebilmesi için gerekli deney standartları mevcuttur.

Yürürlükteki ürün standartlarındaki kimyasal özelliklerin tayini için TS EN 196-2; fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini için TS EN 196-1 (Basınç Dayanımı), TS EN 196-3 (Priz Süresi ve Genleşme), TS EN 196-6 (İncelik) TS EN 196-7 (Çimentodan Numune Alma ve Hazırlama) standartları kullanılır.

Puzzolanik çimentoların; puzzolanik özellik testi TS EN 196-5'te anlatılmıştır.

7.1 TS EN 196 (Fiziksel ve Mekanik Deneyler) [12]

| | |
|-----------------------|--|
| DENEY ADI | TS EN 196 |
| Basınç Dayanımı | TS EN 196-1 |
| Numune Hazırlama | Herhangi bir işlem yapılmaksızın numune deneye tabi tutulur. |
| Deney Lab. Koşulları | Harç laboratuvarında sıcaklık 20 ± 2 °C, Bağıl Nem en az %50 olmalıdır. Ve günde en az bir kere kontrol edilmelidir. |
| Sarsma (Şok) Cihazı | Şekli standardta verilmiştir. Cihazın tablası, 2 adet hafif kolla merkezinden 800 mm uzaklıktaki mile bağlı olarak ekzantrik şekilde $15 \pm 0,3$ mm'den serbest düşer. Dakikada 60 vuruş yapar ve bu bir sayaçla kontrol edilir. Cihazın üzerindeki toplam ağırlık (tabla, kalıp, kalıp başlığı, kollar, tutturma vidaları) $20 \pm 0,5$ kg. Sarsma esnasında 2 adet yayıcı kullanılır. |
| DENEY ADI | TSEN 196-1 |
| Basınç Dayanım Cihazı | Hassasiyet her yükte en az %1 |
| Standard Kum | Min %98 SiO ₂ ihtiva eden silis kumu |
| Normal Kıvam Deneyi | TSEN 196-3 |
| Numune Hazırlama | Herhangi bir işlem yapılmaksızın numune deneye tabi tutulur. |
| Deney Lab. Koşulları | Deney laboratuvarında sıcaklık 20 ± 2 °C, Bağıl nem en az %65 olmalıdır. |

| | |
|------------------------------|--|
| Priz Süreleri | TS EN 196-3 |
| Deney Lab. Koşulları | Deney laboratuvarında sıcaklık $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, Bağıl Nem en az %90 olmalıdır. |
| Priz Bitiş Süresi | Ters çevrilmiş vikat kalıbında Priz Bitiş iğnesinin pastaya en çok 0,5 mm girebildiği an priz bitiş anıdır. Bu zamanın pastanın ilk hazırlandığı zamandan çıkarılması priz bitiş süresini verir. |
| Hacim Genleşmesi Tayini | TS EN 196-3 |
| Deneyin Yapılışı | <ol style="list-style-type: none"> 1. $24\pm 0,5$ saat 201°C ve %98 bağıl nemde bekletildikten sonraki ölçüm=a 2. Suyun içinde 30 ± 5 dakikada ısıtılarak kaynama noktasına gelip ve toplam 3 saat± 5 dakika kaynatıldıktan sonraki ölçüm=b 3. Kalıbın $20\pm 20^{\circ}\text{C}$'ye soğutulduktan sonraki ölçüm=c 4. Hacim Genleşmesi= c-a |
| Blaine (Özgül Yüzey) Tayini | TS EN 196-6 |
| Nunume Hazırlama | Herhangi bir kurutma işlemi yapılmaksızın numune 2 dakika kapaklı kavanozda sallanır ve deneye tabi tutulur. |
| Deney Laboratuvarı Koşulları | $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve en çok %65 bağıl nem |
| Elek Kalıntısı Tayini | TSEN 196-6 |
| Numune Hazırlama | Herhangi bir işlem yapılmaksızın numune deneye tabi tutulur. |
| Deney Eleği | Sıkı, dayanıklı, paslanmaz, 150mm 200mm nominal çapta, 40mm 100mm derinlikte, TS 1225 (ISO 565/1983) Çizelge 1 ve TS 1227 ISO 3310-1 (3310/1)'deki gereklere uygun 90µm göz açıklıklı |

