

# Poliüretan Panelli Soğuk Depo Uygulamalarında Isı Köprüleri Oluşumu ve Isıl Analizi

Enver YALÇIN  
Mehmet Ziya SÖĞÜT  
Alevay KILIÇ  
Hüseyin BULGURCU

## ÖZET

*Bu çalışmada, prefabrik poliüretan panelli soğuk depolarda montaj hatalarından kaynaklanan ısı köprülerinin enerji performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla aktif bir poliüretan soğuk deponun montaj bölgeleri 0 °C ve -18 °C muhafaza şartlarında sonlu elemanlar yöntemiyle iki ve üç boyutlu olarak incelenmiştir. Dış yüzeyde yoğuşmanın engellenmesi için de alternatif model türetilmiştir. Analizlerde ısı köprülerine bağlı performans kayıplarının bazı noktalarda %20'leri aştığı ve geliştirilen modelle bu kayıpların minimize edildiği görülmüştür. Çalışmanın sonunda uygulama alanları ve soğutma kapasiteleri değerlendirilerek performansların geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.*

**Anahtar Kelimeler:** Soğuk Depolar, Isı Köprüsü, Prefabrik Poliüretan Panel, Isıl Analiz, Enerji Kayıpları.

## 1. GİRİŞ

Donmuş gıda talebinin sürekli artış eğiliminde olduğu günümüzde; soğuk depo uygulamaları soğutma sektöründe %40'lara varan bir potansiyelle öne çıkmıştır. Ortalama %3-4 aralığında büyüme oranına sahip ve ekonomik potansiyelinin 193 milyar doları aştığı sektörde enerji maliyetlerinin etkisi her geçen gün daha fazla hissedilmektedir. Soğuk depo uygulamalarında poliüretan panelli paket tip soğuk depoların kullanımı, günümüzde ticari soğutma uygulamalarında oldukça artış göstermektedir. Kolay kurulum, gerektiğinde kuruluş yerinin değiştirilebilmesi gibi avantajlarından dolayı da tercih edilen bu sistemlerde montaj ve imalat hatalarına bağlı özellikle ısı köprülerinin olumsuz etkileri soğutma yükünü arttırmaktadır. Artan soğutma yükü etkileri sistemin çalışma süresini uzattığı gibi, enerji tüketimini de arttırmaktadır. Bu tür sistemlerde enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için öncelikle bu tür yapısal sorunlara bağlı etkiler ortadan kaldırılmalıdır. Zira ısı köprüleri oldukça yüksek enerji tüketim değerlerine sahip olan soğuk depoculuk uygulamalarında soğutma

## Abstract:

In this study, effects of thermal bridges on the energy performance due to the erection errors were investigated in pre-fabricated panel cold stores under 0 °C and -18 °C storage conditions. For this aim, erection areas in cold store were investigated by using 2D and 3D finite element method analysis. In order to prevent condensation at outer surface, an alternative model is also derived. In this analysis, performance losses due to thermal bridges at some points has been observed above 20% and these losses are minimized by the improved model. At the end of the study, suggestions were made to improve cooling performance by evaluating their capacities and application areas.

## Key Words:

Thermal Bridge, Pre-Fabricated Polyurethane Panel, Thermal Analysis, Energy Losses.

yükünün artışıyla önemli paya sahiptir ve ortamda terleme, korozyon, küf oluşumuna neden olurlar.

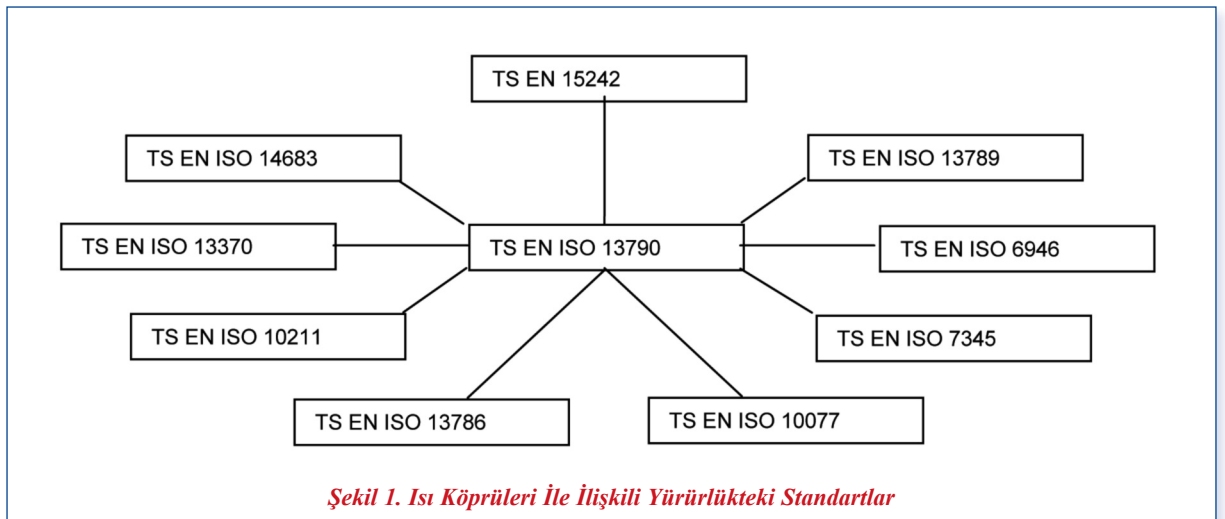
Isı köprüleri, yapının ısı direncinin önemli bir şekilde değiştiği, ısı iletkenliği farklı malzemelerin temas halinde oluşu, kesit kalınlığındaki değişimler, iç yüzey ile dış yüzey arasındaki farklılık gibi nedenlerle yapı dış kabuğundaki üniform olmayan ısı dirençlerinin olduğu ve bunun sonucunda 2 veya 3 boyutlu ısı akısının meydana geldiği bölgelerdir [2]. Bu bölgeler, bina dış kabuğunda kış aylarında ısı kaybını ve yaz aylarında ısı kazancını artırması ile önemli bir etkiye sahiptir. Yapılan çalışmalardan elde edilen bilgiye dayanarak, duvar örülürken kullanılan yapı malzemeleri arasındaki derzlerin dahi, derz kalınlığı 10 mm ve 20 mm olması durumunda ısı köprüsü alanı toplam duvar alanının, sırasıyla, %4,8 ve %9,1'i kadar olmaktadır. Bu durumda transmisyon ısısı da derz kalınlığına göre bu kısımlarda %62 ve %103 oranında artmakta olduğu ifade edilmiştir [3].

Bu çalışmada aktif çalışan bir poliüretan panelli soğuk depo uygulamasında, öncelikle montaj kesit detaylarında ortaya çıkan ısı köprülerine bağlı enerji kayıpları sonlu elemanlar yöntemiyle tespit edilmiştir. Daha sonra geliştirilen kesit detayı ile poliüretan panelli soğuk depoda ısı köprülerinin etkilerindeki değişim incelenmiştir.

