

Folkart Towers Temel Kütle Betonunda Sıcaklık Kontrolü

İnş. Y. Müh. A. Atacan ÜTE*

Özet

İzmir'in Bayraklı semtinde yapımı devam eden, ofis ve rezidans olarak yaklaşık 180 m yükseklikte projelendirilen Folkart Towers yüksek yapısına ait C40/50 beton sınıfında tasarlanan temel kütle betonunda termal sıcaklıkların kontrol altına alınması için beton yüzeyinden 15, 50 ve 150 cm derinliklere termocouple kablolar yerleştirilmiş, bu kabloların ucuna 3 girişli data logger termometreler monte edilerek betonun iç sıcaklık ölçümleri kaydedilmiştir. Beton çekirdek kısmındaki iç sıcaklık ile beton yüzeyindeki sıcaklık farkının ilk 10 gün 20 °C'yi aşmamasına dikkat edilmiştir. 20 °C'yi aşan durumlarda gerekli önlemler alınarak sıcaklık farkının korunması sağlanmıştır. 10 günden sonraki beton iç sıcaklığı ile beton yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının tespiti; inşaat hızını maksimum seviyede tutabilmek ve aynı zamanda termal gerilmelerden dolayı oluşması muhtemel çatlakların minimum düzeyde kalmasını sağlamak amacıyla gerilme analizi yapılmıştır. Ayrıca yerleştirilen betonun ulaşabileceği maksimum sıcaklıklar ile ilgili tahminler yapılmış ve elde edilen sıcaklıklar ile kıyaslanmıştır.

GİRİŞ

Çimentonun hidratasyonu büyük miktarda ısı açığa çıkaran ekzotermik bir reaksiyondur. Kütle betonlarda dış yüzey iç çekirdeğe oranla daha hızlı soğumaya çalışır. İç kısım sıcaklık arttıkça genleşmeye, dış yüzeye yakın kısım ise ısı kaybettiğçe büzölmeye çalışır. Gerekli tedbirler alınmadığı sürece genleşme ve büzölme sonucunda termal

çatlakların oluşması kaçınılmazdır. Oluşan bu termal çatlakların genişliği ile derinliği; betonun fiziksel özelliklerine, oluşan sıcaklık farkına ve donatı durumuna bağlıdır.

Proje şartnamelerinde genellikle maksimum müsaade edilebilir sıcaklık farkının 19 °C olması istenir. Bu sıcaklık farkı Avrupa'da bundan 50 yıl önce donatısız kütle betonlarında tecrübe edilmiş genel bir bilgiye dayanmaktadır. Sıcaklık farkının 19 °C olarak sınırlandırıldığı durumlarda hatta daha yüksek sıcaklık farklarında da termal çatlak oluşmayabilir. Öte yandan sıcaklık farkının 19 °C'den az olduğu durumlarda da belirgin termal çatlak görülebilir. Maksimum müsaade edilebilir sıcaklık farkı; termal genleşme, çekme dayanımı, elastisite modülü ile beton elemanların boyut ve kısıtlanma faktörü gibi betonun mekanik özelliklerinin bir fonksiyonudur. ACI 207.2R spesifik yapılar için betonun mekanik özelliklerine dayanarak termal çatlaklardan korunmak için maksimum müsaade edilebilir sıcaklık farkının hesaplanması için rehberlik sağlayabilmektedir. Şekil-1.1 tipik proje şartnamesinde belirtilen sıcaklık farkı ile ACI 207.2R'ye göre hesaplanan sıcaklık farkını kıyaslamaktadır. Şekil-1.1'den beton dizayn dayanımına ulaştığında hesaplanan maksimum müsaade edilebilir sıcaklık farkı 19 °C'nin çok çok üzerinde olduğu görülmektedir. [1]

Termal genleşme katsayısı düşük kaba agreganın kullanılması, kütle betonda oluşan ısıl gerilmeleri yarı yarıya azaltabileceği bildirilmektedir. Kireç taşı gibi termal genleşme katsayısı düşük agregaların termal iletkenliği yüksek olduğundan çekirdekdeki ısının yüzeye doğru transferi daha hızlı olacaktır. Beton karışımlarında agregada diğer bileşenlere göre daha fazla olduğundan agreganın termal genleş-

*Folkart Yapı San. Tic. A.Ş. Bayraklı-İzmir, Atacan.UTE@folkart.com.tr

Anahtar sözcükler: hidratasyon ısı, beton sıcaklığı, termocouple, termal gerilme analizi

Key words: heat of hydration, temperature of concrete, thermocouple, thermal stress analysis

me katsayısı betonun termal genişleme katsayısını yansıtmaktadır. [2]

Bazı kaynaklara göre; granit veya kireçtaşı gibi termal genişleme katsayısı düşük agregalardan oluşan betonlarda hidrasyon ısısından kaynaklanan maksimum iç sıcaklık ile yüzey sıcaklık farkının sırasıyla 25 °C ve 31 °C olabileceği belirtilmiştir. [3]

Çalışmalar göstermiştir ki betonun yerleştirilmesini müteakip iç sıcaklığın 68-74 °C aralığını aşması durumunda gecikmiş etrenjit formasyonu oluşabilir. Gecikmiş etrenjit formasyonu beton yerleştirildikten uzun yıllar sonra içsel genişleme ile betonun çatlamasına yol açabilir. İç sıcaklığın 88 °C'nin üzerine çıkması basınç dayanım kaybına sebebiyet verebilir. Öte yandan beton iç sıcaklığının düşük tutulması betonun soğuma sürecini kısaltarak ısı farkından dolayı oluşması muhtemel termal çatlakları minimize edecek, bunun neticesinde inşaat sürecine de etki edecektir. [1]

The Texas Department of Transportation (TxDOT) Specification 420 beton yerleştirme sıcaklığını maksimum 24 °C, beton iç sıcaklığını gecikmiş etrenjit formasyonundan sakınmak için maksimum 71 °C ve beton içerisindeki maksimum sıcaklık değişimini 20 °C olarak belirlemiştir. [3]