7.2 TS EN 196 Kimyasal Deneyler [13]

| | |
|--|--|
| DENEY ADI | TSEN 196-2 |
| Çimento Numunesinin Hazırlanması | Numune bölücü veya çeyrekleyerek alınan yaklaşık 100 gram numunenin (metalik demir mıknatısla ayrılır) tamamı 125 veya 150 im elekten geçirilip hava sızdırmaz bir kaba alınır ve çalkalanır. |
| Kızdırma Kaybı | Kızdırma kaybı oksitleyici ortamda (hava) tayin edilir. 950 ± 25 °C kızdırılarak karbon dioksit ve su uçurulur ve mevcut oksitlenebilen 950 ± 25 °C'de 5 dakika kapaklı kroze, 10 dakika kapaksız olarak sabit tartıma getirilir. |
| Sülfat (SO ₃) Tayini | Çimentonun HCl ile bozunması sonucunda oluşan sülfat iyonları pH 1-1,5 da BaCl ₂ ile çöktürülür ve analiz gravimetrik olarak tamamlanıp SO ₃ olarak ifade edilir. (950 ± 25 °C sabit tartım) |
| Çözünmeyen Kalıntı Tayini (Metod 1: HCl + Na ₂ CO ₃ ile) | Çimentonun seyreltik HCl ile muamele edilerek, çözünebilen SiO ₂ in çökmesini önleyerek çözünmeyen kalıntının tayin edildiği klasik bir metottur. Elde edilen kalıntı kaynar Na ₂ CO ₃ ile muamele edilerek az miktarda çökmüş olabilecek SiO ₂ in tekrar çözünmesi sağlanır. Kalıntı gravimetrik olarak analiz edilir. |
| DENEY ADI | TSEN 196-2 |
| Çözünmeyen Kalıntı Tayini (Metod 2: HCl + KOH ile) | Bu metotta, çimento önce HCl ile daha sonra kaynak KOH ile muamele edilir. Çözünmeyen kalıntı yakma işleminden sonra gravimetrik olarak analiz edilir. |
| Sülfür tayini | Numune indirgen ortamda HCl ile çözülür ve açığa çıkan sülfür hidrojen sülfüre dönüşür ve gaz akımı ile amonyaklı çinko sülfat çözeltisine taşınır. Çöken çinko sülfür iyodemetrik metotla (potasyum iyota karşı sodyum tiyosülfat titrasyonu) tayin edilir. |
| Mangan Tayini (Metod 1: Fotometrik Metod) | Mevcut mangan potasyum periyodatla MnO'e yükseltgenir. Menekşe renkli çözeltinin optik yoğunluğu 525 nm'de ölçülür. |
| DENEY ADI | TSEN 196-2 |
| Ana Bileşenler Çözünürleştirme (Metod 1: Sodyum Peroksitle Bozunma) | Numune Na ₂ O ₂ ile 500 ± 10 °C'de sinterlenir, katı kütlenin HCl ile çözünmesinden sonra SiO ₂ polietilen oksitle jelleştirme (Madde 13.3) veya çift buharlaştırma (Madde 13.4) yöntemiyle çöktürülür. |
| SiO ₂ Tayini (Metod 1: Polietilen-oksit Çöktürmesi) | Na ₂ O ₂ eritişinden elde edilen çözelti kuruluğa kadar buharlaştırılır ve HCl ile muamele edildikten sonra polietilen oksit çözeltisi eklenerek SiO ₂ in çökmesi sağlanır. Süzülür, SiO ₂ yakma işleminden sonra gravimetrik olarak analiz edilir ve süzüntüde diğer bileşenlerin tayini için 500 ml'lik balona alınır. |