## 2. STANDARTLAR VE UYGULAMALAR

Gelişmiş ülkelerde; standart ve yönetmelikler zamanla güncellenerek binalardan kaybedilen ısı enerji miktarının sınır değerleri aşağıya çekilmiştir. Konut sektöründe özellikle ısı köprülerinin enerji verimliliği üzerindeki etkilerinin ortadan kaldırılması için imalat süreçlerinde bina dış kabuğunun bu değerlendirmelere göre imalatı ve standardizasyonuna önem verilmiştir. Bu kapsamda pek çok standart çalışmaları yapılarak yürürlüğe sokulmuştur. Türkiye’de 1998 yılındaki TS 825 standardı, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla 2008 yılında yeniden düzenlenerek yürürlüğe girmiştir. Standartın 22 Mayıs 2008 tarihinde yayımlanan son revizyonunda; hesaplama prosedürlerinde iyileştirme yapılmasına rağmen enerji limitlerinde kapsamlı bir iyileştirme hedeflenmemiştir. Isı köprülerinin hesaplanmasında, “Isı köprüsü olması durumunda ilgili büyüklükler TS EN ISO 10211-1, TS EN ISO 10211-2 ve TS EN ISO 14683’e göre veya TS EN ISO 6946’da verilen metot ile hesaplanmalıdır” şeklinde ifade edilmektedir. Isı köprülerinin hesaplanmasında yürürlükte olan standartlar Şekil 1’de görülmektedir.

TS 825 standardı, ısınma amaçlı kullanılan enerji tüketimini disiplin altına alsın da dört mevsimi yaşayan ülkemizde, soğutma ihtiyacı ve enerji tüketimi yönüyle çok önemli olan soğutma prosesini kapsamamaktadır. Dolayısıyla; yüksek miktarda enerji



tüketimine neden olan soğutma işlemi ile ilgili standart ihtiyacı bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, örneğin İzmir ili için, yapılan hesaplamalarda soğutma periyodundaki birim alan başına enerji tüketiminin ısıtma periyodundaki enerji ihtiyacından daha fazla olduğu ifade edilmiştir [1]. Bölge ve il bazında soğutma yüklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Isı yalıtım sistemleri ile ilgili EN 13496, EN 13497, EN 13498, EN 13499 ve EN 13500 standartları, İngilizce metin olarak 2004 yılında TSE tarafından yayımlanmıştır. Tüm bu standartlar; Türkçe'ye tercüme edilerek 2005–2006 yıllarında tekrar yayınlanmıştır. Profiller (su basman profilleri, dilatasyon profilleri, köse profilleri) ve su sızdırmazlık bantları gibi dış cephe ısı yalıtım sisteminin yardımcı bileşenlerine ait standartlar bulunmamaktadır.

Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Gıdaların Tüketime Sunulmasında Gıda Güvenliği ve Soğuk Zincir Yönetmeliği ile ilgili taslak çalışması yapmakta olup üniversitelerden görüş istenmektedir. Soğuk depoların yanında, soğuk zincirin önemli bir kademesini teşkil eden frigorifik taşımacılıkta da şasi üzerine montajı yapılan frigorifik kasadaki ısı köprüleri de önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Soğuk depoculukta projelendirme esasları Mayıs 1986 tarihinde yayınlanan TS 4855 standardı "Soğuk Depoculukta Soğutma Tesisatı Proje Esasları" başlığı altında yayımlanmıştır ve hala yürürlüktedir. Bu standartta da ısı köprülerine ilişkin bir ifade ve atıf bulunmamaktadır. Soğuk depoculukla ilişkili olarak sadece TS EN ISO 13370 standardında toprakla temas halindeki döşemelerden ısı transfer hesabı tanımlanırken soğuk depo tabanları da dahil edilmiştir.

TS EN ISO 10211 de ifade edilen  $L_{2D}$  (thermal coupling coefficient) hesap değerinin de çatı-duvar kesişim bölgelerinde, özellikle parapet birleşim bölgelerinde, yeterince hassas olmadığı ifade edilmiştir [4]. Isı köprülerinin ısıtma veya soğutma yüküne olan etkisinin sayısal olarak hesaplanmasında çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar arasında sonlu elemanlar, sonlu farklar ve sonlu hacimler yöntemleri oldukça

kompleks yöntemlerdir ancak hassas sonuçlar elde etmek mümkündür [5]. Yapılan deneysel çalışmalarda, ISO 10211'de verilen geometrik şartlar altında hesaplanan ısı köprüsü etkisinin dinamik sistemlerin analizinde uygun sonuçlar vermediği ifade edilmektedir [6]. Aynı çalışmada deneysel verilerde elde edilen ısı akısı değerleri ile sayısal modelde elde edilen sonuçlar arasında çok küçük farklılık olduğu ve sayısal modelde bulunan değerlerin çok küçük bir farkla daha düşük olduğu ifade edilmektedir. Sınır şartları ve eleman tipleri uygun seçilirse ısı köprüsünün olduğu yapı geometrisinin tanımlanması ve sıcaklık dağılımlarının hassas bir şekilde tespiti mümkündür. Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla oluşturulan modeller sayısal analizlerle incelenmiştir.

### 3. SİMÜLASYON KARAKTERİSTİKLERİ

#### 3.1 Sayısal Yöntem

x ve y doğrultusundaki ısı akısı ifadesi;

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \text{ ve } q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad (1)$$

Burada  $T=T(x,y,t)$  olarak ortamdaki sıcaklık alanı,  $q_x$  ve  $q_y$ , x ve y doğrultularındaki ısı akısı, k; ısı iletim katsayısı ve  $\frac{\partial T}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial T}{\partial y}$  ise x ve y yönündeki sıcaklık değişimleridir. Ortaya çıkan ısı akısı;  $q_x$  ve  $q_y$ 'nin vektörel toplamıdır. Skaler alan problemlerinde kullanılan Helmholtz Denklemi Fourier Yasası'na uygulanırsa, enerji denklemi;

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

olur. Burada  $\rho$  ve  $c$  sırasıyla yoğunluk ve özgül ısıdır. t ise zamanı ifade eder. Bu ısı iletim denklemi başlangıç ve sınır şartlarına göre çözülmektedir. z yönündeki ısı akısı sıfır kabul edilirse, iki boyutlu başlangıç şartı için  $T(x,y,0)=T_0(x,y)$  olup, başlangıç şartındaki sıcaklık dağılımıdır [7].

r adet düğüm noktası bulunan M adet elemana bölünen bir eleman içindeki sıcaklık ve sıcaklık gradyanı [7]:

$$T(x, y, t) = \sum_{i=1}^r N_i(x, y) T_i(t) \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x}(x, y, t) = \sum_{i=1}^r N_i(x, y) T_i(t) \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial y}(x, y, t) = \sum_{i=1}^r N_i(x, y) T_i(t) \quad (4)$$

Matris notasyonu ise:

$$T(x, y, t) = [N(x, y)]\{T(t)\}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x}(x, y, t) \\ \frac{\partial T}{\partial y}(x, y, t) \end{bmatrix} = [B(x, y)]\{T(t)\} \quad (5)$$

olur. Burada [N] sıcaklık interpolasyonu matrisi, [B] ise sıcaklık değişimi interpolasyon matrisi olarak adlandırılır. T(t) eleman düğüm sıcaklıkları vektörü olup T<sub>i</sub> her bir düğüm noktasındaki sıcaklığını ifade etmektedir. Denklem 2'ye minimum potansiyel enerji ilkesi uygulanırsa;

$$\int \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} - Q + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) N_i d\Omega = 0 \quad (6)$$

$$\int \rho c \frac{\partial T}{\partial t} N_i d\Omega - \int \left[ \frac{\partial N}{\partial x} \frac{\partial N}{\partial y} \right] \begin{bmatrix} q_x \\ q_y \end{bmatrix} d\Omega = 0 \quad (7)$$