Şekil 1.2'de kütle betondaki sıcaklık artışı, soğuma ve sıcaklık farkı arasındaki ilişki gösterilmektedir. Isı kaybını engelleyen kalıplar erken alındığında beton iç kısmındaki sıcaklık ile yüzey sıcaklığı kritik sıcaklık farkı olan 20 °C yi aştığında çatlaklar oluşabileceği gözlemlenmiştir. Daha yüksek sıcaklık farkına müsaade edildiğinde kalıplar daha geç zamanda sökülebilir. Büyük hacimli beton dökümlerini müteakip yapılan yüzey izolasyonları için birkaç haftaya ya da daha uzun zamana ihtiyaç duyulabilir. Dış ortam ile beton iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının 20 °C ya da daha az olarak kısıtlanması halinde beton, çatlak oluşmadan daha yavaş soğuyacaktır. [3]

Kütle betonlarda beton yerleştirme sıcaklığı çok önemlidir. Beton yerleştirme sıcaklığı ne kadar düşük olursa, hidrasyon

gelişimi yavaşlayacak, mikro yapının (transition zone olarak tanımlanan çimento hamuru ile kaba agrega arasındaki geçiş bölgesi) gelişimi daha sağlam olacak ve elde edilen maksimum iç sıcaklık da o kadar düşük olacaktır.

Düşük sıcaklıkta kütle beton elde etmek için;

- Hidrasyon ısısı düşük çimentoların kullanılması,
- Çimento yerine bir miktar mineral katkı eklenmesi,
- Karışıma giren malzemelerin önceden soğutulması, (çimentonun üretildikten sonra hemen karışıma girmemesi, stok sahasında bekletilerek soğutulması, karışım suyunun çiller vasıtasıyla soğutulması, karışıma buz eklenmesi, agregaların gölgede stoklanması ya da agregaların su emme kapasitesi doğru hesaplanıp düzenli olarak agregalara su püskürtme ile sıcaklıklarının düşürülmesi gibi)

■ Priz geciktirici kimyasal katkılar kullanılması,

- Ülkemizde henüz uygulanmayan sıvı nitrojen uygulaması ile karışımın sıcaklığının düşürülmesi önerilmektedir.

Controlling The Temperatures In Mass Concrete Of Folkart Towers Foundation

This study is about controlling temperature differences which caused by heat of cement hydration in the raft foundation concrete, designed C40/50, of Folkart Towers project, a certain commercial and residential building project in İzmir, which has a building height of 180 m. For this purpose, thermocouples were placed at the depths of 15, 50 and 150 cm in massive structure from top surface to bottom surface. 3 channels data logger thermometers were set to thermocouples and concrete temperatures were recorded every hours. Graphics were generated by using these measurements and ambient temperature. First 10 days, temperature differences between mid-point and surface point is limited to 20 °C. After 10 days, from the given equations, thermal stresses were calculated to prevent cracks. Use of the calculated stresses can significantly reduce the period of time that protective measures, such as surface insulation, must be kept in place. On the other hand, maximum temperatures of concrete were predicted and compared with test results.

KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

2.1 Çimento:

C40/45 temel beton karışımında hidrasyon ısısını düşürmek amacıyla %34 kalker ve yüksek kireçli uçucu kül içeren CEM II/B-M(L-W) 42.5 R puzolonik çimentosu kullanılmıştır. Üretici firmadan alınan bilgiler doğrultusunda uygulamada kullanılan çimentonun bazı kimyasal özellikleri Çizelge 2.1'de, mekanik ve

fiziksel özellikleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Klinker'e ait kimyasal analiz ise Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

2.2 Uçucu Kül:

C40/50 temel beton karışımında hidrasyon ısısını düşürmek amacıyla kullanılan Kütahya/Tunçbilek Akçim uçucu külünün kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.4 de gösterilmiştir. Bağlayıcı malzemenin %37'si oranında mineral katkı kullanılmıştır.

2.3 Agrega:

Hazırlanan beton dizaynında 0-2 mm (ağırlıkça %25), 0-4 mm (ağırlıkça %16), 4-16 mm (ağırlıkça %29) ve 16-22 mm (ağırlıkça %30) kırma kireç taşı agrega olarak kullanılmıştır. Kullanılan agregaların gradasyonu Şekil.2.1'de gösterilmiştir.

2.4 Kimyasal Katkı:

Projede kimyasal katkı olarak priz geciktirici katkı kullanılmıştır.

Ege Üniversitesi danışmanlığında tasarlanan ve Batı Beton tarafından temin edilen C40/50 temel betonuna ait beton karışım tablosu Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA ve SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Bu çalışma Folkart Yapı San. Tic. A.Ş. tarafından İzmir'in Bayraklı semtinde yapımına başlanan, ticari ofis ve rezidans olarak tasarlanan yaklaşık 180 m yüksekliğinde Folkart Towers temel kütle betonunda hidratasyon ısısından dolayı oluşan termal sıcaklığın kontrol altına alınmasını kapsamaktadır. Folkart Towers yükselen blok temel oturma alanı 51.0 x 54.4 m, radye temel yüksekliği 3 m'dir. Yapı ikiz kule şeklinde inşa edilecek olup; her bir kule 2 bodrum + zemin + 43 kattan oluşmaktadır. Radye temel beton sınıfı C40/50 olarak projelendirilmiştir.

Radye temel betonu döküm öncesinde farklı çimento tipleri ile bir takım ön dökümler ve ölçümler yapılmıştır. Bu deneyler ile betonun yerleştirme sıcaklığı, betonun ulaştığı maksimum iç sıcaklığı, istenilen mukavemeti sağlayıp sağlamadığı vb. veriler elde edilip çimento tipine karar verilmiştir.

Projede radye temel beton miktarı yaklaşık 10.000 m³'tür. İnşaat alanı yeterli sayıda beton pompasının mobilize edilmesine olanak sağlamadığı için tüm kütle tek seferde dökülememiş, radye temel Şekil 3.1'de gösterildiği gibi 4 etapta dökülmüştür. Şekil.3.1'den görüleceği üzere asansör çukurunun olduğu yerde yüksekliği 4 m'yi bulan yapısal kütleler bulunmaktadır. Her etapta beton yaklaşık 50 cm'lik katmanlar halinde tek seferde dökülmüştür. Çizelge 3.1'de her etap'a ait döküm bilgileri gösterilmiştir. Slump değeri mikserde S5 sınıfı, pompa ucunda ise S4 sınıfı olacak şekilde dizayn edilmiştir.

