

Sıcak Havanın Betona Etkileri

İnş.Yük.Müh. Yasin ENGİN

Effects of Hot Weather on Concrete

TS 1248 defines the hot weather as "the average value of the air temperature in three consecutive days is over 30 °C". Hot weather conditions for concrete do not only depend on air temperature, but also depend on humidity, wind speed, fresh concrete temperature and sun (solar) radiation. Hot weather conditions have crucial impacts on fresh and hardened concrete properties like strength, flowability, setting time and air content. It is better to analyze the weather conditions before concrete pouring and then take necessary precautions. The best and effective results can be achieved by the cooperation of concrete producer and the constructor.

Yüksek hava sıcaklığı ile birlikte nemsiz ve rüzgârlı hava beton dökümü için en elverişsiz ortamın oluşmasına neden olur.

Sıcak Havanın Betona Etkileri

Sıcak hava koşulları, betonun kalitesini ve performans beklenen özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir ve karıştırma, yerleştirme ve kür işlemlerinde sorunlara neden olabilir. Bu sorunların çoğu, hidratasyon hızının ve taze beton içindeki suyun buharlaşma hızının artması kaynaklıdır [2].

Sıcak Havanın Tanımı

Sıcak hava, TS 1248 (Anormal Hava Şartlarında: Betonun Hazırlanması, Dökümü ve Bakımı Kuralları) Standardına göre art arda 3 günlük hava sıcaklığı ortalamasının 30 °C'nin üzerinde olması şeklinde ifade edilir. Ortalama sıcaklık beton döküm yerinde; saat 07.00'de, 10.00'da, 13.00'te, 16.00'da ve 19.00'da ölçülen hava sıcaklıklarının aritmetik ortalamasıdır.

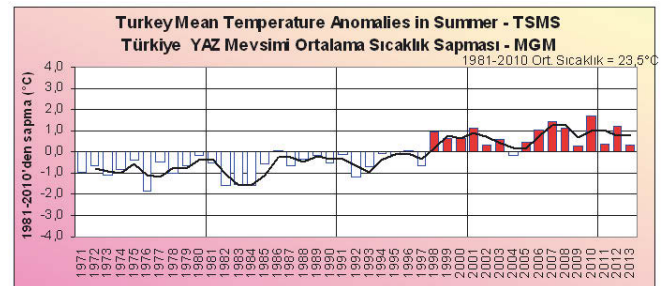
Sıcak hava koşullarının sadece hava sıcaklığı ile değil, aşağıdaki koşulların bir kombinasyonu olarak değerlendirilmesi gerekmektedir [1]:

1. Ortam sıcaklığı
2. Beton sıcaklığı
3. Bağıl nem
4. Rüzgâr hızı
5. Güneş ışınlarının etkisi

Hava sıcaklığı arttıkça;

- Beton sıcaklığı yükselir,
- Su ihtiyacı artar,
- Kıvam kaybı artar,
- Priz süresi kısılır,
- Plastik ve kuruma rötrelere bağlı çatlama eğilimi artar,
- Soğuk derz oluşumu riski artar,
- Hava içeriğinin kontrolü zorlaşır.

Tüm bu etkenler betonun dayanım ve dayanıklılık (dürabilite) özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle, sıcak hava koşullarının beton üzerindeki olumsuz etkileri izlenmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Son yıllarda küresel ısınma nedeniyle hava sıcaklıkları giderek artmakta ve sıcaklık etkisinin süresi de uzamaktadır. Şekil 1'deki grafikte son yıllardaki ortalama sıcaklıktaki belirgin artış görülmektedir. 1971-2010 yılları arasında yaz mevsimi ortalama sıcaklığı 23.5 °C'dir.



Şekil 1: Uzun yıllara dayalı yaz mevsimi ortalama sıcaklık sapması [3]

Betonda Buharlaşma ve Terleme

Betonda su kaybı buharlaşma nedeni ile meydana gelir. Bu kayıp ya buharlaşmayı engelleyici önlemler ile ya da kaybolan suyun betona geri verilmesi ile telafi edilebilir. Buharlaşma hızını etkileyen 3 ana etken vardır:

1. Ortam sıcaklığı
2. Bağıl nem
3. Rüzgâr hızı

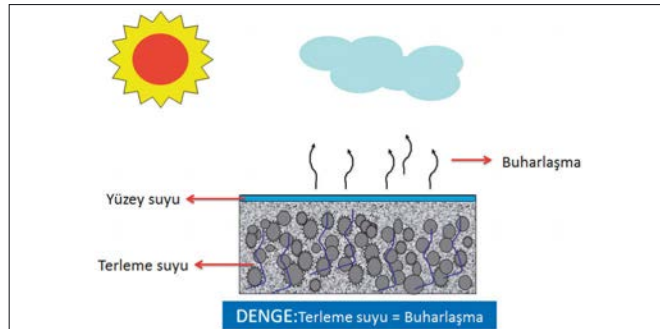
Terleme hızı ve süresi; betonu sıkıştırma yöntemine, beton kesitinin kalınlığına ve betonun içeriğine (reçetesine) göre değişir. Terlemede su/çimento, daha doğru bir ifade ile su/bağlayıcı oranı en önemli parametredir. Terleme ile ilgili bilinmesi gereken hususlar aşağıda belirtilmiştir [4].

- Aşırı vibrasyon işlemi ile terleme hızı artar.
- Kalın kesitli elemanlarda terleme daha fazla olur.
- Terleme miktarı az olan betonlarda yüzey daha erken kurur.
- Yüksek dayanımlı betonlarda ince malzeme içeriği daha fazla olduğundan terleme az olur.
- Kuru zemine yerleştirilen betonda terleme daha az olur.
- Çimento özgül yüzeyi (çimento inceliği) arttıkça terleme azalır.

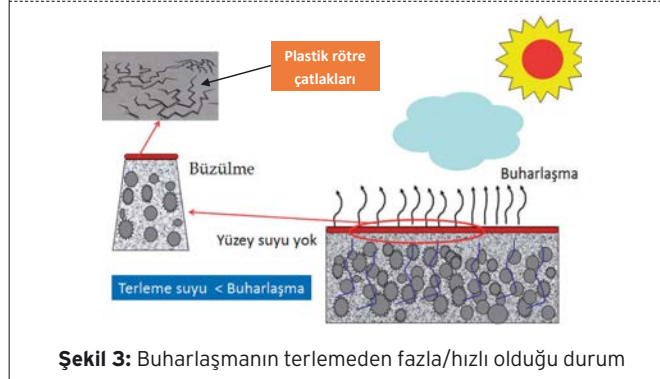
Buharlaşma hızı ile terleme hızının dengede olması ideal bir durumdur [bknz. Şekil 2]. Ancak, buharlaşma hızının kritik seviyenin üzerinde olması durumunda beton yüzeyinde Şekil 3'te görüldüğü gibi plastik büzülme (plastik rötne) meydana gelir. Yüzeyde oluşan çatlaklar betonun geçirimsizliğini arttıracak gibi estetik görünümü de bozar.

ÖNEMLİ NOT

Terleme henüz tamamlanmadan yapılacak yüzey master ve yüzey bitirme işlemleri sonucu beton yüzeyinde su/çimento oranı yüksek bir tabaka oluşur ve tozuma, kabuk atma gibi istenmeyen durumlar meydana gelebilir.