Yüzey bölgesi her bölgede etkili olan sınır şartlarının toplamı olarak ifade edilebileceği için, son terim her bir sınır şartı için ayrıca integre edilir. Genel denklem ve eleman denklemleri aşağıdaki gibi bulunur [7].

$$[C] \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\} + \left[ [K_c] + [K_h] + [K_r] \right] \{T\} = \{R_t\} + \{R_Q\} + \{R_q\} + \{R_h\} + \{R_r\} \quad (8)$$

$$[C] = \int_{\Omega} \rho c [N] [N] d\Omega$$

Burada [C] eleman kapasitans matrisi, [K<sub>c</sub>] iletim şartları matrisi, [K<sub>h</sub>] taşınım şartları matrisi, [K<sub>r</sub>] ışı-nım şartları matrisini ifade etmektedir. Taşınım ve ışı-nım matrisleri yalnızca yüzey ile ilgili sınır şartına maruz elemanlar için hesaplanmaktadır. {R<sub>t</sub>} tanımlı düğüm sıcaklığından, {R<sub>Q</sub>} iç ısı kaynağından, {R<sub>q</sub>} tanımlı yüzey ısı akışından, {R<sub>h</sub>} yüzey taşını-mından, {R<sub>r</sub>} ışı-nımdan kaynaklanan ısıl yük vektör-lelidir. ‘{’ yüzeyden taşınım vektörü, Ω çözüm böl-gesidir. İç ısı kaynaklı {R<sub>Q</sub>} ve ışı-nım kaynaklı {R<sub>r</sub>} ısıl yük vektörleri sıfır alınmıştır.

Bu çalışmada nonlinear geçişli hal söz konusu oldu-

ğu için taşınım sınır şartı sadece yüzeyde maruz iki boyutlu genel hal denklemi:

$$[C] \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\} + \left[ [K_c] + [K_h] \right] \{T(t)\} = \{R_h(t)\} \quad (9)$$

olarak alınır [7]. İç ve dış yüzey taşınım katsayıları TS EN ISO 10211’de ifade edildiği şekilde sabit alınmıştır.

Çözüm için problemin geometrileri dikkate alınarak dört düğümlü izoparametrik elemanlar kullanılmıştır [8]. Bu nedenle dört düğümlü sonlu eleman için formülasyon geliştirilmiştir. İki boyutlu modellerde quad (düzlem) elemanlar, üç boyutlu modellerde hexa (hacim) elemanlar kullanılmıştır. Bu problemin çözümünde, Fourier Kanunu homojen ve izotropik malzeme ve iki boyutlu levha için [9];

$$k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (10)$$

ifadesi elde edilir. Eşitlik (10)’u sonlu elemanlar metodu ile çözüm verecek şekilde yeniden ifade edersek ve gerekli M katsayı matrisleri oluşturulursa aşağıdaki bağıntılar elde edilir:

$$k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho c \frac{T_n - T_{n-1}}{\Delta t} \quad (11)$$

(8) nolu eşitlik için izoparametrik dört düğüm noktalı eleman kullanılmasıyla aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\{T\}_{t+\Delta t} = \left( [H] + \frac{3}{2\Delta t} [C]^{-1} \right) \left( \{-F\} + \frac{2[C]}{\Delta t} \{T\}_{t-\Delta t} \right) \quad (12)$$

Bu eşitlikte; {T}<sub>t+Δt</sub>; {T}<sub>t</sub>; {T}<sub>t-Δt</sub> sırasıyla t+Δt, t ve t-Δt zaman adımlarında herhangi bir düğümün sıcaklığıdır. Eşitlik (12)’de [H], {F} ve [C] için aşağıdaki ifadeler geçerlidir;

$$[H] = [K_c] + [K_h] \quad (13)$$

$$\{F\} = -\{R_Q\} - \{R_h\} \quad (14)$$

$$[C] = \int_{\Omega} (\rho c) [N] [N] d\Omega \quad (15)$$

Yukarıdaki eşitliklerde; [N] sıcaklık interpolasyon matrisi, konduksiyon ve konveksiyon terimlerini içe-

ren matris,  $\{F\}$  yüzeyden taşınım vektörü,  $\Omega$  çözüm bölgesi,  $\rho$  ise özgül küttedir. Bu parametrelerin elde edilmesine ait detaylar ve simgeler referans [9]'da verilmiştir.

Modeller çeşitli sayılarda elemanlara bölünerek çözümler yapılmıştır. Bu çözümlerde eşit zaman aralığında elemanlardaki sıcaklık dağılımları incelenmiştir. x eksenı yönünde beş farklı malzeme kullanıldığından x eksenı yönündeki birbiriyle temas halindeki komşu elemanlar dikkate alınarak elemanlardaki sıcaklık değişimleri hesaplanmış ve sonuçlar grafik olarak sunulmuştur.

### 3.2 Malzeme Özellikleri ve Sınır Şartları

Sınır şartları belirlenirken malzemelerin homojen yapıda olduğu ve z yönünde ısı akısının sıfır olduğu kabul edilmiştir. İçteki ve dıştaki ısı transfer katsayısı ise sırasıyla  $h_{iç}=14,2$  W/m<sup>2</sup>K,  $h_{dış}=25$  W/m<sup>2</sup>K olarak alınmıştır.  $R_{si}=0,07$  m<sup>2</sup>K/W  $R_{se}=0,04$  m<sup>2</sup>K/W, sırasıyla ısı iç ve dış yüzey direnç değerleridir [10].