Laboratuvar koşullarında yapılan priz deneylerinde betonun priz başlangıcı 9 saat 40 dakika olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında her etap yaklaşık 50 cm katmanlar halinde dökülmüştür. Katmanlar arasında kaynaşmayı sağlamak için üst katmandaki beton prizini almadan vibrasyon alttaki kademeye 10-15 cm daldırılarak yapılmıştır.

Beton dökümünü müteakip masterlama işlemi tamamlandıktan sonra yüzey Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yorganlarla kaplanarak yüzeyden ısı ve buhar kaçışı engellenmiş, beton kendi buharı ile kür edilmiştir. Filiz yerlerinde 5 cm kalınlığında taş yünü kullanılmıştır.

Beton yüzeyinden 15, 50 ve 150 cm derinliklerde termocouple kablolar yerleştirilmiş bu kabloların ucuna 3 girişli data logger termometreler monte edilerek betonun iç sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

Her etapta 1'i yedek olmak üzere toplam 2 adet termocouple kablolar yerleştirilmiştir. Aynı zamanda ortam sıcaklığı ölçümleri de yapılarak her katmanda ölçülen sıcaklıklar ile zaman grafik haline getirilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Grafiklerden beton iç sıcaklıklarının maksimum değere beton dökümünü müteakip 96 ile 120 saat arasında eriştiği gözlemlenmiştir. Her etapta elde edilen maksimum iç sıcaklık değerleri sırasıyla 60 °C, 66,4 °C, 62,7 °C ve 61,5 °C'dir.

1. etap'ta elde edilen iç sıcaklığın diğer etaplarda elde edilen sıcaklıklara kıyasla daha düşük olmasına beton yerleştirme sıcaklığı sebep gösterilebilir.

Şekil 3.3'te 96-120. saatler arasında yüzeyde hızlı bir biçimde sıcaklık düşüşü görülmektedir. Burada, yağmur sonrası Şekil.3.1'deki çukurda biriken yağmur suyunun zamanla hava sıcaklığını yüzeye yansıtarak yüzeyde hızlı soğumaya neden olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple pompa ile çukurda biriken su çekilerek, yüzey ile çekirdek arasındaki sıcaklık farkının açılmaması sağlanmıştır.

Şekil 3.4'ten görüleceği üzere beton dökümü sonrası 48 - 96'ncı saatler arasında yüzeyde sıcaklık azalışı gözlemlenmiş olup; mevcut yalıtımın üzerine 1 kat daha yorgan seril-

miş ve sıcaklık farkının 20 dereceyi aşmaması sağlanmıştır. Şekil 3.4'te 336. saatteki düşüşün sebebi 2. kat yorulanın kaldırılmasıdır.

Grafiklerden her etapta dökülen betonların çekirdek kısmının çok geç soğuduğu, günlük yaklaşık 1 derece azalış gösterdiği görülmektedir.

Beton çekirdek kısmındaki iç sıcaklık ile beton yüzeyindeki sıcaklık farkının ilk 10 gün 20 °C'yi aşmamasına dikkat edilmiştir. 20 °C'yi aşan durumlarda gerekli önlemler alınarak sıcaklık farkının korunması sağlanmıştır. 10 günden sonraki beton iç sıcaklığı ile beton yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının müsaade edilebilirliği Formül 1.1'de belirtilen gerilme analizi ile yapılmış, ayrıca Şekil 1.1'deki tablo ile de kıyaslanmıştır. Betondan alınan numunelere ait 7 günlük basınç dayanımının 20 MPa olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1.1'den görüleceği gibi 20 MPa'ya karşılık gelen sıcaklık farkı yaklaşık 31 derece olup, uygulamada da 7 gün sonrasında beton belli bir mukavemete eriştiğinden çekirdek kısmı ile yüzey arasındaki maksimum sıcaklık farkında bu kısıta göre hareket edilmiştir. Her etapta dökülen betonlara ait 7, 14, 21, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Temel alt kotundan sırasıyla 1.50, 2.00, 2.50 ve 3.00 m yüksekliklerde sıcaklık farkından kaynaklanan çekme gerilmeleri Formül 1.1 ile hesaplanmıştır. [2]

$$\sigma_t = K_r \cdot \frac{E}{1+\phi} \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad \text{Formül 1.1}$$

Burada;

σ_t : sıcaklık farkından dolayı oluşan çekme gerilmesi, MPa
 K_r : beton elemanın kendisine ait kısıtlanma faktörü (içsel kısıtlanma faktörü),

E : elastisite modülü, MPa

α : betonun termal genleşme katsayısı, °C⁻¹

Δt : betonda iç kısım ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı, °C

ϕ : sünme katsayısı

Formül 1.1 ile hesaplanan termal sıcaklıktan dolayı oluşan çekme gerilmelerinin, betonun yaşına göre sahip olduğu çekme gerilmesini aşmamasına dikkat edilmiştir. Bu ta-

kip beton yerleştirilmesini müteakip 28 gün boyunca yapılmıştır. Hesaplanan gerilmelere ait özet grafikler Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu grafiklerden beton yüzeyi ile iç kısmı arasındaki sıcaklık farkının maksimum 30 °C olduğu durumunda dahi oluşan termal gerilmelerin çekme gerilmesinin altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca çekirdek kısmında oluşan termal gerilmelerin yüzey kısmına kıyasla daha yüksek değerde olduğu gözlemlenmiştir. 28. gün sonrasında mevsimsel şartlar beton bakımı için iyi hava koşulları oluşturduğu için ölçümler sonlandırılmıştır.