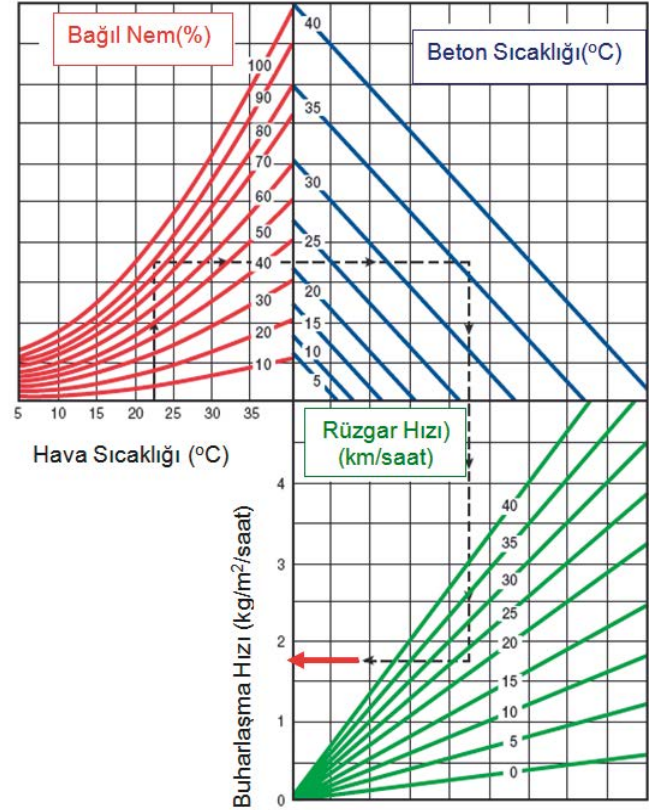


Şekil 2: Buharlaşma ve terleme denge durumunda



Şekil 3: Buharlaşmanın terlemeden fazla/hızlı olduğu durum

Şekil 4'te gösterilen grafik ile 1 m² beton yüzeyinde 1 saatte meydana gelecek buharlaşma hızı tespit edilebilir. Ayrıca, buharlaşma hızı aşağıdaki formülle de hesaplanabilir. Rüzgârın olmadığı ya da rüzgâr hızının çok az olduğu ve yüksek bağıl nem olan durumda hava sıcaklığının beton sıcaklığından yüksek olması buharlaşma hızının negatif olmasına neden olur. Bu durumda beton yüzeyinde yoğuşma meydana gelir.



Şekil 4: Beton sıcaklığı, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızının beton yüzeyinde olan buharlaşma hızına etkileri [1]

ÖNEMLİ NOT

- İzin verilebilen en yüksek buharlaşma hızı $B_{maks} = 1.0 \text{ kg/m}^2 / \text{saat}$
- $0.5 \text{ kg/m}^2 / \text{saat}$ ve üstü değerlerde önlem alınmalıdır.
- Yüksek dayanımlı betonlarda B_{maks} değeri daha da düşük olmalıdır [5].

ÖNEMLİ NOT

Hava sıcaklığı 23 °C, bağıl nem %90, beton sıcaklığı 36 °C ve rüzgâr hızı 28 km/saat iken 1 m² beton yüzeyinden 1 saat içinde yaklaşık 1.8 kg buharlaşma meydana gelir. Bu durumda önlem almak gerekir.

UYGULAMALAR APPLICATIONS

1 m²'lik beton yüzeyinden bir saatlik süre içinde buharlaşacak su miktarı aşağıdaki formül ile bulunabilir ve elde edilen sonuca göre önceden gerekli tedbirler alınabilir.

$$B = 5 \times ([T_c + 18]^{2.5} - r[T_a + 18]^{2.5}) \times (V + 4) \times 10^{-6}$$

⇒ B = 1 m²'den bir saatte buharlaşan su miktarı oranı

⇒ r = Bağıl nem, %

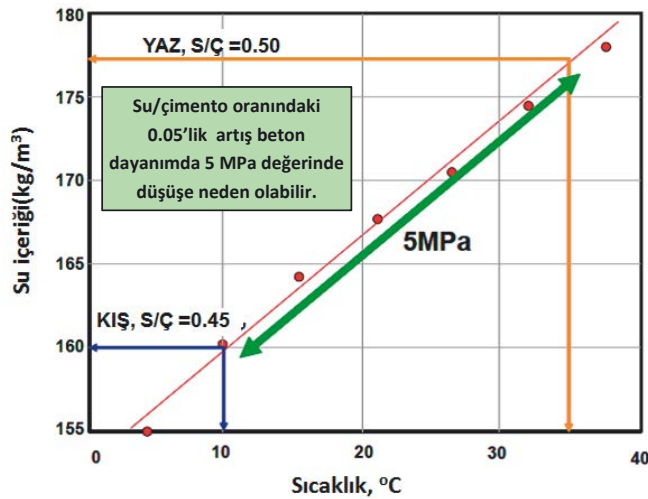
⇒ T_a = Hava sıcaklığı, °C

⇒ T_c = Beton sıcaklığı, °C

⇒ V = Rüzgar hızı, km/saat

Hava Sıcaklığı - Su İhtiyacı İlişkisi

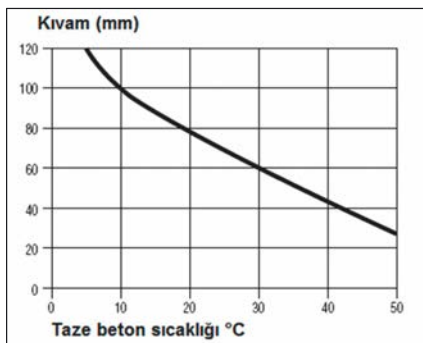
Şekil 5'te görüldüğü gibi hava sıcaklığı arttıkça betonun su ihtiyacı artmaktadır. Çimento dozajı sabit tutulduğu durumda ise dayanım ve dayanıklılık için en kritik değer olan su/çimento oranı yükselmektedir. Bu durumda beton dayanımında ciddi anlamda düşüş görülmektedir. Su/çimento oranındaki 0.05'lik artış beton dayanımında 5 MPa değerinde düşüşe neden olabilir.