### 3.3. Tanımlanan Modeller

#### 3.3.1. Model 1

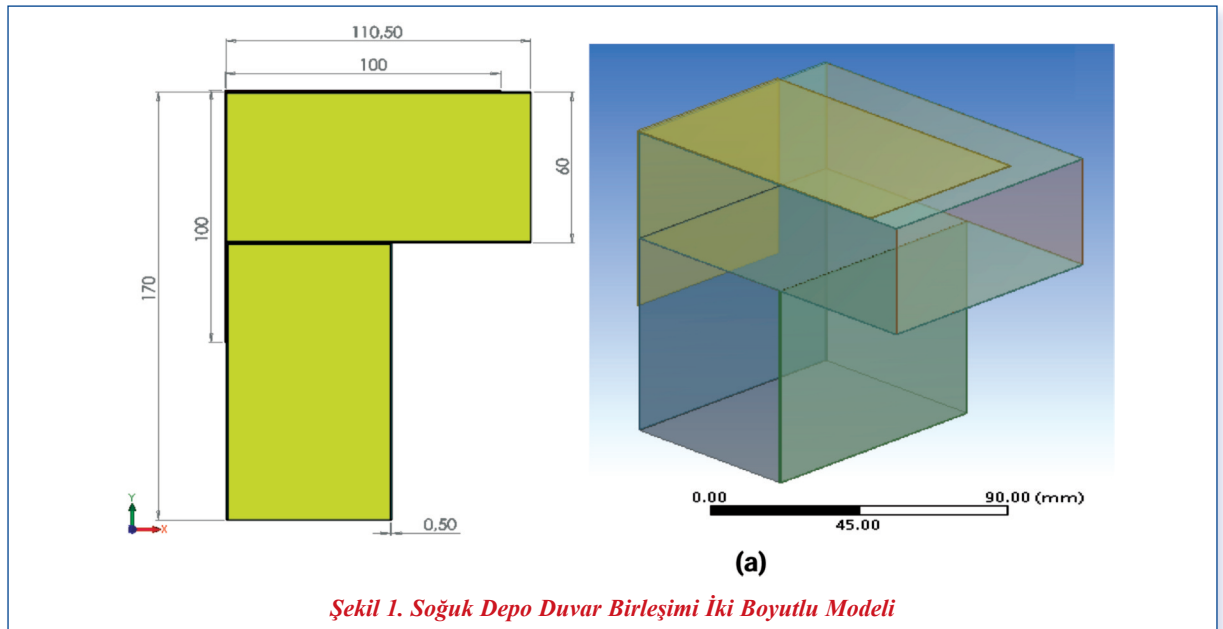
Alın-yan yüzey birleşme bölgesinde ara yüzey metal malzemedir. Model ölçüleri Şekil 1'de görülmektedir. Birleşim bölgesinde 100x100 ebatlarında dıştan köşebentlerle sabitlenmiştir. İnfiltrasyonun engellenmesi için de ara bölgeler poliüretan köpükle desteklenmiştir.

İncelenen mevcut panel modeli için uygun düğüm sayısının tespiti için çeşitli iterasyonlarla araştırma yapılmıştır. İncelenen model için optimum ağda 1884 düğüm ve 1784 eleman ortaya çıkmıştır (Şekil 2).

Kesit detayda oluşturulan ağ yapısında sonlu elemanda 10 kontak noktası için ısı değişim etkileri incelenmiştir. Oluşan ısı akısına bağlı sıcaklık dağılımları akışı Şekil 3'de verilmiştir.

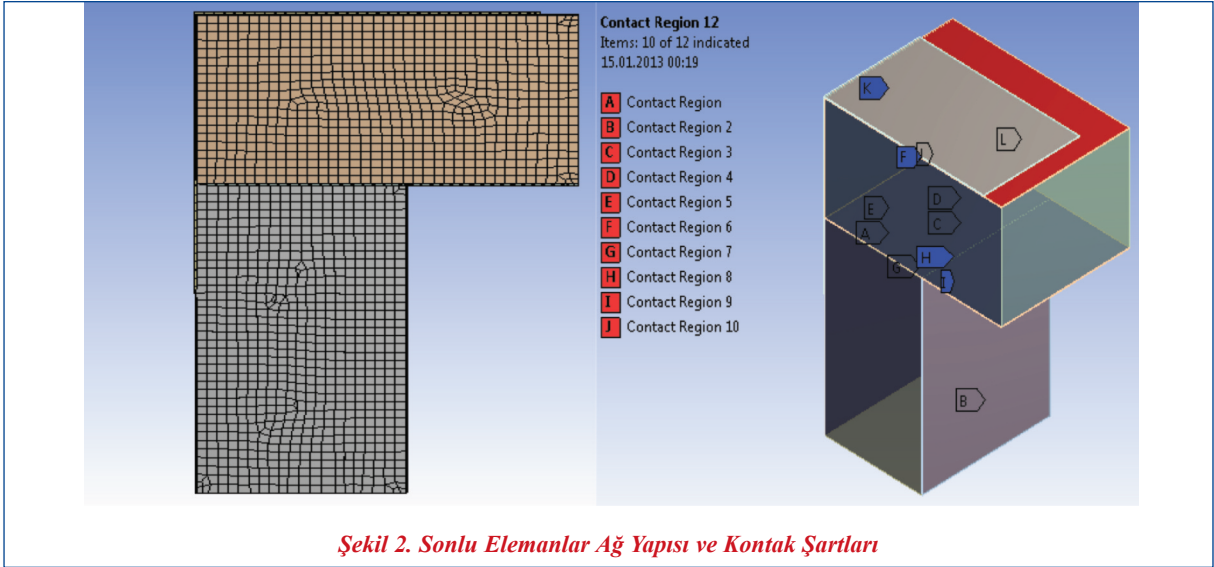
**Tablo 1. Prefabrik Panel Duvarın Özellikleri [11]**

Malzeme	k [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$C_p$ [j/kgK]
Paslanmaz çelik AISI 304	15.1	8055	480
Poliüretan	0.030	42	1050

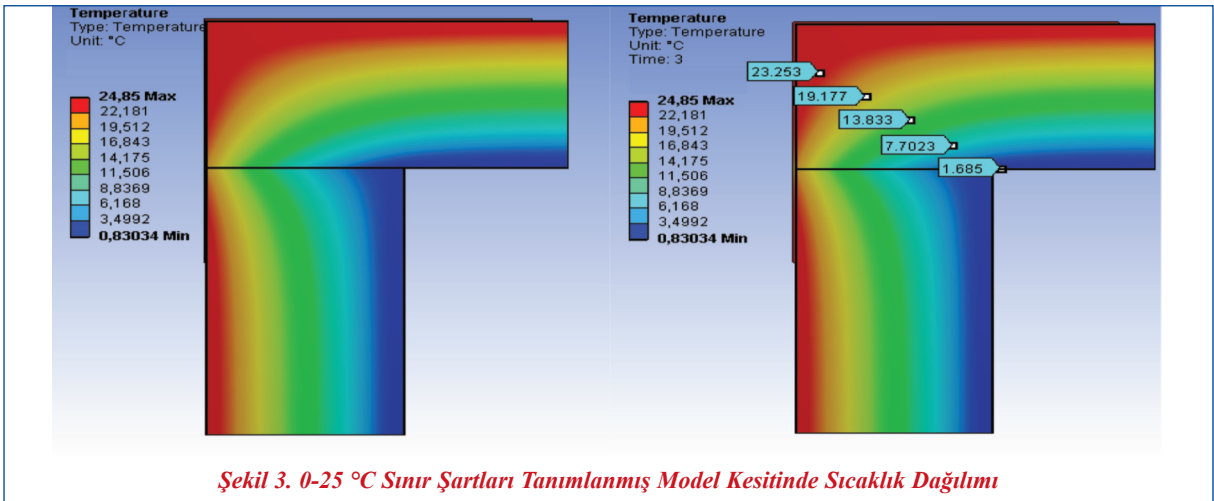


**Şekil 1. Soğuk Depo Duvar Birleşimi İki Boyutlu Modeli**





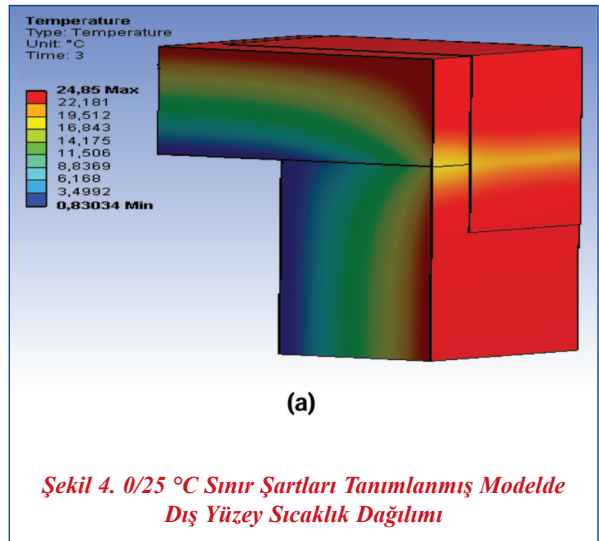
Şekil 2. Sonlu Elemanlar Ağ Yapısı ve Kontak Şartları