| | |
|--|--|
| SiO ₂ Tayini (Metod 2: Çift Buharlaştırma) | Na ₂ O ₂ eritişinden elde edilen çözelti kuruluğa kadar buharlaştırılır ve HCl ile muamele edilir ve çöken SiO ₂ süzülür. Süzüntü ve yıkama suyu aynı şekilde buharlaştırılıp asitlendirilerek aynı süzgeç kağıdından süzülür. Çökelek yakılarak SiO ₂ tayin edilir, ilk ve ikinci süzme işlemindeki süzüntüler birleştirilerek diğer bileşenlerin tayini için 500 ml'lik balona alınır. |
| SiO ₂ Tayini (Metod 3: HCl+NH ₄ Cl ile) | Çimento amonyum klorür varlığında HCl ile dekompoze edilir. SiO ₂ in büyük kısmı bu işlemle ayrılmış olur. |
| DENEY ADI | TSEN 196-2 |
| Saf SiO ₂ Tayini (Metod 4: HF Saflaştırma) | Metod 1, 2, 3'te elde edilen krozedeki kalıntı sülfirik asit ve HF eklenerek çeker ocakta buharlaştırılır ve 1175±25°C de 10 dakika kızdırılır. Tartım farkı saf SiO ₂ 'dir. Buradaki kalıntı %0.5'den büyükse Na ₂ O ₂ ile dekompoze etme metodu ile analiz tekrarlanır. |
| Buharlaştırma Kalıntısının Çözünürleştirilmesi | Metod 4'te elde edilen buharlaştırma kalıntısı, sodyum karbonat ve sodyum klorür karışımı ile kadar bekte tamamıyla ergitilir ve 1 ml HCl ile çözülür. Çözelti berrak ise çözelti 500 ml balondaki çözeltiliye eklenir. Berrak değilse işlem yukarıdaki gibi tekrarlanır. |
| Çözünebilen SiO ₂ Tayini | 500 ml'ye tamamlanan son çözeltiliden, çözeltildeki silisyum dioksit fotometrik olarak tayin edilir. |
| Toplam SiO ₂ Tayini | (Saf SiO ₂ (madde 13.6) + Çözünebilen SiO ₂ (Madde 13.8)) |
| Demir Oksit Tayini (Metod 1: EDTA Fotometrik Titrasyon) | Sülfosalisilik asit indikatörü ile fotometrik titrasyon (520 nm de) |
| Alüminyum Oksit Tayini | Bakır kompleksinat ve PAN indikatörü ile EDTA titrasyonu |
| Kalsiyum Oksit Tayini (Metod 1: EGTA Fotometrik Titrasyon) | Mureksid (620 nm) veya kalsein (520 nm) indikatörü ile Fotometrik Titrasyon |
| Kalsiyum Oksit Tayini (Metod 2: EDTA Fotometrik Titrasyon) | Mureksid (620 nm) veya kalsein (520 nm) indikatörü ile Fotometrik titrasyon. Göz ile titrasyonda kalkon indikatörü önerilir. |
| Magnezyum Oksit Tayini (Metod 1: DCTA Fotometrik Titrasyon) | Metil timol mavisi indikatörü ile 60 nm de Fotometrik titrasyon |

| | |
|--|---|
| Magnezyum Oksit Tayini (Metod 2: EDTA Fotometrik Titrasyon) | Metil timol mavisi indikatörü ile Fotometrik titrasyon. Göz ile titrasyonda fitalin moru indikatörü önerilir. |
| Klorür Tayini | TS EN 196-21 |
| | Çimento HNO_3 ile bozunur, çözünen klorür bilinen hacimde gümüş nitrat ile çöktürülür ve kalan gümüş nitrat standart amonyum tiyosiyanat çözeltisi ile demir (iii) tuzu indikatörü ile titre edilir. |
| Karbon Dioksit Tayini (Metod 1: Fosforik Asit ile Bakır Sülfat) | Çimento H_3PO_4 ile muamele edilerek karbonların bozunması sağlanır. Açığa çıkan CO_2 karbondioksit içermeyen gaz veya hava akımı ile bir seri absorpsiyon tüpünden geçirilir. İlk iki tüp hidrojen sülfürleri ve suyu uzaklaştırır, sonraki iki tüpte ise CO_2 absorplanır. |
| Karbon Dioksit Tayini (Metod 2: Sülfirik Asit ile Civa (II) Klorür) | Sülfirik asit ile etkileşme sonucu oluşan CO_2 , sodyum hidroksit ile abroplanır, mevcut hidrojen sülfür ise civa (II) klorür ile abroplanır. |
| Alkali Oksitlerin Tayini (Metod 1) | % ÇK < 3.0 olan çimentolar HCO ile bozunur, % ÇK > 3.0 olan çimentolar ise HNO_3 , H_2O_2 ve HF ile bozunur ve çözeltilerin Alev Fotometre de emisyon ölçümleri yapılır. Konsantrasyon değerleri kalibrasyon çözeltilerinin ölçülen şiddetlerinden ve ait oldukları konsantrasyon değerlerinden doğrusal interpolasyon ile elde edilir, yüksek CaO 'in Na 'a etkisi H_3PO_4 ile önlenir. |
| Alkali Oksitlerin Tayini (Metod 2) | Asitte tamamen çözünen çimentolar HCl ile çözünmeyen çimentolar ise $\text{HF}/\text{H}_2\text{SO}_4$ ile çözülüp Alev Fotometrede ölçülerek konsantrasyonlar elde edilir, (sezyum klorür ve alüminyum nitrat içeren tampon çözelti kullanılır.) |
| Puzolanik Özellik | TS EN 196-5 |
| | Puzolanik özellik, hidrate çimentoyla temas halinde olan sulu çözeltideki CaOH miktarının, aynı alkalinitedeki çözeltiyi doygun hale getirebilen CaOH miktarıyla karşılaştırılmasıyla değerlendirilir. Çözeltideki CaOH iyonu konsantrasyonu doygun konsantrasyondan daha düşükse deney olumlu olarak kabul edilir. 40°C de 20 gram çimento ve 100 ml su karışımı 8 ile 15 gün sonunda dengeye ulaşmaktadır. |