Şekil 5: Hava sıcaklığı-su ihtiyacı ilişkisi [6]

Beton Sıcaklığı - Kıvam İlişkisi

Beton sıcaklığındaki artış betonda kıvam kaybına neden olur [bknz. Şekil 6]. Bu nedenle priz geciktirici, su azaltıcı ve kıvam koruyucu kimyasal katkıları kullanılması fayda vardır.

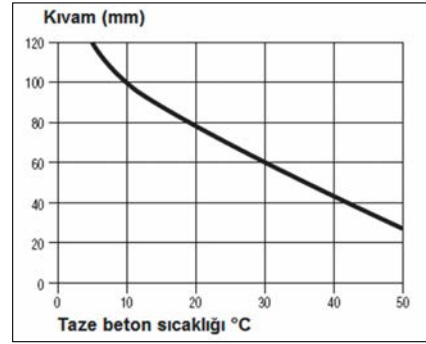


Şekil 6:

Beton sıcaklığı-kıvam ilişkisi [7]

Hava Sıcaklığı - Priz Süresi İlişkisi

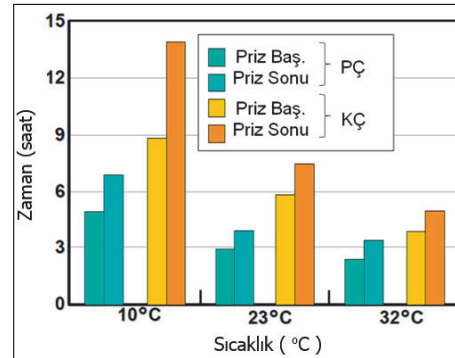
Şekil 7'de hava sıcaklığı ile priz süresi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Hava sıcaklığındaki 5 °C'lık bir artışın priz süresini %20-25 oranında düşürdüğü görülmektedir.



Şekil 7:

Hava sıcaklığı-priz süresi ilişkisi [7]

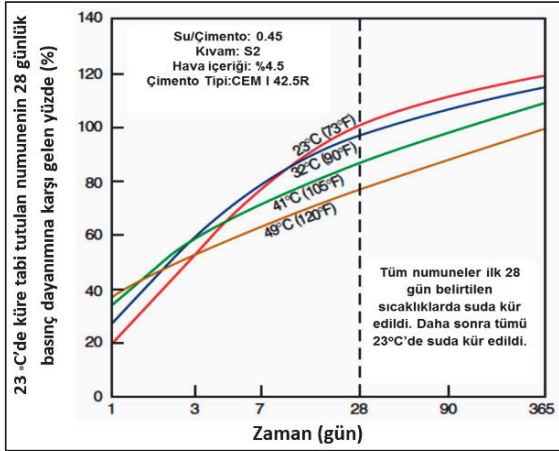
Şekil 8'de görüldüğü gibi beton sıcaklığındaki artış priz başlangıcı ve priz sonu sürelerini düşürmektedir. Ancak, katkı çimento(KÇ) kullanımı ile bu durumun önüne geçilebilir. Ayrıca, priz geciktirici katkı kullanımı ile priz süreleri uzatılabilir.



Şekil 8: Beton sıcaklığı-priz süresi ilişkisi [6]

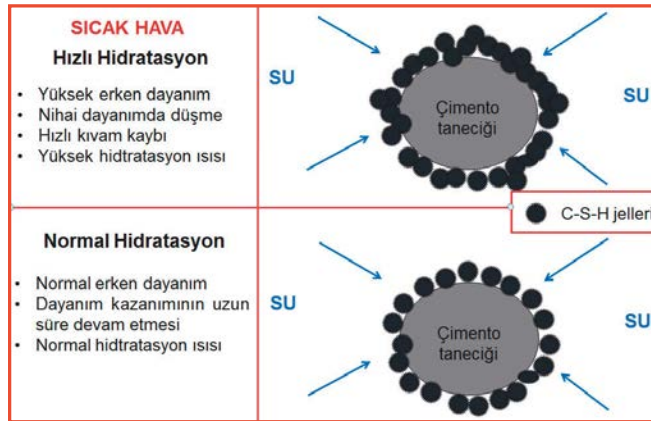
Beton Sıcaklığı - Basınç Dayanımı İlişkisi