Şekil 3. 0-25 °C Sınır Şartları Tanımlanmış Model Kesitinde Sıcaklık Dağılımı

0 °C ile 25 °C sıcaklık aralığı için tanımlanan modelde özellikle sıcaklık dağılımı ısı köprüsünün oluştuğu birleşim noktası için formun dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu noktada yüzey sıcaklığının yaklaşık %21,95'lik bir değişim gösterdiği görülmektedir. Benzer inceleme panelin dış yüzeyi içinde yapılmıştır. Şekil 4'de panelin dış yüzey sıcaklık dağılımları verilmiştir.

Bu şekilde de özellikle ısı köprüsünün gerçekleştiği kesitte ısı dağılımının etkisi görülmektedir. Yüzey sıcaklığı normal panel yüzeylerde korunurken, ısı köprüsünün olduğu kesitte 19,51 °C ile 22,18 °C sıcaklık aralığında değişmektedir. Soğuk depo uygulamalarında ürün muhafazasına bağlı sıcaklık değer-



Şekil 4. 0/25 °C Sınır Şartları Tanımlanmış Modelde Dış Yüzey Sıcaklık Dağılımı

leri  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lere ulaşmaktadır. İncelenen model için sınır değerlerin  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  aralığında sıcaklık dağılımları Şekil 5'de verilmiştir.

Bu değerler içinde birleşim noktasının kesit detayına bağlı ısı köprüsünde sıcaklık dağılımı diğer yüzeylere göre yaklaşık %37,76'lık bir fark göstermektedir. Benzer etki dış yüzey üzerinden de incelenmiş ve Şekil 6'da verilmiştir.

Dış yüzey etkileri açısından  $-18/25\text{ }^{\circ}\text{C}$  sınır şartlarında kesit detaydaki sıcaklık dağılımı  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  aralığında değişmektedir. Yüksek ısı köprüsünün olduğu bu bölümü için yapılan kesit çalışması aşağıda model 2 olarak sunulmuştur.

### 3.3.2. Model 2

Bu modelde prefabrik panelli soğuk depo duvarlarının ve tavan-döşeme bağlantılarının montaj detay kesitleri incelenmiştir. Çalışmada alın-yan yüzey birleşim ara yüzeyinde metal sürekliliği kesintiye uğratarak kademeli birleştirme uygulanmıştır (Şekil 7).

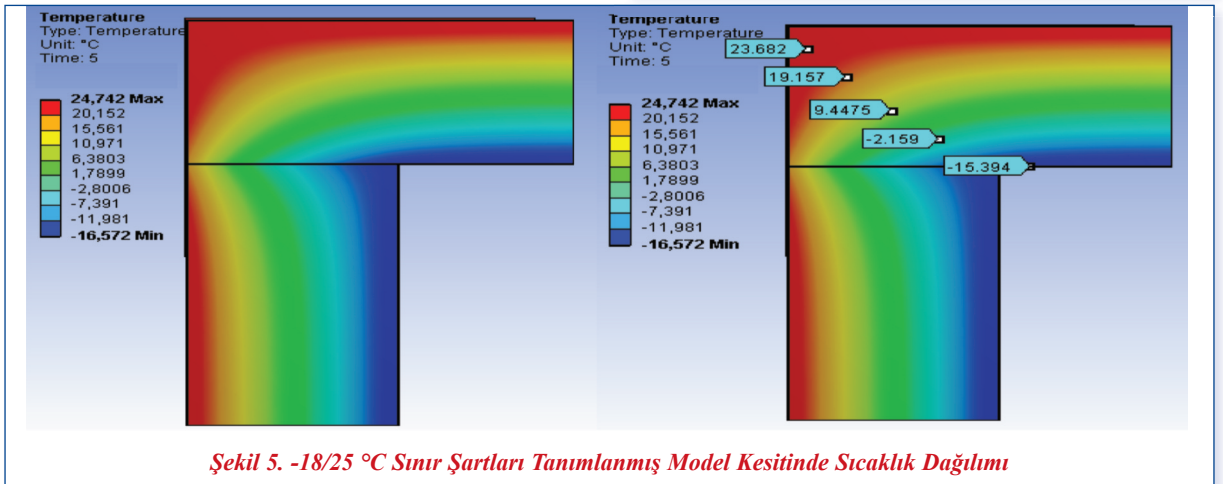
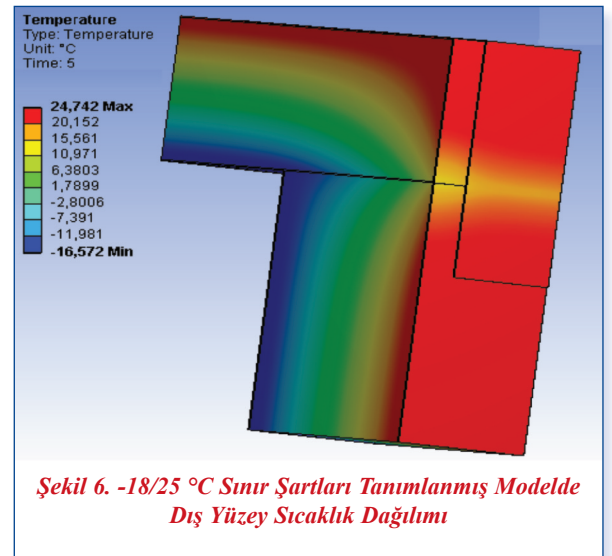
İnceleme konusu olan iki boyutlu modifiye edilmiş panel model için uygun düğüm sayısının tespiti için çeşitli iterasyonlarla araştırma yapılmıştır. İncelenen model için optimum ağda 7655 düğüm ve 7398 eleman ortaya çıkmıştır (Şekil 8).