7.3 TS EN 197-1’de Yer Alan Özel Deneyler

Standard, çimento ana bileşeni olarak kullanılabilen kalkerin özellikleri için bazı kriterler belirlenmiştir. Kil muhtevası tayini (TS EN 933-9) ve toplam organik karbon tayini (TSE-prEN 13639) için bu yeni deney metodları aşağıdaki tablolarda kısaca açıklanmıştır:

| KİL MUHTEVASI TAYİNİ: AGREGALARIN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ İÇİN DENEYLER- BÖLÜM 9: İNCE TANELERİN TAYİNİ-METİLEN MAVİSİ DENEYİ (TS EN 933-9) [14] | |
|---|--|
| PRENSİP | Metilen mavisi çözeltisi, numuneden hazırlanmış süspansiyona ilave edilir. Bu ilave edilen Metilen mavisi numune tarafından absorplanır. Metilen mavisinin numune tarafından artık absorplanmadığı nokta (ortalama serbest boya verildiği nokta) Leke Deneyi ile tayin edilir. Bu serbest boyanın varlığının teyidi ile, metilen mavisi değeri [MB (0-2) mm aralığının veya MB, (0-0,125) mm aralığının] hesaplanır ve deneye tabi tutulan agreganın büyüklük ağırlığının beher kilogramı başına adsorplanan boya gram cinsinden ifade edilir. |
| TSEN 197-1/ Madde 5.2.6 b) | EN 933-9’a göre yapılan metilen mavisi deneyi ile tayin edilen kil muhtevası 1,2 g/100 gram’ı geçmemeli. |
| KALKERDE TOPLAM ORGANİK KARBON TAYİNİ, TOC Deneyi (TSE-prEN 13639) [15] | |
| Madde 6 | Yaş Oksitleme Metodu (Referans Metod) |
| | Kalkerde karbon dioksit, fosforik asit ile uzaklaştırılır. Geri kalan organik karbon, kuvvetli oksitleyici ve reaktif karışım kullanılarak karbondioksitle yükseltgenir. Serbest kalan karbondioksit, U tüpünün içinde sodyum hidroksitle emdirilmiş inorganik abroplayıcı tarafından absorplanır. Kütle artışı, numunedeki organik karbon miktarı ile doğru orantılıdır. |
| Madde 7 | Gravimetrik, Fırında Yükseltgeme (Oksitleme) Metodu Alternatif Metod 1 |
| Madde 8 | Fırında Yükseltgeme Kızılötesi (Infrared) Tespit Metodu Alternatif Metod 2 |
| Madde 9 | Otomatik Tayin Metodları Alternatif Metod 3 |