Beton sıcaklığının artması betonun erken yaş dayanımını arttıran bir etkidir. Bunun ana nedeni hidratasyon reaksiyonunun sıcaklık artışı ile hızlanması ve daha fazla hidratasyon ürününün oluşmasıdır. Betonda erken dayanımı sağlayan C₃S hidratasyonu sıcaklığın artması ile hızlanır ve çimento tanecikleri etrafında daha fazla ve daha yoğun C-S-H jeli oluşur. Beton sıcaklığının artması erken yaş dayanımının aksine nihai dayanımın normal koşullara göre daha düşük olmasına neden olur. Bunun nedeni ise erken yaşta sıcaklık nedeniyle oluşan ürünlerin çimento taneciklerinin etrafında çok yoğun ve geçirimi düşük bir tabaka oluşturmalarıdır. Oluşan ürünler üniform (tekdüze) bir şekilde dağılmamaktadır ve suyun hidrate olmamış çimentoya ulaşımını engellemektedir [4]. Bunun sonucunda dayanım gelişimi yavaşlamaktadır [bknz. Şekil 10].



Şekil 9: Farklı sıcaklıklarda kür edilen numunelerin dayanım gelişimi[8]

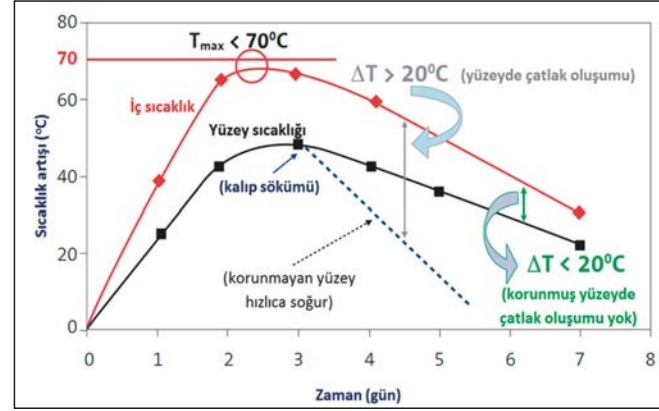
Şekil 9'da farklı sıcaklıklarda küre tabi tutulan aynı betona ait numunelerin dayanım gelişimi gösterilmektedir. Bir günlük dayanım değerlerine bakıldığında en yüksek dayanım 49°C'de kür uygulanan numunede, en düşük dayanım ise 23°C'de kür uygulanan numunede görülmüştür. Yedi günlük dayanıma bakıldığında 49°C'de küre tabi tutulan numune en düşük dayanımı, 32°C'de küre tabi tutulan numune ise en yüksek dayanımı vermiştir. Yirmi sekiz günde ise 1 günlük dayanımın tersine en yüksek dayanım 23°C ile en düşük sıcaklıkta küre tabi tutulan numunede görülmüştür. Yirmi sekiz günden sonraki dayanım gelişimi de benzer şekilde devam etmiştir.