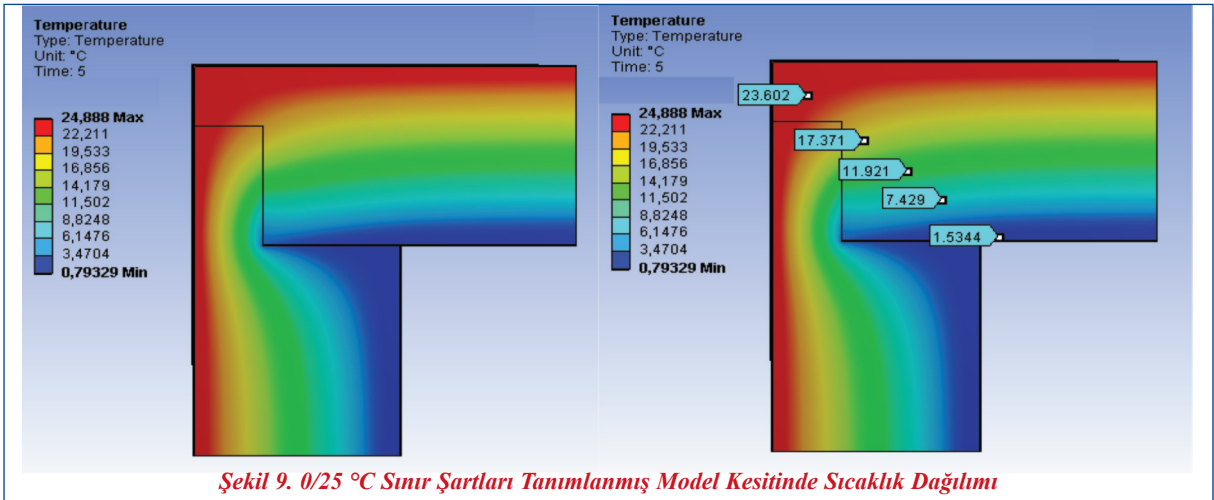
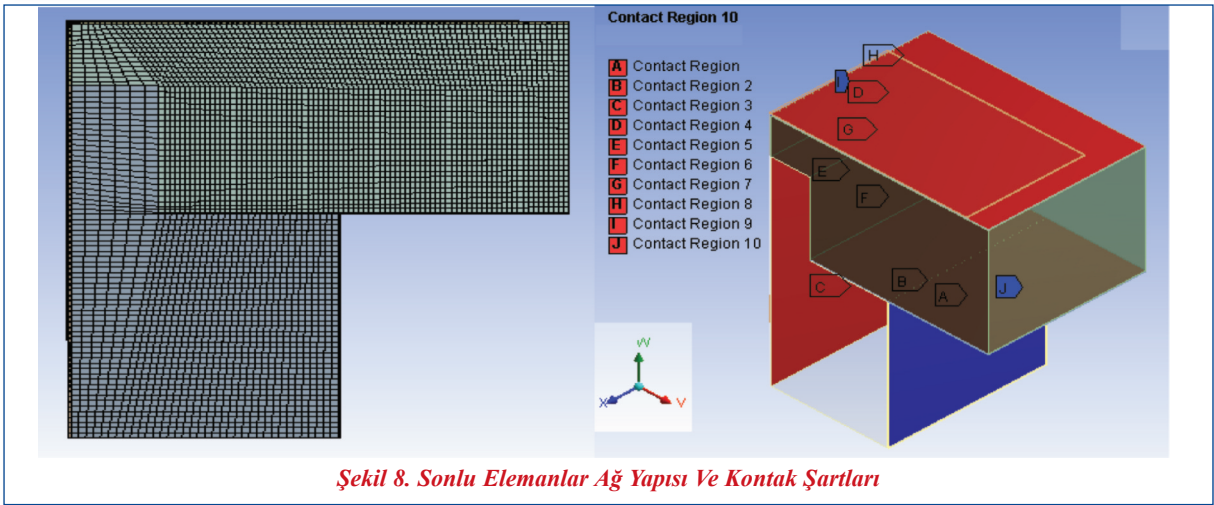
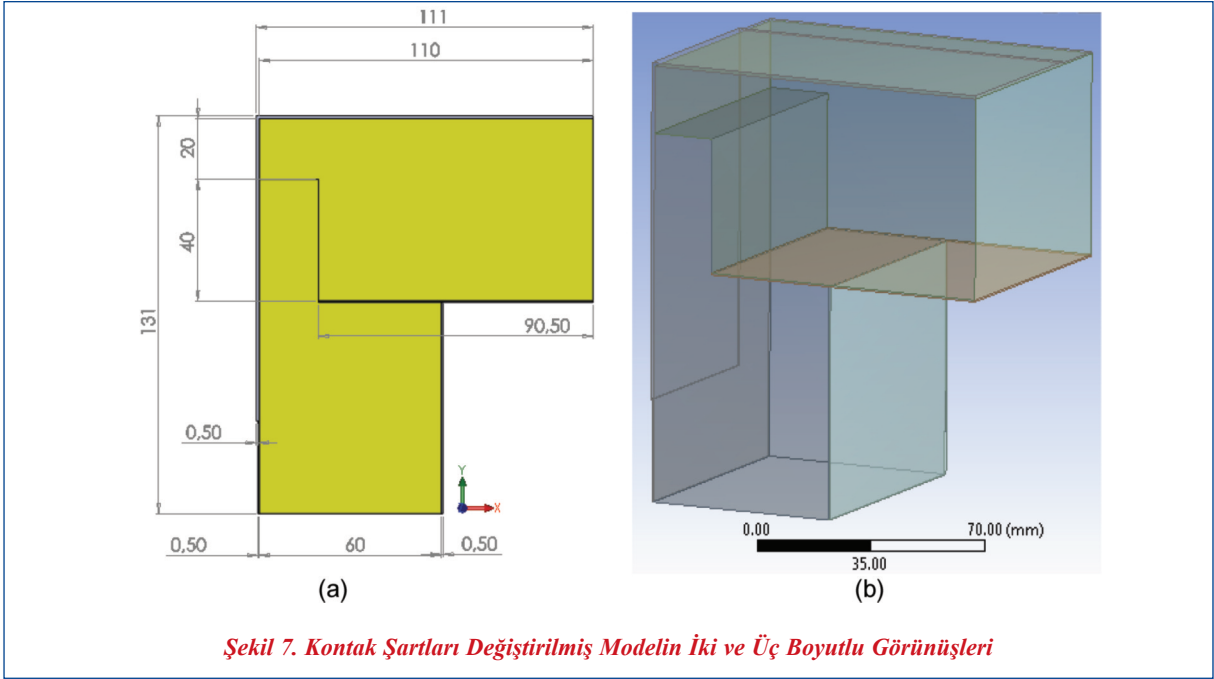
Geliştirilen model içinde sonlu elemanlar ile kesit detayların üzerinde 10 farklı kontak noktası incelenmiştir. Çalışmada bu kontak noktaları için sıcaklık

dağılımları iki farklı sıcaklık durumu için incelenmiştir.

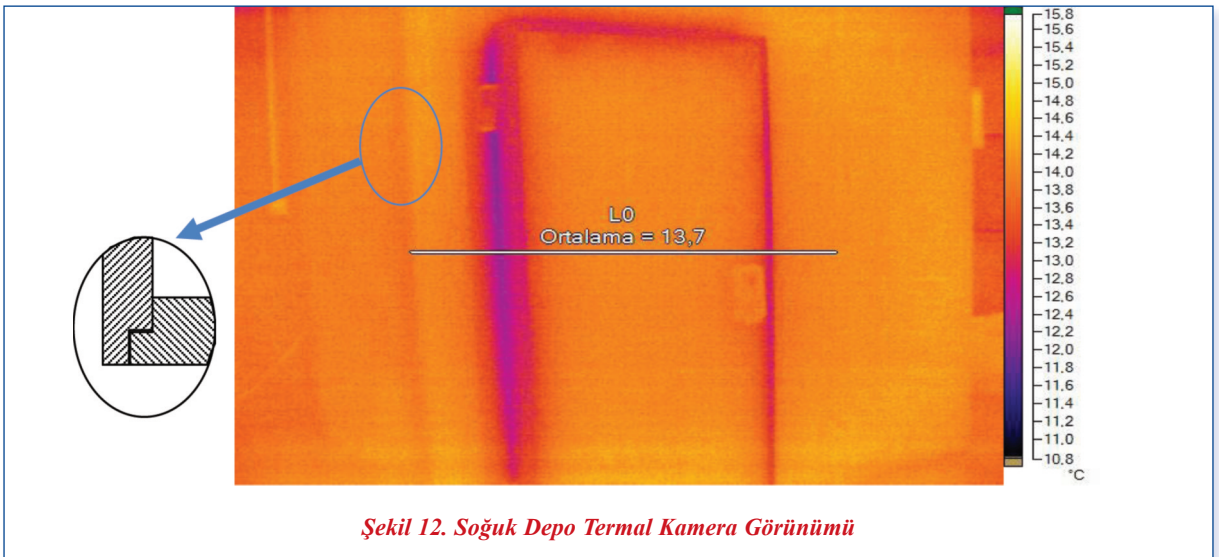
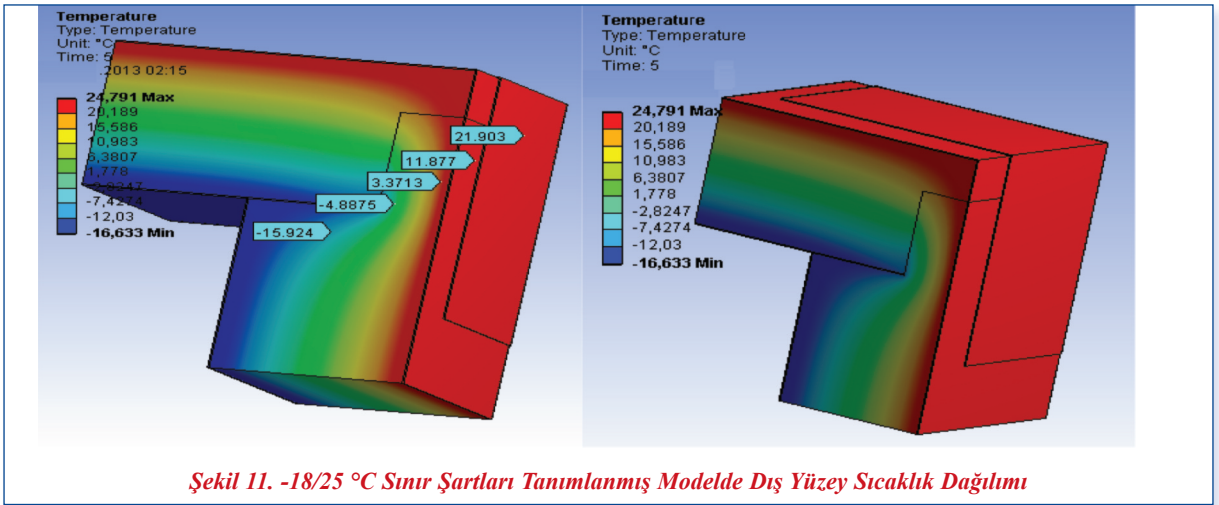
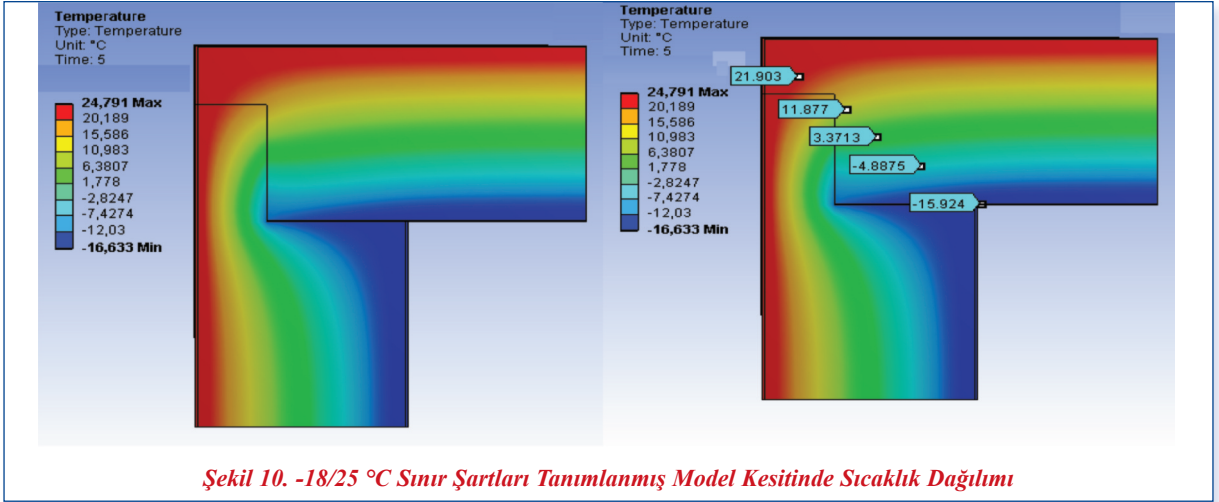
Geliştirilen kesit detayında  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkları için sıcaklık dağılımında yüzey sıcaklığının maksimum  $24,79\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu ve kesitte ısı köprüsü etkisinin ortadan kalktığı görülmektedir. Benzer inceleme  $-18/25\text{ }^{\circ}\text{C}$  için yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.

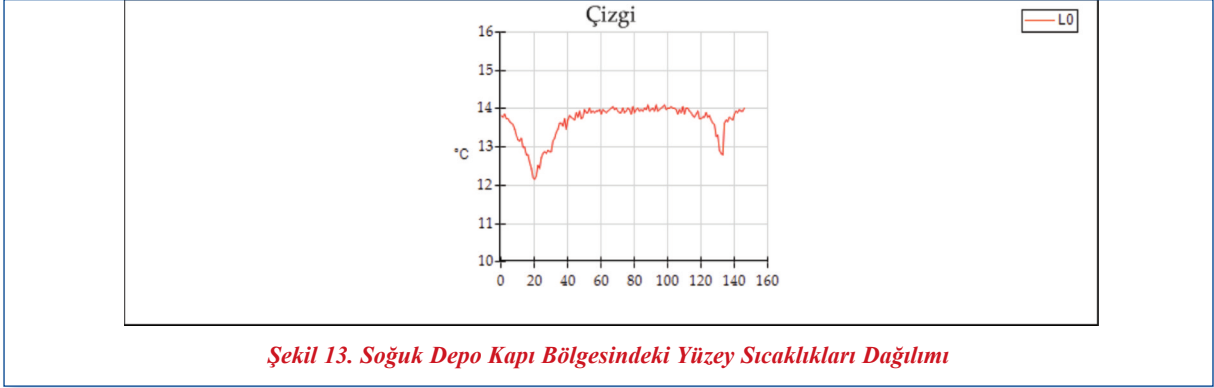
İç ortam sıcaklığının düşmesine karşın dış yüzey sıcaklığında bir değişim olmadığı görülmektedir. Kontak noktaları incelendiğinde yüzey sıcaklığı kesit detay için ısı köprüsü olabilecek noktalarda  $24,79\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak korunmaktadır. Bu dağılım dış yüzey üzerinde de Şekil 11'de verilmiştir.











**Şekil 13. Soğuk Depo Kapı Bölgesindeki Yüzey Sıcaklıkları Dağılımı**

Dış yüzey üzerinde tüm kesitler için yüzey sıcaklıkları 24,79 °C ile korunmuştur. Isıl köprü etkilerinin geliştirilen modelle giderildiği görülmektedir.

Şekil 7'de iki boyutlu modelde görüleceği üzere, geliştirilen modelde ara kesitteki metal eleman uzunluğu dış yüzeyden itibaren 20 mm kısaltılmıştır. Şekil 11'de görüldüğü gibi dış yüzey sıcaklığında kayda değer bir düşüş gözlenmemiştir. Böylece yoğuşma riski tamamen ortadan kalkmıştır.

## SONUÇ

Bu çalışmada poliüretan panelli soğuk depo kesiti için iki farklı yapı modeli incelenmiştir. Birinci model, montaj hatasını ifade ederken, ikinci modelde çözüm önerisi geliştirilmiştir. Birinci modelde soğuk depo yan duvarlarının alın-yanal birleşme uygulanması durumunda, 0 °C ve -18 °C muhafaza şartlarında soğuk depo dış yüzeyi ve duvar kesitindeki sıcaklık gradyanları sayısal olarak modellenmiştir. Şekil 3 ve 4'ten görüleceği üzere, yan duvarların birleşme ara kesit bölgelerinde yüzey sıcaklık değerleri 0 °C ve -18 °C muhafaza şartlarında, sırasıyla, 14-18 °C ve 6-11 °C aralığında değişmektedir. Ara kesitte lineer ısı akısı olmayıp iki ve üç boyutta ısı akısı meydana gelmektedir. TS 4855 standardına göre soğuk depo yükü hesabı yapılırken Balıkesir için ortalama dış sıcaklık değeri 25 °C olarak kabul edildiği için sayısal hesaplamalarda aynı dış sıcaklık değeri alınmıştır. Belirlenen yüzey sıcaklığı değerleri, yüksek bağıl nemin hüküm sürdüğü yaz aylarında dış yüzeyde yoğuşmanın kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.

İkinci modelde kademeli bir montaj uygulanmıştır.

Soğuk depo montajında da ikinci modelin uygulanması yapılmıştır. Bu modelde panel duvarın iç yüzeyinde metal sürekliliği 40 mm mesafede kesintiye uğratarak dış ortamla direk teması engellenmiştir. Sıcaklık değerleri 0 °C ve -18 °C muhafaza şartlarında, sırasıyla 22-24 °C ve 20-24 °C aralığında değişmektedir. Böylece yüzeyde yoğuşma tamamen önlenmiştir. Ara kesitteki metal elemanın boyunun daha kısa tutulması durumunda duvar kesitinde lineer bir dağılım elde edilebilir.

Termal kamera ile yaptığımız ölçüm neticesinde kademeli birleştirme neticesinde soğuk depo köşe bağlantı bölgelerinde ısı köprüsünün önüne geçilebildiği de ayrıca tespit edilmiştir (Şekil 12). Kapı-kasa bölgesinde infiltrasyon ve ısı köprüsü etkisiyle oluşan düşük sıcaklık bölgeleri de Şekil 12'de görülebilir. Kapı-kasa bağlantı bölgesinde kompozit uygulama ile bu sorunun da önüne geçilebilecektir.

Ayrı bir köşe elemanı kullanılarak alın montajı ile bu sorun giderilebilir. Ancak poliüretan panel seri üretiminde ayrı bir kalıba ve üretim hattına ihtiyaç doğacaktır. Bu da hem kalıp maliyetini hem de işçilik maliyetini artırıcı bir unsurdur. Basit bir geometrik uygulama ile bu problem giderilebilmiştir.

Isı köprülerinin yarattığı benzer problemler frigorifik araçlarda da vardır. Özellikle şasiye bağlantı noktalarında ve kapı bölgesinde yoğuşma problemleri ve sonucunda soğutma yükünde artış önemli bir sorundur. Böyle bir durumda donmuş gıda transferinde -18 °C muhafaza şartını sağlamak güçtür.

Taban-duvar birleşme bölgelerinde, toprak teması

hal için de üç boyutlu analiz ayrıca değerlendirilmiştir. Büyük ölçekli çelik ya da betonarme karkas soğuk depolarda oluşabilecek ısı köprüleri de ayrı bir inceleme konusudur.

#### KAYNAKLAR

- [1] Dağdır, C., Bolattürk, A., “Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2011, İzmir.
- [2] TS EN ISO 10211,” Thermal Bridges In Building Construction - Heat Flows And Surface Temperatures - Detailed calculations”, 2009.
- [3] Sami A. Al-Sanea, M. F. Zedan, “Effect Of Thermal Bridges On Transmission Loads And Thermal Resistance Of Building Walls Under Dynamic Conditions”, Applied Energy, 98, 584–593, 2012.
- [4] Güner, A., Dilmaç, Ş., Cihan, M.T., “ISO 9164 Heat Loss In Roof-Wall Sections”, Scientific Research and Essays, Vol. 6 (20), pp. 4354-4368, 19 September, 2011.
- [5] K. Martin, C. Escudero, A. Erkoreka, I. Flores, J. M. Sala, “Equivalent Wall Method For Dynamic Characterisation Of Thermal Bridges”, Energy and Buildings, xxx (2012) xxx–xxx.
- [6] K. Martin, A. Campos-Celador, C. Escudero, I. Gómez, J. M. Sala, “Analysis Of a Thermal Bridge in a Guarded Hot Box Testing Facility”, Energy and Building, 50 (2012) 139–149.
- [7] Taşgetiren, S., Topcu, M., “Geçişli Hal Isı İletimi Probleminin Sonlu Elemanlar Metodu ile Çözümü”, PA. Ü., Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1 (1), 45-51, 1995.
- [8] Miguel A. P., G. Eduardo R., Jose L. F. and Victor G. M.. “Effect of Passive Techniques on Interior Temperature in Small Houses in the Dry. Hot Climate of Northwestern Mexico”, Renewable Energy, v 26, 121-135, 2002.
- [9] Duranay, M, “Değişik Soğutma Durumlarında Dik Kompozit Plakalarda Sıcaklık Dağılımının Zamana Bağlı Olarak Araştırılması”, Doktora Tezi, F. Ü., Elazığ, 1998.
- [10] TS EN ISO 6946:2007, “Building Components and Building Elements-Thermal Resistance and Thermal Transmittance-Calculation Method”, 2009.
- [11] Frank P. Incropera, David P. Dewitt, “Introduction To Heat Transfer”, John Wiley and Sons Inc., New York, NY 2010.
- [12] Ansys Release 11.0 Documentation for ANSYS Workbench, 2011.