8. MUHTELİF ÇEVRESEL ETKİLERE MARUZ BETONLAR İÇİN UYGUN ÇİMENTO TİPLERİ

TS EN 197-1 çimento standardı ile paralel olarak yürürlüğe giren TS EN 206-1 beton standardı Ek F Bölümündeki F.1 Tablosunda çeşitli çevre etkileri altında kalacak betonlar için bilgi olarak karışım sınır değerleri verilmiştir [16]. Tablo sadece CEM I tipi çimentoları içermiştir. Dolayısı ile, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği ve Türkiye Hazır Beton Birliği uzmanlarınca TS EN 206-1'e "Ulusal Ek" olarak hazırlanan dokümanda TS EN 197-1'deki diğer çimento tiplerinin de çevre koşullarına göre uygun kullanım alanlarını belirtecek tablolara yer verilmesinde yarar görülmüştür [17]. Ulusal Ek taslağında F.2 ve F.3 olarak numaralandırılan bu tablolar aşağıda verilmiştir. Tabloların oluşturulmasında Alman ve Avusturya beton standartları ulusal eklerinden de yararlanılmıştır.

Çevre etkilerinin alt sınıfları TS EN 206-1'de tanımlanmıştır.

Tablolarda kullanılan sembollerin açıklamaları şöyledir:

Etki sınıfları için:

+: Kullanılabilir

O: Kullanılamaz

- 1) Minimum çimento miktarı 20 kg/m³ artırılmalıdır.
- 2) Bu çimento ve çimentolardan oluşan beton kompozisyonlarındaki hava miktarı, aşağıdaki sınırlar içinde ise kullanılabilir.

XF2 ve XF3 için genel beton birleşimlerinde, aşağıdaki hava miktarları kullanılabilir:

$D_{\max} 22 / D_{\max} 32$: %2,5 - %5,0

$D_{\max} 16$: %3,0 - %5,0

$D_{\max} 4 / D_{\max} 8 / D_{\max} 11$: %4,0 - %6,0

$D_{\max} 63$: %2,0 - %4,0

XF 4 için genel beton birleşimlerinde, aşağıdaki hava miktarları kullanılabilir:

| | | |
|-----------------------------|---|--------------|
| $D_{\max} 22 / D_{\max} 32$ | : | %4,0 - %8,0 |
| $D_{\max} 16$ | : | %4,5 - %8,5 |
| $D_{\max} 8 / D_{\max} 11$ | : | %6,0 - %10,0 |
| $D_{\max} 4$ | : | %7,0 - %11,0 |
| $D_{\max} 63$ | : | %2,0 - %4,0 |

- a: Bu tabloya göre kullanılamaz olan çimentoların bazıları Çimento Bölüm 1: Genel Çimentolar TS EN 197-1'e göre bir doğrulama ile uygulanabilirler.
- b: Sülfat ile kimyasal etkide (deniz suları hariç) XA1 etki sınıfının Üstünde sülfatlara dayanıklı çimento (TS 10157)-Çimento Sülfatlara dayanıklı çimento) kullanılmalıdır.
- c: Özel kombinasyonlar daha uygun olabilir. Üç ana unsurlu CEM II-M-Çimentoları için bkn. Tablo F.3.1 İki ya da üç ana unsurlu CEM-IV Çimentoları ve CEM-V-Çimentoları için bkn. Tablo F.3.2
- d: P içeren çimentolar, bu uygulama durumu için şu ana kadar Kontrol edilmemiş olduğundan, dahil edilmemiştir.
- e: Yalnızca ana unsur olarak max. %40'a kadar (kütlece) TS 25 Uyumlu tras için geçerlidir.
- f: Yalnızca ana unsur olarak TS 25 yumlu tras için geçerlidir.

8.1 (Çizelge F.2) Çeşitli Çevre Etkileri Altında Betonlar İçin Uygun Çimento Tipleri

| Çimento Tipi | Korozyon veya zararlı etki tehlikesi | Karbonlaşma nedeniyle korozyon | | | | | Klorürün sebep olduğu korozyon | | | | | Öngörülen beton | | |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|----|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------------|-----|---|
| | | Deniz suyu haricinde klorür | | | | | Deniz suyu | | | | | | | |
| | | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | XO | XD1 | XD2 | XD3 | XS1 | XS2 | | XS3 | |
| CEM I, TS 21 | A/B S | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A D | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A/B P/Q | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A V | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A W | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A/B T | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A LL | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A L | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| CEM II | A M* | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| CEM III | A | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | C | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| CEM IV* | A | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| CEM V* | A | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