Şekil 10: Hızlı ve normal hidrasyonda C-S-H oluşumu

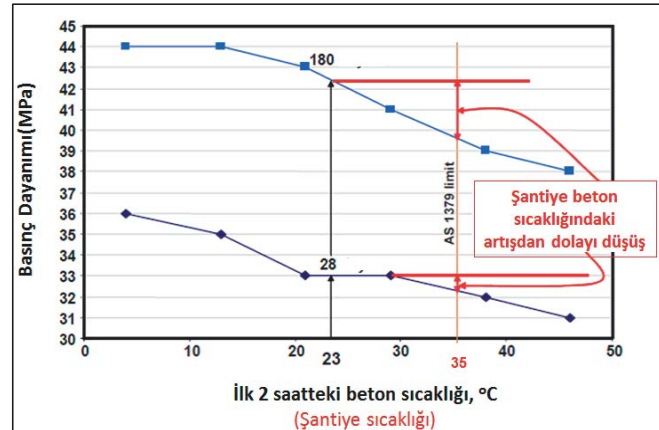
ÖNEMLİ NOT

Yaz mevsiminde kütle beton dökümlerinde tabaka kalınlığı 1 m'den fazla ise tek seferde döküm yapılmamalıdır. Malzeme sıcaklığı düşürülmeli ve beton dökümünden sonra uygun bakım yapılmalıdır. Beton tabakasının alt, orta ve üst kısmında sıcaklık değerleri ölçülmelidir. Kütle beton dökümlerinde dikkat edilecek en önemli iki husus betondaki en yüksek sıcaklık değeri ve sıcaklık farkıdır. Şekil 11'de görüldüğü gibi betonun iç sıcaklığının 70 °C'nin üzerinde olması istenmez. Bu durum gecikmiş etrenjit formasyonu oluşuma neden olabilir. Betonun iç sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı (yüzeyin yaklaşık 5-10 cm altından ölçüm alınır) arasında 20 °C'den fazla fark olmaması gerekir. Aksi takdirde termal (ısı) çatlak oluşumu meydana gelebilir.



Şekil 11: Kütle betonda sıcaklık kontrolü

Sıcak hava koşullarında alınan beton numuneleri 16-72 saat arasında 15°C - 25°C sıcaklık aralığındaki bir ortamda muhafaza edilmelidir. Kalıptan çıkarıldıktan sonra ise 18°C - 22°C arasında suda korunmalıdır [9]. Özellikle yaz mevsiminde uygun koşullarda muhafaza edilmeyen numuneler yanıltıcı değerler vermektedir. Şekil 10'da ilk iki saat daha yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun 28 günlük dayanım değerinin düştüğü görülmektedir. Bu durumda numune dayanımı olması gereken beton dayanımından daha düşük olabilir. Şekil 12'den çıkarılacak önemli bir sonuç farklı sıcaklıklarda numune muhafazası sonucu beton üreticisi ile yapı denetim laboratuvarı sonuçlarının ciddi fark gösterebileceğidir. Özellikle, şantiye ortamında numune alma ve saklama koşullarının zor olduğu düşünülürse tesiste alınan numunelerin dayanımı daha yüksek olabilir. Yanlış uygulama durumlarında yetkililer uyarılmalıdır.

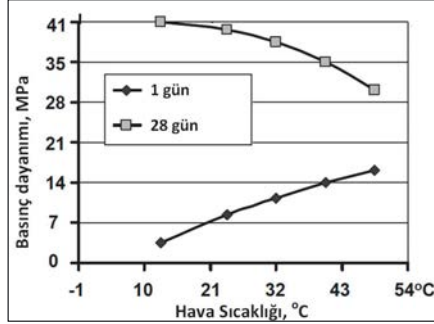


Şekil 12: Şantiyede iki saat farklı sıcaklığa maruz kalan betonların dayanımları [6]

Yukarıdaki şekilde sadece 2 saat 35°C sıcaklığa maruz kalan betonun, 30 °C'den düşük sıcaklığa maruz kalan betonlara göre 28 ve 180 gündeki dayanım kaybı görülmektedir.

UYGULAMALAR APPLICATIONS

Şekil 13'te ilk 24 saat 35°C'de tutulan betonda hava sıcaklığının 1 ve 28 günlük basınç dayanımına etkisi net bir biçimde görülmektedir.



Şekil 13: Hava sıcaklığı - basınç dayanımı ilişkisi [1]

ÖNEMLİ NOT

Yapılan araştırmalar sonucu ilk 24 saat 38 °C'de küre tabi tutulan beton numunelerinin 28 günlük dayanımlarının normal duruma göre %10-15 daha düşük çıktığı tespit edilmiştir [1].

ÖNEMLİ NOT

Beton sıcaklığının 15°C - 20°C arasında olması idealdir; ama bu durum her zaman sağlanamamaktadır. Beton sıcaklığı TS EN 206-1 standardına göre en düşük 5 °C olmalıdır. 2012 yılının Haziran ayında yayınlanan "TS 13515:TS EN 206-1'in Uygulamasına Yönelik Tamamlayıcı Standard" kütle beton haricinde taze beton sıcaklığının 35 °C'yi aşmaması gerektiğini belirtmektedir. Çimento dozajı düşük olan betonlarda yerleştirme sıcaklığının 10 °C'nin altında olmaması gerekmektedir.

Beton Bileşenlerinin Beton Sıcaklığına Etkisi

Beton bileşenlerine ait sıcaklıklar ortalama beton sıcaklığını farklı oranlarda etkilemektedir. Bileşenlerin özgül ısı değerleri ve ağırlıkça oranları belirleyici etkenlerdir. Beton bileşenlerinin sıcaklığının kontrolü özellikle sıcak hava koşullarında oldukça faydalıdır.