3.1 Maksimum İç Sıcaklık Tahminlemesi:

Bogue's Equation'dan yararlanarak çimentonun klinker fazına ait majör bileşenleri sırasıyla; $C_3S = \%61,81$; $C_2S = \%12,42$; $C_3A = \%12,08$ ve $C_4AF = \%7,39$ elde edilmiştir. Hidratasyon ısısı teorik olarak aşağıdaki formülden yararlanarak 495 kJ/kg olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Hidratasyon ısısı} = [136.(\%C_3S) + 62.(\%C_2S) + 200.(\%C_3A) + 30.(\%C_4AF)] \times 4.19 \dots \dots \dots \text{kJ/kg}$$

Kütle betonda zamana bağlı adyabatik sıcaklık artışı aşağıdaki formülden (Formül 3.1) hesaplanmıştır. [4]

$$T_{(t)} = \frac{W \cdot Q \cdot (1 - e^{-m \cdot t})}{c \cdot \rho} \quad \dots \dots \dots \text{Formül 3.1}$$

$$W = W_{\text{çimento}} + 0,30W_{\text{mineral katkı}}$$

$$m = 0,43 + 0,0018W_{\text{çimento}}$$

Burada; T(t): t zamanında maksimum sıcaklığı (°C); W: bağlayıcı miktarını (kg/m³); Q çimentonun toplam hidratasyon ısısı (kJ/kg); m: hidratasyon derecesi; c: betonun özgül ısısı (kJ/kg°C); ρ : betonun birim ağırlığı (kg/m³)'nı göstermektedir. $W_{\text{çimento}} = 169,3 \text{ kg/m}^3$, $W_{\text{mineral katkı}} = (78 + 155) = 233 \text{ kg/m}^3$, betonun özgül ısısı 1 kJ/kg.°C değerleri formülde yerine konduğunda $T_{(4)}$ ve $T_{(5)}$ için elde edilen adyabatik sıcaklık artışı sırasıyla 47,2 °C ile 48,6 °C elde edilmiştir. Uygulamada elde edilen sonuçların hesaplanan sonuçlara yakın değerler verdiği, yaklaşık 2 derece daha düşük sıcaklıklar elde edildiği gözlemlenmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada ilk 10 gün beton iç sıcaklığı ile yüzey sıcaklık farkının 20 °C'yi geçmemesi için yalıtım malzemeleri serilerek beton korumaya alınmış daha sonra inşaat hızını etkilememesi için Şekil 1.1'de belirtilen grafik ve 1.1 nolu formül yardımı ile sıcaklık farkının oluşturduğu gerilmeler hesaplanarak çatlaksız beton elde edilmiştir. Burada mevsim şartları da önem arz etmektedir. Beton döküm esnasında hava sıcaklıkları 0- 10 derece arasında seyir etmiş, beton döküm sonrasında ise (yaklaşık 10 gün) hava sıcaklıkları 8-20 °C arasında değişim göstermiştir.

Beton yerleştirilmesini müteakip filiz dipleri her ne kadar taş yünü ile koruma altına alınsa da açık havaya maruz olan filizlerin beton ile birleştiği yerlerde sıcaklık farkından dolayı önemsenmeyecek boyutta çatlaklar oluşmuştur. Söz konusu çatlak oluşumunu engellemek için kolon ya da perde filizlerinde ilave önlemler (çadır vb. malzemeler ile örtülmesi gibi) alınması önerilmektedir.

Her etapta beton dökümü aralıksız 15 saat sürdüğü için uzun süreli çalışan beton pompalarının sürtünmeden dolayı yaklaşık 2-3 cm slump kaybına sebep olduğu, sürtünmeden dolayı pompada oluşan bu sıcaklığın beton yerleştirme sıcaklığını da 1-2 derece artırdığı tespit edilmiştir.

Yüksek yapı inşaatlarında kütle beton temellerin tek seferde dökülmesi zaman ve maliyet (ilave kayma donatıları gerektirmemesi) açısından kademeli döküme kıyasla daha ekonomik olmaktadır. Yüksek yapı temel kütle betonlarında ülkemizde henüz uygulanmayan sıvı nitrojen ile soğutma yöntemlerine başvurulması ve hazır beton fabrikalarının bu şekilde yatırım yapmaları halinde beton yerleştirme sıcaklığı yaklaşık 10 °C daha düşük değerlerde olabilecektir.

Kütle betonların tek sefer dökümlerinde maksimum sayıda beton pompasının konumlandırılması için şantiye mobilizasyon planının iyi yapılması gerekmektedir. Maksimum sayıda beton mikserinin pompa ucuna yanaşarak sahada yer alması temel kütle beton döküm sürecini kısaltacak, ilk dökülen ve altta kalan beton katmanları prizini almadan üzerine 2. kademe beton dökülebilecektir. Böylece soğuk derz oluşumu ihtimali de minimum düzeyde olacaktır. Betonun mümkün olduğunca düşük sıcaklıkta yerleştirilmesi maksimum iç sıcaklığında o derece düşük olmasını sağlamaktadır. İç sıcaklığın düşük olması ise beton döküm sonrasında yüzey sıcaklığı ile kıyaslandığında sıcaklık farkının daha düşük aralıkta olmasını sağlamaktadır.

Yüksek yapı temellerinde asansör çukurlarında olası yağmur sonrası biriken suların tahliyesi için yüzeyin eğimli yapılması önerilmektedir.

Beton yerleştirilmesini müteakip erişebileceği maksimum iç sıcaklık tahminlemesi ile ilgili olarak Formül 3.1 etkin sonuç vermiştir.

Beton iç sıcaklığı termocouple kablolar ve data loggerli termometreler ile pratik olarak ölçülebilmekte, çekirdek kısmı ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı takibi de kontrollü bir şekilde yapılabilir. Sıcaklık farkının açıldığı durumlarda gerekli önlemler alınarak termal çatlaksız beton elde edilebilmektedir.

TEŞEKKÜR

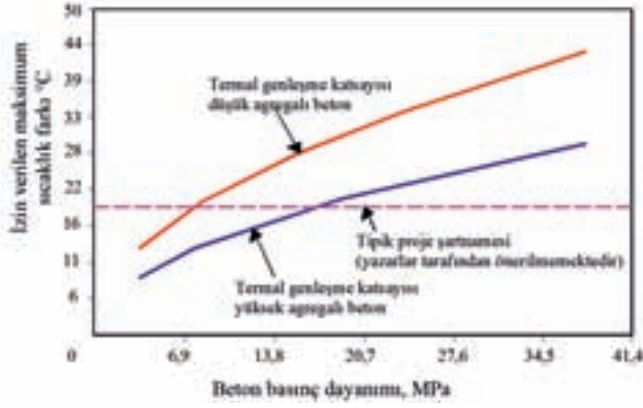
Folkart Towers temel kütle betonun tasarlanmasında desteği olan danışmanımız Sn. Prof. Dr. Kambiz RAMYAR'a, tasarlanan betonun istenilen sıcaklıkta hazırlanmasında katkılarından dolayı Batı Beton yetkilileri Sn. İrfan KADİROĞLU ve Sn. Erdem ÖZ'e ve çalışma kapsamında her türlü desteği sağlayan Folkart Yapı Proje Müdürü Sn. Ayetullah MUTLU, Proje Md. Yrd. Sn. Yüksel SELEK ve Teknik Ofis Müdürü Sn. Turan BAHADIR'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

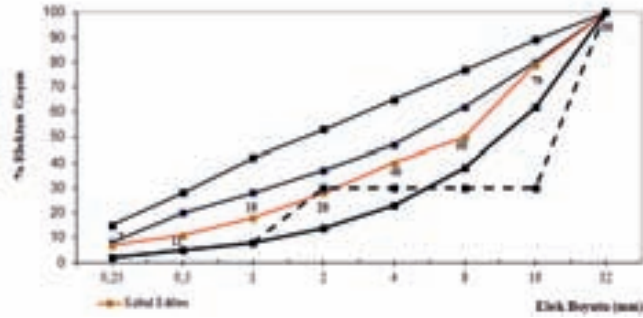
- [1] John Gajda, Martha Vangeem, Controlling temperatures in mass concrete, Concrete International, pp. 59-62, 2002
- [2] P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro, Concrete, Microstructure, Properties and Materials, pp. 55, 2001
- [3] Kyle A. Riding, Jonathan L. Poole, Anton K. Schindler, Maria C. G. Juenger, and Kevin J. Folliard Evaluation of Temperature Prediction Methods for Mass Concrete Members, ACI Materials Journal technical paper, Title no. 103-M40, pp. 357-365, 2006
- [4] Zhou Yunchuan, Bai Liang ,Yang Shengyuan, Chen Guting, Simulation Analysis of Mass Concrete Temperature Field, 2012 International Conference on Structural Computation and Geotechnical Mechanics, Procedia Earth and Planetary Science 5, pp.5 - 12, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

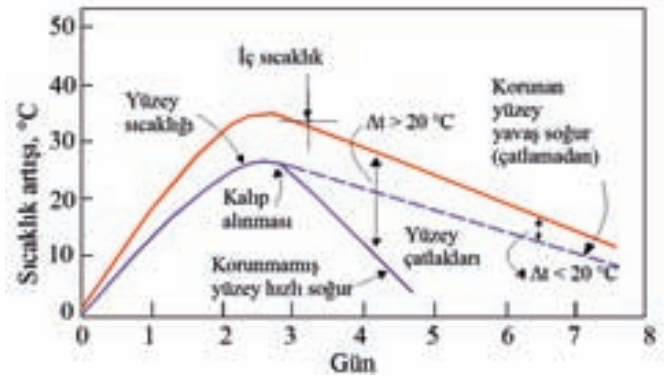
Şekil.1.1. Kütle betonda çekirdek ile yüzey kısmı arasında oluşabilecek en yüksek sıcaklık farkı- basınç dayanımı ilişkisi



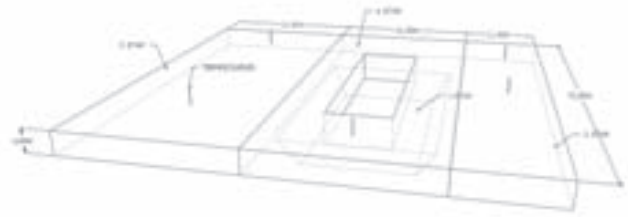
Şekil 2.1. Beton karışımında kullanılan agreganın gradasyon eğrisi



Şekil 3.1. Beton döküm etapları ve termocouple yerleşim planı

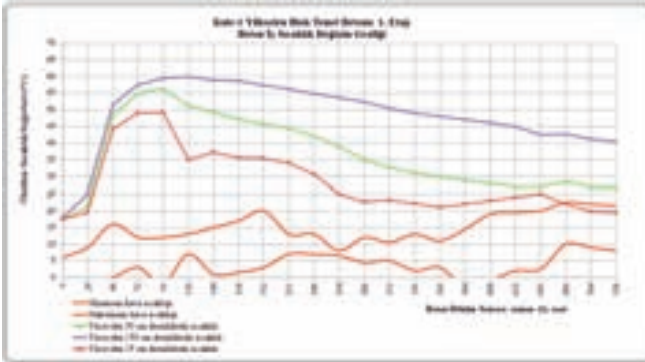


Şekil.1.2. Kalıp alınması sonrası yüzey çatlakları için kabul edilen kritik sıcaklık farkı

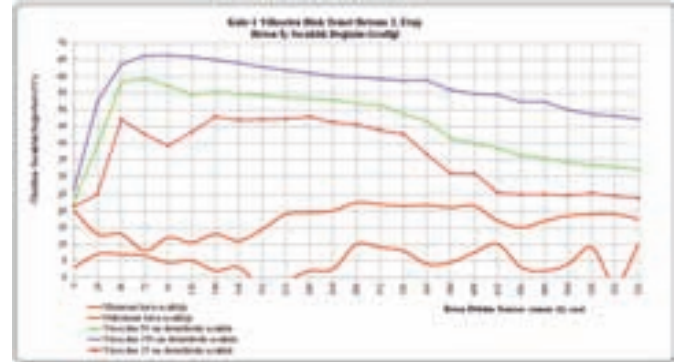


Şekil 3.2. (a) Termocouple kablolarının 3 girişli data logger montajı, (b) betonun yorganlar ile korunması