(Çizelge F.2 devamı) Çeşitli Çevre Etkileri Altında Betonlar İçin Uygun Çimento Tipleri

| | Donma/çözülme etkisi | | | | Zararlı-kıyasal ortam | | | Mekanik aşınma | | |
|---------------------|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|------------------|------------------|----------------|-----|-----|
| | XF1 | XF2 | XF3 | XF4 | XA1 | XA2 ^b | XA3 ^b | XM1 | XM2 | XM3 |
| CEM I, TS 21 | A/B | S | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A | D | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A/B | P/Q | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A | V | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | | + ²⁾ | + ²⁾ | + | + | + | + | + | + |
| | A | W | + ²⁾ | + ²⁾ | + | + | + | + | + | + |
| | B | | + ²⁾ | + ²⁾ | + | + | + | + | + | + |
| | A/B | T | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | A | | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | LL | + ²⁾ | + ²⁾ | 0 | 0 | 0 | + | + | + |
| CEM II | A | L | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | | + ²⁾ | + ²⁾ | + | + | + | + | + | + |
| | A | M ^e | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | | + ²⁾ | + ²⁾ | + | + | + | + | + | + |
| | A | | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | | + ²⁾ | + ²⁾ | 0 | 0 | 0 | + | + | + |
| | A | | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | B | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | + | + |
| | C | | 0 | 0 | 0 | + | + | 0 | 0 | 0 |
| | A | | 0 | + ²⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CEM IV ^c | B | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A | | 0 | + ²⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CEM V ^c | B | | 0 | + ²⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A | | 0 | + ²⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

8.2 (Çizelge F.3.1) Çeşitli Çevre Etkileri Altında Betonlar İçin Uygun Çimento Tipleri
(Uç ana unsurlu CEM-İ/M-Çimentoları İçin)

| Çizelge F.3.1 | Korozyon veya zararlı eki tehlikesi yok | Karbonatlaşma nedeniyle korozyon | | | | Klorürün sebep olduğu korozyon | | | | | | Öngörülen beton | | |
|---------------|---|----------------------------------|-----|-----|-----|--------------------------------|-----|-----|------------|-----|-----|-----------------|---|----------------|
| | | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | Deniz suyu hariçinde klorür | | | Deniz suyu | | | | | |
| | | | | | | XD1 | XD2 | XD3 | XS1 | XS2 | XS3 | | | |
| A | S-D; ST; S-LI; S-I; D-T; D-LI; D-I; T- LI; T-LI | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| B | SP; SV; D-P; D-V; P-V; P-T; P-LI; P-L; V-T; V-LI; V-L | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| M | S-D; ST; D-T | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0 ^d |
| | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0 ^d |
| CEM-III | S-LI; S-I; D-LI; D-I; P-LI; P-L; V-LI; V-L; T-LI; T-L | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0 ^d |
| | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0 ^d |

(Çizelge F.3.1 devamı) Çeşitli Çevre Etkileri Altında Betonlar İçin Uygun Çimento Tipleri (Uç ana unsurlu CEM/İFM-Çimentoları İçin)

| | Donma/çözülme etkisi | Zararlı kimyasal ortam | | | Mekanik aşınma | | | Öngörülmesi beton | | | | | | | |
|--------|---|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|------------------|----------------------|------------------|-----|-----|-----|---|---|----------------|
| | | XF1 | XF2 | XF3 | XF4 | XA1 | XA2 ^b | | XA3 ^b | XM1 | XM2 | XM3 | | | |
| A | S-D; S-T; S-LI; S-L; D-T; D-LI; D-L; T- LI; T-L | | + | | | | | | | | | | | | |
| | SP; SV; D-P; D-Y; P-V; P-T; P-LI; P-L; V-T; V-LI; V-L | | 0 | + | 0 | | | | | | | | + | | |
| B | S-D; S-T; D-T | + ²¹ | + ²¹ | + ²¹ | + ²¹ | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | S-P; D-P; P-T | + ²¹ | + ²¹ | + ²¹ | + ²¹ | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 0 ^d |
| M | S-V; D-V; P-V; V-T | + ²¹ | + ²¹ | + ²¹ | + ²¹ | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + ^d |
| | S-LI; S-L; D-LI; D-L; P-LI; P-L; V-LI; V-L; T-LI; T-L | + ²¹ | + ²¹ | + ²¹ | + ²¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + ^d |
| CEM II | | | | | | | | | | | | | | | |