Su: Özgül ısı diğer bileşenlere göre daha yüksek olmasına rağmen ağırlıkça daha düşük oranda kullanılması nedeniyle su sıcaklığındaki birim değişiklik beton sıcaklığını çok fazla değiştirmez. Ancak su sıcaklığının diğer malzemelere göre daha kolay ve daha fazla düşürülebilmesi en önemli üstünlüktür. Bu nedenle beton sıcaklığını düşürmekte su sıcaklığının kontrolü oldukça etkin yöntemdir. Hatta bazı durumlarda suyun bir miktarı yerine buz kullanılması çok daha etkin bir yöntemdir.

Agrega: Suya oranla agreganın özgül ısı daha düşüktür. Ancak, beton içinde ağırlıkça en çok kullanılan bileşen agregadır. Bu nedenle birim sıcaklık değişimi çok etkilidir. Agregaların gölgede tutulması, yağmurlama sistemi ile ıslatılması, kapalı bir yerde depolanması ile istenen sıcaklık değerlerine ulaşılabilir. Islatma ile yapılan soğutma çalışmasında agrega rutubeti mutlaka hesap edilmeli ve beton tasarımı buna göre yapılmalıdır.

Çimento: Çimento sıcaklığındaki değişiklik beton sıcaklığını az etkiler. Bunun nedeni çimentonun özgül ısı değerinin ve betondaki miktarının düşük olmasıdır. Diğer önemli bir husus, dökme çimento genel olarak yakındaki bir fabrikadan temin edilir ve çimento yalıtımlı silolarda depolanır. Proses gereği yüksek sıcaklıklarda öğütülen ve depolanan çimentonun sıcaklığını düşürmek oldukça zordur.

Tablo 1 ve Tablo 2'de beton bileşenlerinin sıcaklıklarının beton sıcaklığına etkisi gösterilmektedir. Hazır beton ve prekast üreticilerinin kullandıkları suyu yalıtımlı depolarda muhafaza edilmesi ve mümkünse suyun soğutulması etkili yöntemlerdir. Ayrıca agregaların kapalı stok alanlarında güneş ışığına maruz kalmadan depolanması veya ıslatılmaları önerilir. Bu yöntemin tozumayı da engellediği bilinmektedir.

Beton sıcaklığı aşağıdaki formül ile kolayca hesaplanabilir [8].

$$T = \frac{0,22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_a W_{wa}}{0,22(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}}$$

T_a : Agreganın sıcaklığı(°C)

T_c : Çimento sıcaklığı(°C)

T_w : Su sıcaklığı (°C)

W_a : Agreganın kuru kütlesi(kg)

W_c : Çimentonun kütlesi(kg)

W_w : Suyun kütlesi(kg)

W_{wa} : T_a sıcaklığındaki agrega üzerindeki serbest su ve agrega tarafından emilen suyun kütlesi(kg)

Tablo 1: Örnek bir beton karışımının toplam ısı

Bileşen	Kütle, kg (m)	Özgül ısı, kJ/kg (c)	1°C'lik değişim için gerekli ısı enerjisi (mx c)	Başlangıç sıcaklığı, °C (T)	Malzemedeki toplam ısı enerjisi (Q)
	1	2	3 (1x2)	4	5 (3x4)
Çimento	300	0.92	276	80	22,080
Su	150	4.184	628	30	18,828
Agrega	1900	0.92	1748	30	52,440
Toplam	2350		2652		93,348

Tablo 1'e göre beton sıcaklığı ısı enerjisi formülüne göre 35.2 °C'dir.

Betonda 10C'lik düşüş için yapılması gerekenler ($Q=m.c.\Delta T$) :

Çimento sıcaklığı, $2652/276=9.6$ °C , düşürülmelidir veya;
Su sıcaklığı, $2652/628=4.9$ °C , düşürülmelidir veya;
Agrega sıcaklığı, $2652/1748=1.5$ °C düşürülmelidir.