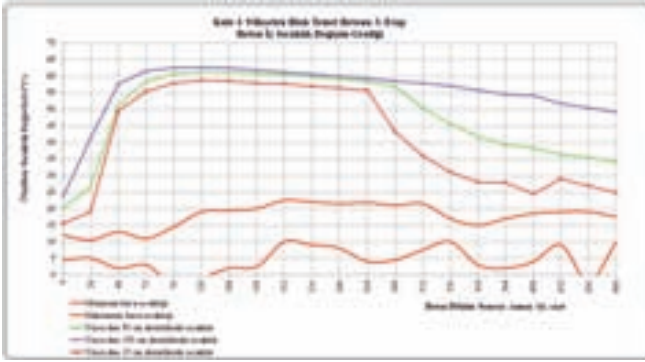




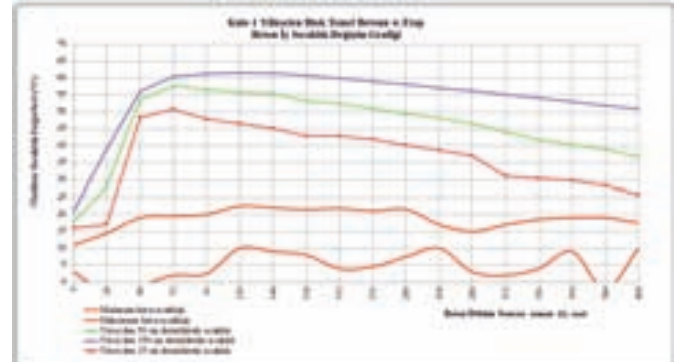
Şekil 3.3. 1'inci etap beton iç sıcaklık değerleri ile ortam sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi



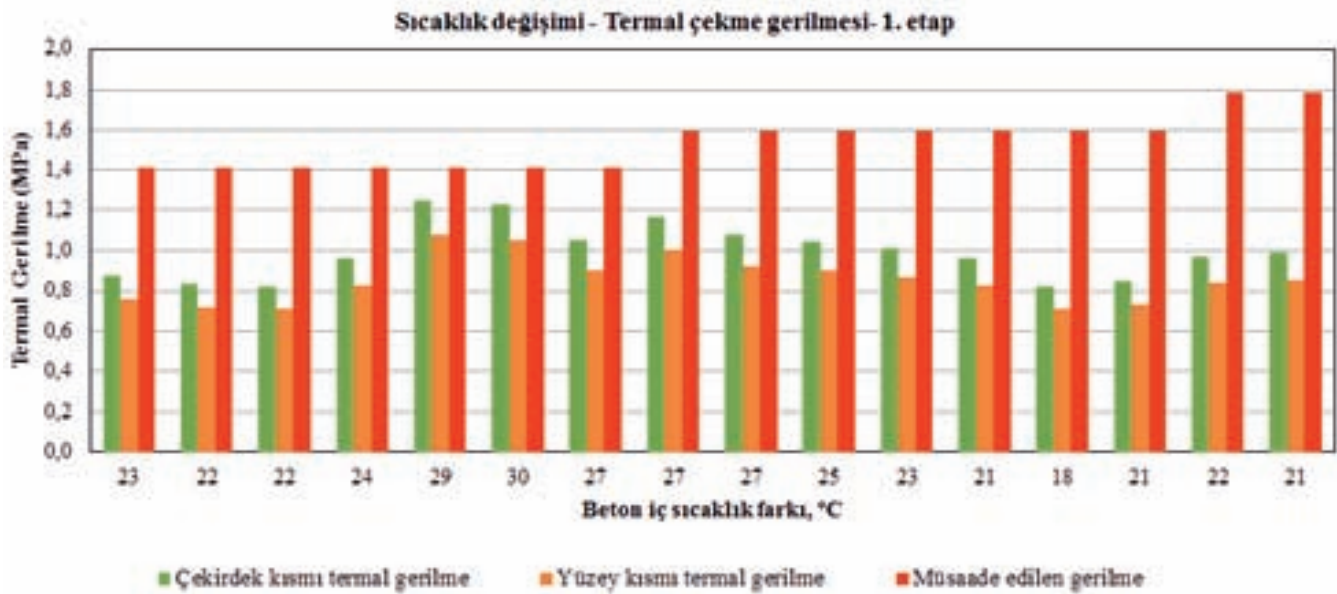
Şekil 3.4. 2'inci etap beton iç sıcaklık değerleri ile ortam sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi



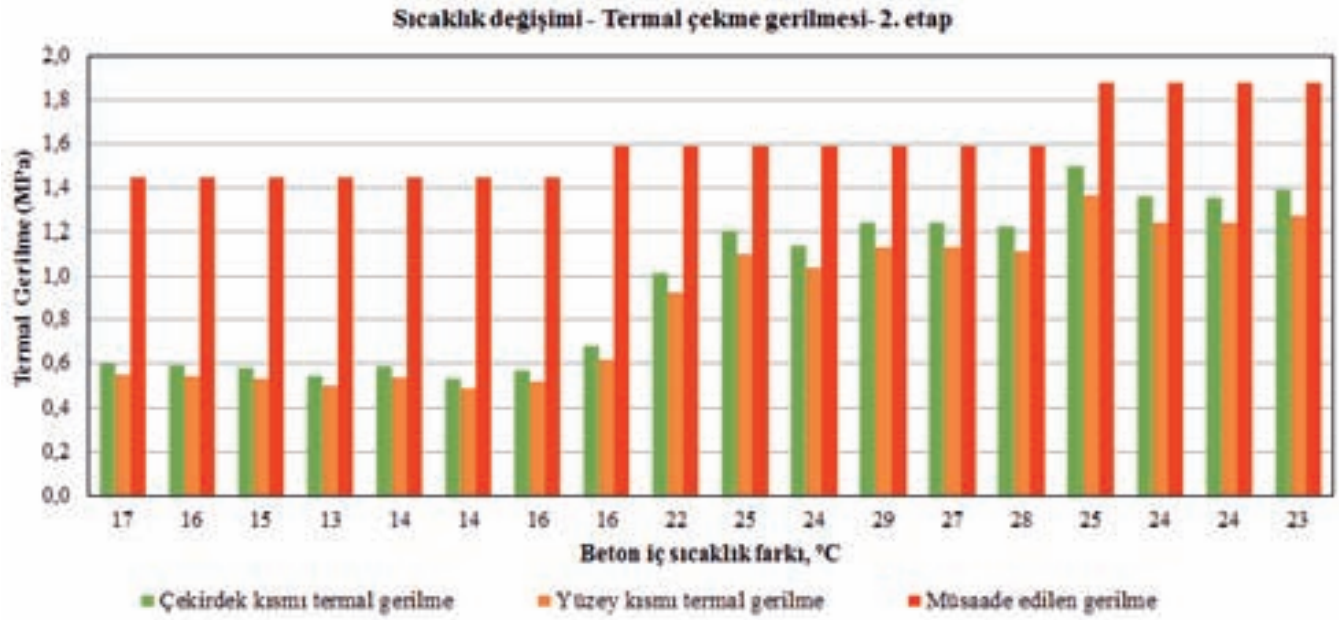
Şekil 3.5. 3'üncü etap beton iç sıcaklık değerleri ile ortam sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi



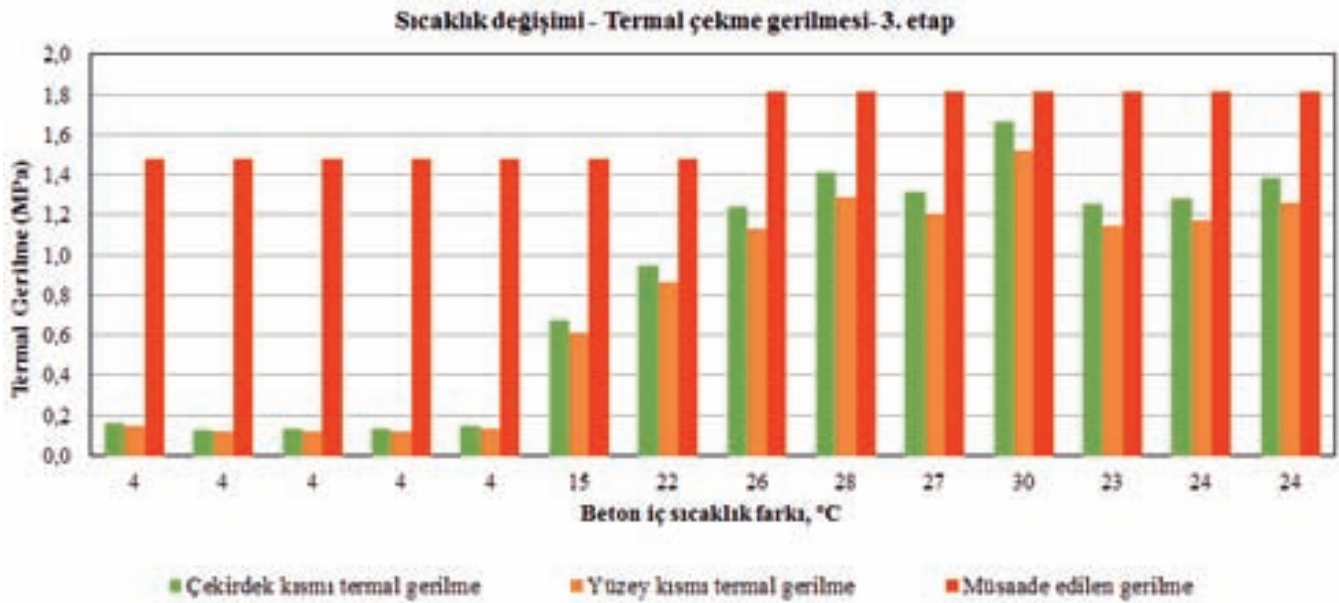
Şekil 3.6. 4'üncü etap beton iç sıcaklık değerleri ile ortam sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi



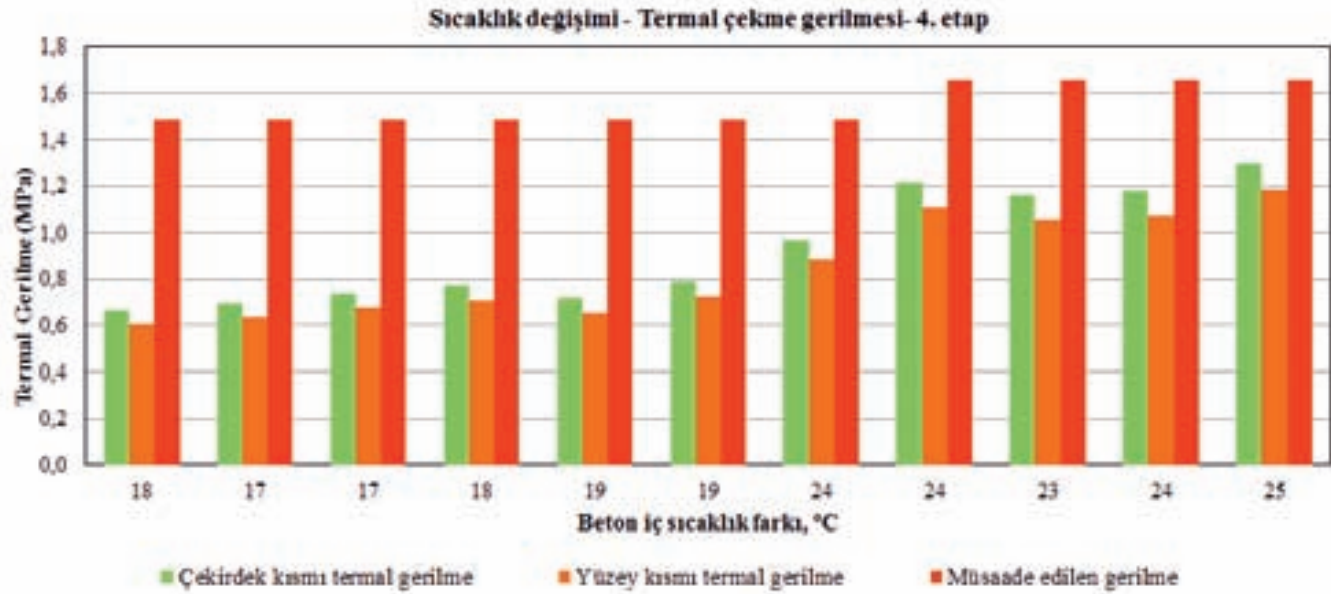
Şekil 3.7. 1'inci etap beton iç kısmı ile yüzeyi arası sıcaklık farkının oluşturduğu termal gerilme ile müsaade edilebilir gerilme ilişkisi



Şekil 3.8. 2'inci etap beton iç kısmı ile yüzeyi arası sıcaklık farkının oluşturduğu termal gerilme ile müsaade edilebilir gerilme ilişkisi



Şekil 3.9. 3'üncü etap beton iç kısmı ile yüzeyi arası sıcaklık farkının oluşturduğu termal gerilme ile müsaade edilebilir gerilme ilişkisi



Şekil 3.10. 4'üncü etap beton iç kısmı ile yüzeyi arası sıcaklık farkının oluşturduğu termal gerilme ile müsaade edilebilir gerilme ilişkisi

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Uygulamada kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri

İçerik	(%)	TS standart limitleri
CaO	53,07	
SiO ₂	24,66	
Al ₂ O ₃	8,80	
Fe ₂ O ₃	2,78	
MgO	2,18	
Na ₂ O	0,17	
K ₂ O	0,95	
Kızdırma kaybı	4,06	≤ % 5,00 ; TS EN 196-2
Klorür (Cl)	0,0085	≤ % 0,10 ; TS EN 196-2
SO ₃	2,74	≤ % 4,00 ; TS EN 196-2
Serbest CaO	3,21	Na ₂ O + 0,658xK ₂ O
Toplam Alkali	0,80	
Toplam Katkı	34,81	21 > B ≤ 35; TS EN 196-4

Çizelge 2.2. Uygulamada kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

İçerik	Değer	TS standart limitleri
0,090 mm elekte kalıntı, (%)	0,20	TS EN 196-6
0,032 mm elekte kalıntı, (%)	12,60	TS EN 196-6
Özgül yüzey, (cm ² /g)	4232	
Özgül ağırlık	2,91	
2 günlük dayanım, (MPa)	22,10	≥ 20MPa ; TS EN 196-1
28 günlük dayanım, (MPa)	57,60	≥ 42,5 MPa, ≤ 62,5 MPa ; TS EN 196-1
Priz başlangıcı, (saat: dakika)	3 : 50	≥ 60 dakika ; TS EN 196-3
Priz sonu, (saat : dakika)	4 : 45	TS EN 196-3
Hacim sabitliği, (mm)	3,00	≤ 10 mm, TS EN 196-3

Çizelge 2.3. Uygulamada kullanılan çimentonun klinker fazına ait kimyasal özellikleri

Parametre	Değer (%)	Parametre	Değer (%)
CaO	65,68	Na ₂ O	0,22
SiO ₂	20,99	K ₂ O	1,02
Al ₂ O ₃	6,11	Cl ⁻	0,005
Fe ₂ O ₃	2,43	Kızdırma kaybı	0,30
MgO	2,73	Serbest kireç	2,26
SO ₃	0,51	Çözünmeyen kalıntı	0,07

Çizelge 2.4. Uygulamada kullanılan uçucu kül'ün kimyasal kompozisyonu

Özellik	TS EN 450-1 sınırları	Değer
Kızdırma kaybı	En çok %5	% 1,00
Klorür	En çok %0,1	% 0,0014
SO ₃	En çok %3	% 0,47
Serbest CaO	En çok %2,5	% 1,01
Reaktif CaO	En çok %10	% 4,11
Toplam CaO	-	% 4,45
İncelik (45 mikron üstü)	En çok %40	% 44,3

Çizelge 2.5. Folkart Towers kule-1 C40/50 radye temel betonuna ait karışım oranları

Beton Sınıfı	Su	Çimento	Uçucu kül	İnce agrega 0/2 mm	İnce agrega 0/4 mm	Kaba agrega 4/16 mm	Kaba agrega 16/22 mm	Kimyasal katkı	S/Ç oranı
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
C40/50	168	260	155	448	285	521	539	4,2	0,48

Çizelge 3.1. Beton dökümüne ilişkin veriler

	Beton döküm tarihi	Beton miktarı (m ³)	Pompa adedi	Pompa kapasitesi (m ³ /sa)	Döküm süresi (sa)	Beton yerleştirme sıcaklığı (°C)	Ortalama slump (cm)	Ortam sıcaklığı (°C)
1.etap	01.03.2012	1.746	5	41	8.5	11,6 - 14,8 [13,2]*	24	-1 ile 7
2.etap	09.03.2012	1.884	3	42	15	18,3 - 21,2 [19,8]*	25	8 ile 18
3.etap	13.03.2012	3.230	4	43	19	14,9 - 17,6 [16,2]*	24	7 ile 14
4.etap	16.03.2012	2.834	5	44	13	13,5 - 16,3 [14,9]*	25	4 ile 9

* Ortalama değeri ifade etmektedir.

Çizelge 3.2. Beton küp basınç dayanım sonuçları (silindir basınç dayanımları)

	7 günlük (Mpa)	14 günlük (Mpa)	21 günlük (Mpa)	28 günlük (Mpa)	90 günlük (Mpa)
1.etap	22.6 (18)	27.7 (23)	35.6 (29)	41.2 (33)	54.3 (45)
2.etap	23.4 (19)	28.3 (23)	40.5 (32)	43.5 (34)	57.6 (47)
3.etap	24.5 (20)	31.4 (25)	42.8 (33)	44,2 (34)	57.0 (47)
4.etap	25.6 (20)	38.6 (30)	41,5 (32)	42,2 (33)	57.4 (47)

Çizelge 3.3. Tahmin edilen maksimum beton iç sıcaklık değerleri ile elde edilen sıcaklıklar

	Beton yerleştirme sıcaklığı, (°C)	Hidratasyon ısısından kaynaklı sıcaklık artışı, (°C)	Hesaplanan maksimum iç sıcaklıklar, (°C)	Elde edilen maksimum iç sıcaklıkları, (°C)
	A	B	A+B	
1.etap	11,6 - 14,8 [13,2]*	48,6	61,8	60,0
2.etap	18,3 - 21,2 [19,8]*	47,2	67,0	66,4
3.etap	14,9 - 17,6 [16,2]*	48,6	64,8	62,7
4.etap	13,5 - 16,3 [14,9]*	48,6	63,5	61,5