8.3 (Çizelge F.3.2) Çeşitli Çevre Etikileri Altında Betonlar İçin Uygun Çimento Tipleri
(İki ya da üç ana unsurlu CEM-IV-Çimentoları ve CEM-V-Çimentoları İçin)

| | Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok | Karbonlaşma nedeniyle korozyon | Klorürün sebep olduğu korozyon | | | | | | | Öngörülen beton | | | | | | | | | | |
|--------|--|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|---|---|
| | | | Deniz suyu haricinde klorür | | | | Deniz suyu | | | | | | | | | | | | | |
| | | | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | XD1 | XD2 | XD3 | | XS1 | XS2 | XS3 | | | | | | | |
| CEM IV | (P _e) | | + | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CEM V | A | | + | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(Çizelge F.3.2) Çeşitli Çevre Etkileri Altında Betonlar İçin Uygun Çimento Tipleri
(İki ya da üç ana unsurlu CEM-IV-Çimentoları ve CEM-V-Çimentoları İçin)

| Çimento Tipi | Donma/çözülme etkisi | | | | Zararlı kimyasal ortam | | | Mekanik aşınma | | | Önerilmeli beton |
|--------------|----------------------|-------------------|-----|-----------------|------------------------|------------------|------------------|----------------|-----|-----|------------------|
| | XF1 | XF2 | XF3 | XF4 | XA1 | XA2 ^b | XA3 ^b | XM1 | XM2 | XM3 | |
| CEM IV | | | | | | | | | | | |
| | B | (P ^h) | | | | | | | | | |
| CEM V | A | | + | + ²¹ | + | + | + | + | 0 | 0 | 0 |
| | B | (S-P) | | | | | | | | | |

9. BETONDA KULLANILAN MİNERAL KATKILARLA İLGİLİ STANDARDLAR

- TS EN 450-1 Uçucu Kül - Betonda Kullanılan
- TS EN 15167-1 Beton, Harç ve Grobetonda kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu
- TS EN 13263-1 Silis dumanı - Betonda kullanılan

10. SONUÇ

TS EN 197-1 standardı genel çimentolar olarak portland çimentosuna ilaveten geniş bir katkılı çimento yelpazesi sunarak 27 tip çimento üretimine imkan vermektedir. Aynı çimento içinde birden fazla katkının kullanılmasına da olanak sağlamaktadır. Çimento türlerinde artış olmasına rağmen bir çimento fabrikası, yöresindeki katkı maddeleri ve talep durumlarına göre en fazla 3-4 tip çimentoyu üretmeye devam edecektir. Gene de yeni standardın bu yönden üreticiye esneklik sağladığı söylenebilir.

Yeni standartlar performansa dönük olarak çimentonun sürekli ve daha sıkı kalite kontrolüne tabi tutulmasını öngörmektedir. Öngörülen kontrol yöntemleri Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) ve üyesi fabrikalar tarafından uzun bir süredir titizlikle uygulanmakta olan yöntemlerdir.

Yapı Malzemeleri Yönetmeliği'nin yürürlüğe girmesi ile çimentonun yurt içinde ve dışında piyasada sürülebilmesi için CE Markası alması gerekmektedir. TÇMB de bunun için gerekli hazırlıklar tamamlanmış bulunmaktadır. Bünyesindeki Laboratuvarlar ve Kalite Çevre Kurulu Mayıs 2003 tarihinde TÜRKAK tarafından akredite olarak, CE Markası alınması sürecinde "Deney Laboratuvarı" için TS EN ISO 17025 ve "Onaylanmış Muayene ve Belgelendirme Kuruluşu" için TS EN 45004 ve TS EN 45011'e göre görev yapabilme durumundadırlar.

11. KAYNAKLAR

1. TS EN 197-1 "Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
2. TS EN 196-1 "Çimento Deney Metodları-Bölüm 1: Dayanım Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
3. TSEN 196-2 "Çimento Deney Metodları-Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
4. TS EN 196-3 "Çimento Deney Metodları-Bölüm 3: Priz Süresi ve Genleşme Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
5. TS EN 196-5 "Çimento Deney Metodları-Bölüm 5: Puzolanik Çimentolarda Puzolanik Özellik Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
6. TS EN 196-6 "Çimento Deney Metodları-Bölüm 6: İncelik Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
7. TS EN 196-7 "Çimentodan Numune Alma Metodları", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
8. TSEN 196-21 "Çimento Deney Metodları-Bölüm 21: Klorür, Karbon Dioksit ve Alkali Muhtevası Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
9. TS EN 197-2 "Çimento-Bölüm 2: Uygunluk Değerlendirmesi", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
10. Erdoğan, B., "Seminer Notları", TÇMB, Ankara, 2004.
11. Katnaş, F., "Seminer Notları", TÇMB, Ankara, 2004.
12. TS EN 933-9 "Agregaların Geometrik Özellikleri için deneyler-Bölüm 9: İnce tanelerin Tayini-Metilen Mavisi Deneyi", Türk Standartları Enstitüsü, 1999.
13. TS prEN 13639 "Kalkerde Toplam organik Karbon Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
14. TS EN 206-1 "Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk", Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
15. TÇMB-THBB, "TS EN 206-1 Ulusal Ek Taslağı", 2004.

**TÜRKİYE ÇİMENTO MÜSTAHSİLLERİ BİRLİĞİ
AR-GE ENSTİTÜSÜ'NÜN YAYINLARI**

1. TÇMB/AR-GE/Y96.1 Türkiye Çimento-Beton Araştırmacı Envanteri (1996)
2. TÇMB/AR-GE/Y96.2 Türkiye Çimento-Beton Ekipman Envanteri (1996)
3. TÇMB/AR-GE/Y97.1 Türkiye Çimentoları, prEN 197 Çimentoları ve Avrupa Ülkelerinde İç Satış İstatistikleri
4. TÇMB/AR-GE/Y97.2 Cürüflar ve Cürüflü Çimentolar Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Raporu
5. TÇMB/AR-GE/Y97.3 Çimento ve Beton Tez Özetleri (1995, 1996)
6. TÇMB/AR-GE/Y98.1 Avrupa Çimento Standartları ve Testleri
7. TÇMB/AR-GE/Y98.2 Türkiye Çimento Endüstri Enerji ve Emisyon Düşünceleri
8. TÇMB/AR-GE/Y98.3 Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu
9. TÇMB/AR-GE/Y98.4 Cumhuriyetimizin 75. Yılında Türk Çimento Sektörü
10. Proceedings of 1st International Symposium on Admixtures in Cement (1. Uluslararası Çimentoda Mineral Katkılar Sempozyumu Bildiriler Kitabı)
11. TÇMB/AR-GE/Y99.1 TÇMB Çimento ve Beton Araştırma Geliştirme Enstitüsü
12. TÇMB/AR-GE/Y99.2 Traslar ve Traslı Çimentolar
13. Proceedings of 2nd International Symposium on "Cement and Concrete Technology in the 2000's" (2. Uluslararası Sempozyum "2000'lerde Çimento ve Beton Teknolojisi" Bildiriler Kitabı)
14. TÇMB/AR-GE/Y01.01 Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı
15. TÇMB/AR-GE/Y02.01 Beton Yollar
16. TÇMB/AR-GE/Y03.01 Uluslararası Beton Yollar Kongresi-Konuşma Metinleri
17. TÇMB/AR-GE/Y03.02 Çimento/Yeni Bir Çağın Malzemesi
18. TÇMB/AR-GE/Y03.03 Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri
19. TÇMB/AR-GE/Y04.01 Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar
20. TÇMB/AR-GE/Y04.02 Türkiye'de Çimento ve Beton Konularında Araştırmacılar ve Laboratuvarlar

YAYIN TALEP FORMU

Aşağıda yayın numarası sunulmuş olan yayınlarınızın adresime gönderilmesini arz ederim.

Adı :

Soyadı :

Mesleği :

Çalıştığı Kurum :

Adres :

İstenecek Yayınlar

Yayın talepleriniz için bu formu 0.312.265 09 06 numaralı faksa gönderebilir veya info@tcma.org.tr adresine mail atabilirsiniz.