Tablo 2: Örnek bir beton karışımının toplam ısı (buz içerikli)

Bileşen	Kütle, kg (m)	Özgül ısı, kJ/kg (c)	1°C'lik değişim için gerekli ısı enerjisi (mxc)	Başlangıç sıcaklığı, °C (T)	Malzemedeki toplam ısı enerjisi (Q)
	1	2	3 (1x2)	4	5 (3x4)
Çimento	300	0.92	276	80	22,080
Su	120	4.184	502	30	15,090
Agrega	1900	0.92	1748	30	52,440
Buz	30	4.184	126	0	0
Toplam	2350		2652		89,610 - buzun ergime enerjisi (30kgx335kJ/kg) = 79,560

Tablo 1'e göre 35.2 °C olan beton sıcaklığı 30 kg buz eklendikten sonra 30.0 °C olmuştur (Tablo 2).

Beton sıcaklığı = $(89,610 - 30 \times 335) / 2652 = 30$ °C

Beton Üretiminde Alınması Gereken Önlemler

- Agreganın gölgede stoklanması (doğrudan soğutulması pratik ve ekonomik değildir).
- Agregalara düzenli olarak su püskürtülerek sıcaklık düşürülebilir.
- Su, yalıtımı olan beyaz renkli tanklarda ve mümkünse yer altında tutulmalıdır.
- Su, 1°C'ye kadar soğutulabilir (çiller sistemi).
- Karışım suyuna buz katılabilir ya da su sıvı azot ile soğutulabilir.
- Katkılı çimento tercih edilebilir.
- Taşıma esnasında kaybolan su hesaplanıp beton bileşim hesabı bu duruma göre düzeltilmelidir.
- Akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici kimyasal katkıları kullanılmalıdır.

Beton Dökülmeden Önce Alınması Gereken Önlemler

- Beton dökülecek zemin ıslatılıp suya doygun hale getirilir. Bu sayede taze betondaki suyun zemin tarafından emilmesi engellenir.
- Kalıplar ve donatılar ıslatılır.
- Aşırı rüzgâr var ise döküm yeri etrafına rüzgâr kırıcı paneller yerleştirilebilir.
- Gölgeleme kullanılarak beton güneş ışığından korunabilir.
- Tüm işçiler ve gerekli donanım beton dökümü için hazır olmalıdır.
- Gün içinde sıcaklığın düşük olduğu saatlerde beton dökümü yapılmalıdır.

Beton Taşınırken Alınması Gereken Önlemler

- Hazır beton gitmesi gereken yere zamanında ve en kısa mesafeden gitmelidir. Bunun için önceden planlama yapılmalıdır.
- Transmikser tamburu açık renkte olmalıdır. Kazan devri yüksek olmamalıdır.

Beton Dökümü Esnasında Alınması Gereken Önlemler

- Taze beton sıcaklığı kontrol edilmelidir.
- Aşırı vibrasyon yapılmamalıdır.
- Döküm en kısa sürede gerçekleştirilmelidir.
- Bitirme işlemi yüzeyde terleme suyu biter bitmez hemen yapılmalıdır.

Beton Dökümü Sonrası Alınması Gereken Önlemler

Betonun buharlaşma nedeniyle kaybedeceği su betona geri kazandırılmalıdır. Bunun içinde en etkin bakım yönetimi su ile küredür. Ayrıca, kimyasal kür katkıları da kullanılabilir. Beton yüzeyi membran ile kapatılarak buharlaşma engellenebilir. Düşey elemanların kalıpları su ile ıslatılabilir. Kolon ve perdenin havaya açık baş kısımları naylon bir membran ile kapatılabilir. Döşemelerin en az bir hafta, düşey elemanların ise 3-4 gün süre ile küre edilmesi önerilir. Kullanılan suyun uygun olduğu kontrol edilmelidir.

Kaynaklar

1. ACI 305 R, Hot Weather Concreting
2. TS 1248, Betonun Hazırlanması, Dökümü ve Bakımı Kuralları: Anormal Hava Şartları
3. Türkiye 2011 Yılı İklim Değerlendirmesi Raporu, T.C. Orman ve Su Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara, 2012
4. SOROKA, I., "Concrete in Hot Environments", E&FN SPON, 1993, p.114
5. PAUL, U., Plastic Shrinkage Cracking and Evaporation Formulas, ACI Materials Journal July-August 1998, p.365-375
6. TN 004 Hot Weather Concreting, BCRC Publication, Australia
7. Hot Weather Concreting, CCAA Publication, Australia, 2004
8. KOSMATKA, S. H., KERKHOFF, P., and WILLIAM, C., "Design and Control of Concrete Mixtures" Portland Cement Association Publication, 2003
9. TS EN 12390-2: Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması