

# ARA KAT DÖŞEMELERİNİN ISIL DAVRANIŞI ÜZERİNE İKLİM ŞARTLARININ VE YALITIM SİSTEMLERİNİN ETKİSİ

Şükran DİLMAÇ<sup>\*</sup>, Ahmet CAN<sup>\*\*</sup>, Semiha KARTAL<sup>\*\*\*</sup>

\*TÜ Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Böl., \*\*TÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü \*\*\* TÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

## ÖZET

Betonarme iskelet taşıyıcı sistem elemanları olan kolon, kiriş ve döşemeler, bina kabuğu içinde ısı köprüleri oluşturmaktadırlar. Bu çalışmada ara katlarda, betonarme döşeme ve kirişlerin oluşturduğu ısı köprülerinin civarında farklı ısı yalıtım sistemleri ve farklı Derece Gün Bölgeleri için ısı akısı ve sıcaklık değerleri Quick Field paket programının 5.0 versiyonu kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo ve Grafikler şeklinde verilerek karşılaştırılmıştır. En düşük iç yüzey sıcaklığı için iklim şartlarının farklı yalıtım sistemlerinde farklı şekillerde etki oluşturduğu belirlenmiştir. Isı akıları içi ise, tüm yalıtım sistemleri, iklim şartlarının değişmesinden aynı şekilde etkilenmektedirler. İncelenen özelliğe (en düşük iç yüzey sıcaklığı, en yüksek ısı akısı, ortalama ısı akısı) göre yalıtım sistemlerinin verimliliği değişmektedir. Ancak dışardan yalıtım sistemi her durum için, çok büyük farklarla en olumlu değerleri vermektedir.

## GİRİŞ

Ülkemizde tercih edilen taşıyıcı sistem betonarme iskelettir. Bu sistemde bina kabuğu içinde betonarme elemanlardan kaynaklanan çok sayıda etkin ısı köprüsü oluşmaktadır. Bu elemanlara farklı şekillerde ısı yalıtımı uygulanmasının, sıcaklık ve ısı akısı dağılımına etkisi [1-3] numaralı yayınlarda 1. Derece Gün Bölgesi için incelenmiştir. [4] numaralı yayında ise ısı ve nem konusu birlikte değerlendirilmeye çalışılmış; ancak kesitlerdeki sıcaklık ve ısı akısı alanları ile ilgili hesaplamalara girilmemiştir.

Konu ile ilgili uluslararası yayınlarda, genellikle ısı köprülerinde sıcaklık ve ısı akısı dağılımlarının hesaplanması ile ilgili geliştirilen yaklaşımlar tanıtılmakta; fakat bunların uygulanması sonucu elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına rastlanmamaktadır [5-7]. İncelenen kesitlerdeki malzeme düzeni de, genellikle ülkemizdeki uygulamalardan farklı olmaktadır. Bu çalışmada, ülkemizdeki uygulamalarda kullanılan kesitler (malzeme ve kalınlık olarak) seçilerek, ara kat döşemelerinde meydana gelen ısı köprülerinin davranışı üzerine farklı yalıtım uygulamalarının yanında iklim şartlarının da etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardında verilen dört iklim bölgesi için, ara kat döşeme ve kiriş ile duvar birleşimlerindeki sıcaklık ve ısı akısı dağılımları kesitlerin ölçekli şemaları üzerinde gösterilmiş (Şekil 1-4); iç yüzeyde sıcaklık ve ısı akısının değişimleri ise grafikler halinde verilmiştir (Şekil 5-10). Quick Field paket programının 5.0 versiyonu kullanılarak elde edilen bu sonuçlara dayanarak, sistemlerin verimlerinin iklim şartları ile değişimi detaylı olarak irdelenmiştir. Bu bilgiler özellikle yanlış yalıtım sistemlerini kullanmaya devam etmenin kullanıcıların ısı konforu ve binanın enerji verimliliği

üzerindeki olumsuz etkisini gösterecek ve hangi iklim bölgelerinde bu olumsuzluğun hangi değerlere ulaştığını vurgulayacaktır.

## HESAPLAMALAR

Hesaplarda üç farklı ısı yalıtım sistemi (dışardan yalıtım, içerden yalıtım ve çift

duvar arası yalıtım), TS 825’de tanımlanan dört farklı Derece Gün (DG) bölgesi için incelenmiştir. Kesit yalıtımsız durumu ile ilgili sonuçlarda karşılaştırma amacıyla verilmiştir. Çift duvar arası yalıtım uygulamalarında, kesiti iyileştirmek amacıyla kirişin iç yüzüne ısı yalıtımı ilave edilmesi ülkemizdeki özellikle resmi binalarda sıkça karşılaşılan bir durum haline gelmiştir. Bu sebeple çift duvar arası yalıtım iki farklı kesitle incelemeler katılmıştır. Şekil 1 ile Şekil 4 arasında, kesitlerdeki sıcaklık ve ısı akısının dağılımı her DG bölgesi için ayrı olarak verilmiştir. Eş sıcaklık eğrileri 1 °C’lık farklarla çizilmiştir. Sıcaklık eğrilerine dik olarak geçen ısı akısını gösteren oklar ise, ısı akısının şiddeti ile orantılıdır.

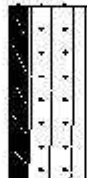
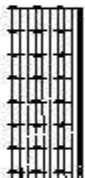
Ayrıca, farklı yalıtım sistemleri için iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi farklı DG bölgeleri için hesaplanarak grafikleri çizilmiştir (Şekil 5-10). Hesaplamalar Quick-Field paket programının 5.0 versiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. [9] nolu kaynaktaki yapılan karşılaştırmalar, bu programdan elde edilen sonuçların, deney sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

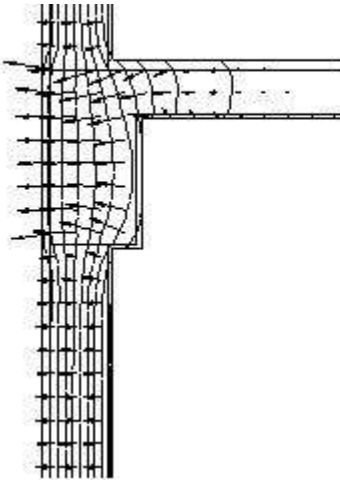
İncelenen kesitlere ait özellikler Tablo-1’de verilmiştir. İç hava sıcaklığı 20 °C olarak sabit seçilmiştir. Dış hava sıcaklığı ise TS 825’de verilen en düşük hava sıcaklıkları seçilerek 1 DG bölgesi için 8 °C, 2. DG bölgesi için 3.3 °C, 3. DG bölgesi için 1.3 °C ve 4. DG bölgesi için - 5.2 °C olarak alınmıştır. Yine standartta verildiği üzere  $1/\alpha_{iç} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,  $1/\alpha_{dış} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$  olarak alınmıştır.

Tablo 1 İncelenen kesitler ile ilgili bilgiler

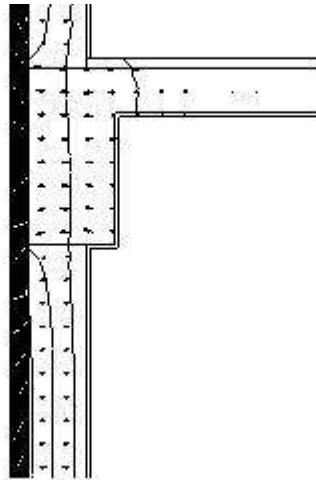
Yalıtım sistemi	Kesit kodu	Yalıtımın yeri	Malzeme ve kesit özellikleri							
			Isı iletkenliği, W/mK				Kalınlık, m			
			Kiriş ve döşeme	yalıtım	İç sıva / dış sıva	dap	Kiriş / döşeme	yalıtım	İç sıva / dış sıva	dap
Yalıtımsız	YZ	yok	2.1	0.04	0.87/0.87	1.4	0.30 / 0.15	0.05	0.015/0.025	0.03
Dışardan yalıtım	DY	dış cephe	2.1	0.04	0.80/0.87	1.4	0.30 / 0.15	0.05	0.015/0.008	0.03
Betonarme elemanlar yalıtımlı	BADY	Kiriş ve döşeme alını	2.1	0.04	0.87/0.87	1.4	0.30 / 0.15	0.05	0.015/0.025	0.03
İçerden yalıtım	İY	düşey iç yüzey	2.1	0.04	0.70/0.87	1.4	0.30 / 0.15	0.05	0.01/0.025	0.03
Çift duvar arası yalıtım	ÇDY-1	duvar	2.1	0.04	0.87/0.87	1.4	0.30 / 0.15	0.05	0.015/0.025	0.03
	ÇDY-2	Duvar ve kiriş iç yüzü	2.1	0.04	0.87/0.87	1.4	0.30 / 0.15	0.05	0.015/0.025	0.03

Şekil 1’de ara kat döşemelerinde yalıtımın etkisi ile sıcaklık ve ısı akısı dağılımlarında bariz farklılıklar olduğu görülmektedir. Yalıtımsız durumda ısı akısı oklarının büyüklüğü, ısı kaybının büyüklüğünü ifade etmektedir. Yalıtımın kullanılması ile ısı akısı okları küçülmektedir. Özellikle dışardan yalıtım uygulanması, hem iç ortam sıcaklıklarını yükseltmekte, hem ısı kayıplarını azaltmakta ve hem de yapı elemanlarını ve özellikle betonarme taşıyıcı sistem elemanlarını ısı gerilmelerden korumaktadır.

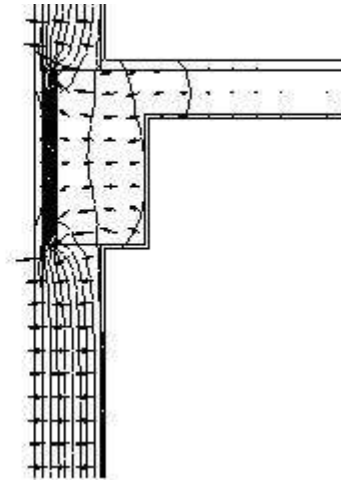




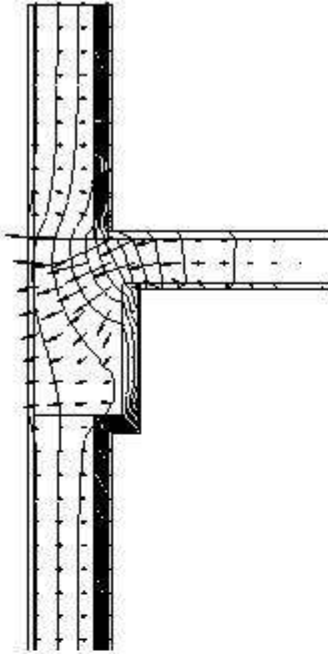
a)Ara kat-yalıtımsız  
yalıtlımlı  
(YZ)



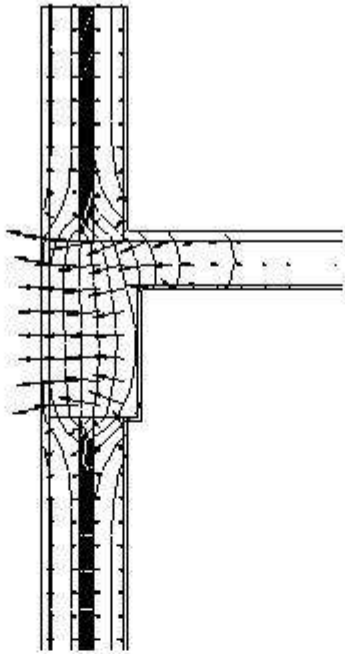
b)Ara katdışardan yalıtımlı c)Ara kat -BA elemanlar  
(DY)



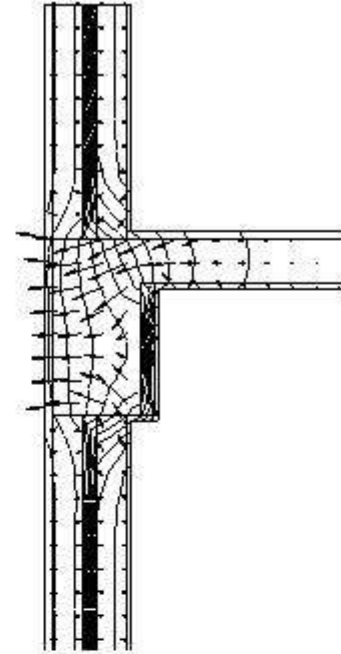
(BADY)



d)Ara kat-içerden yalıtımlı  
(İY)

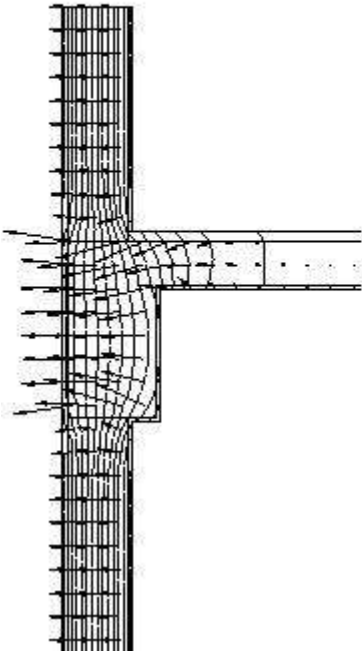


e)Ara kat-Çift duvar arası  
yalıtım  
(ÇDY-1)

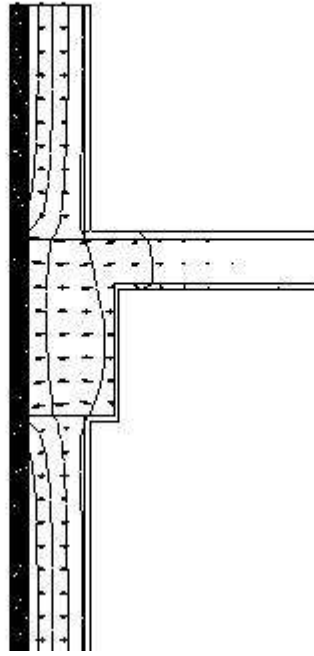


f)Ara kat-Çift duvar arası  
yalıtım, kiriş iç yüzü de  
yalıtımlı  
(ÇDY-2)

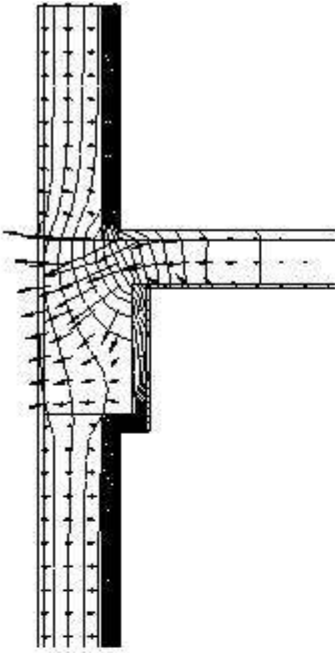
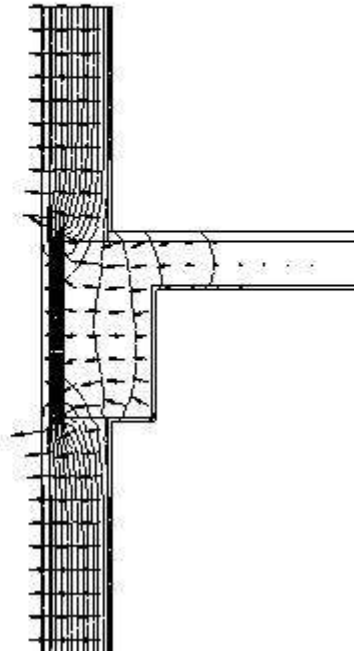
Şekil 1 Farklı yalıtım sistemleri için 1. DG bölgesinde ara kat döşemeleri yakınında sıcaklık ve ısı akısı alanları



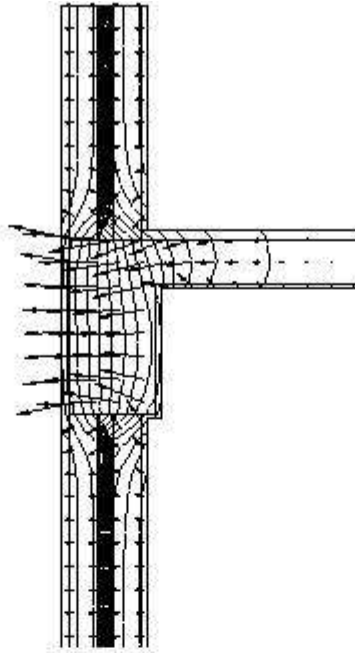
a) Ara kat-yalıtmsız  
yalıtımlı  
(YZ)



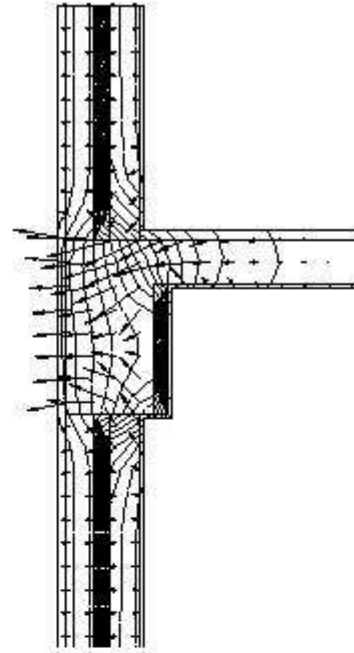
b) Ara katdışardan yalıtlımlı c) Ara kat -BA elemanlar  
(DY) (BADY)



d) Ara kat-içerden yalıtlımlı  
(İY)

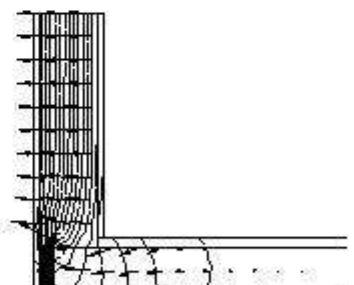
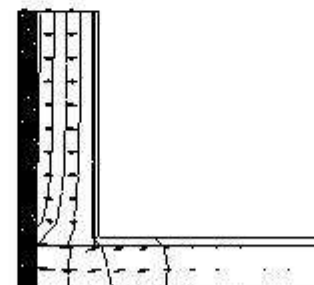
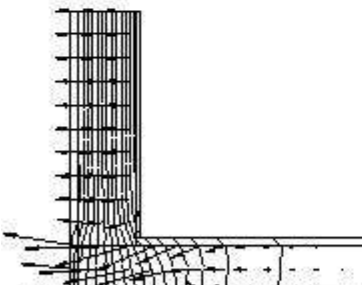


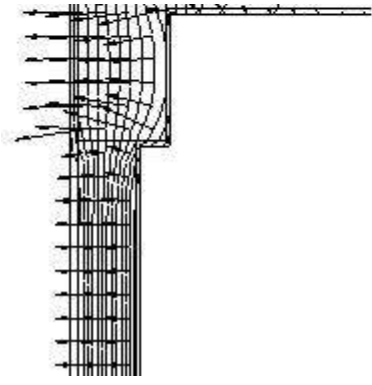
e) Ara kat-Çift duvar arası  
yalıtım  
(ÇDY-1)



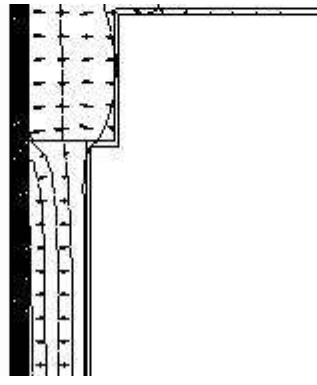
f) Ara kat-Çift duvar arası  
yalıtım, kiriş iç yüzü de  
yalıtımlı  
(ÇDY-2)

Şekil 2 Farklı yalıtlım sistemleri için 2. DG bölgesinde ara kat döşemeleri yakınında sıcaklık ve ısı akısı alanları

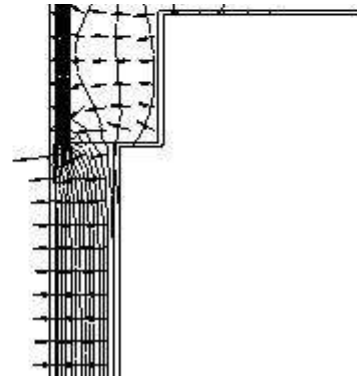




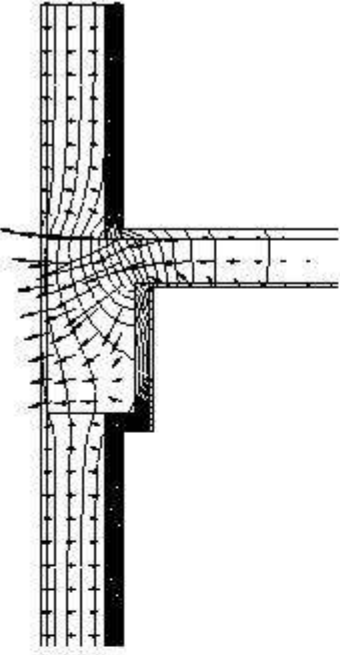
a)Ara kat-yalıtımsız yalıtımlı



b)Ara katdışardan yalıtımlı c)Ara kat -BA elemanlar

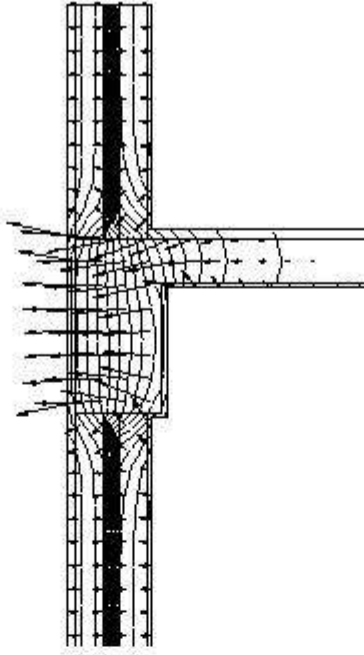


(YZ)



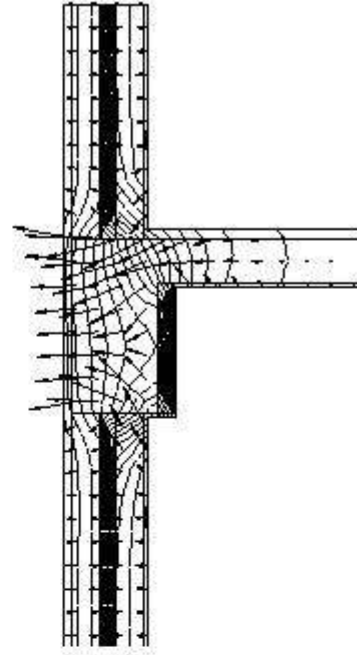
d)Ara kat-içerden yalıtımlı

(DY)



e)Ara kat-Çift duvar arası yalıtım

(BADY)

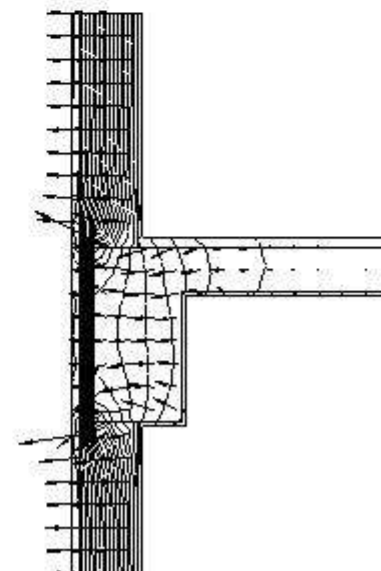
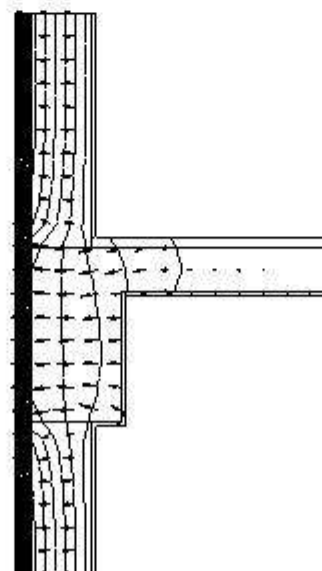
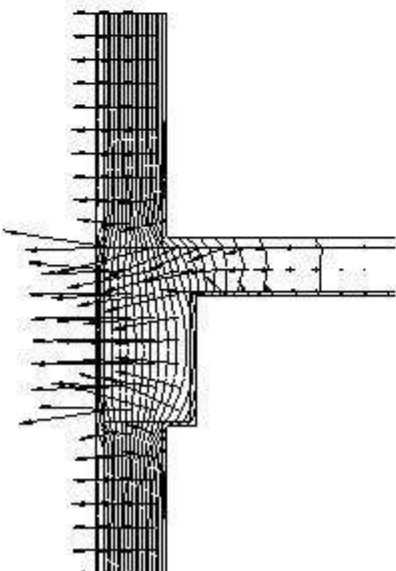


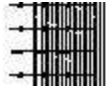
f)Ara kat-Çift duvar arası yalıtım, kiriş iç yüzü de yalıtımlı (ÇDY-2)

(İY)

(ÇDY-1)

Şekil 3 Farklı yalıtım sistemleri için 3. DG bölgesinde ara kat döşemeleri yakınında sıcaklık ve ısı akısı alanları

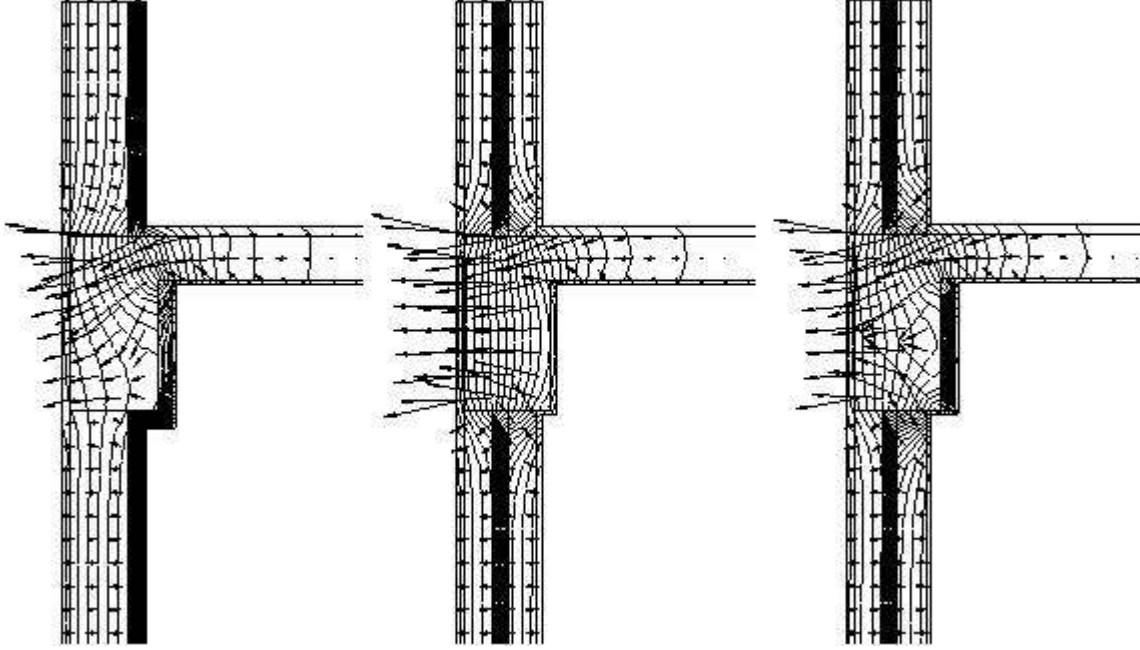




a)Ara kat-yalıtımsız  
yalıtımlı  
(YZ)

b)Ara katdışardan yalıtımlı c)Ara kat  
(DY)

-BA elemanlar  
(BAYD)



d)Ara kat-içerden yalıtımlı  
(İY)

e)Ara kat-Çift duvar arası  
yalıtım  
(ÇDY-1)

f)Ara kat-Çift duvar arası  
yalıtım, kiriş iç yüzü de  
yalıtımlı  
(ÇDY-2)

Şekil 4 Farklı yalıtım sistemleri için 4. DG bölgesinde ara kat döşemeleri yakınında sıcaklık ve ısı akısı alanları

Sadece betonarme elemanların yalıtılması halinde kiriş ve döşeme için olumlu sonuç elde edilmekte ise de, duvar ve duvarla betonarme elemanın ara kesitleri oldukça fazla zorlanmakta, duvar iç yüzey sıcaklıkları düşmekte ve ısı kayıpları artmaktadır.

Bununla birlikte ilk üç kesitte hakim olan ısı akımı tek boyutludur. Isı iletiminin iç yüzeye veya ülkemizde uygulandığı şekilde çift duvar arasına yerleştirilmesi halinde, betonarme elemanlarda ve çevresinde etkin şekilde iki boyutlu ısı iletimi meydana gelmektedir. Betonarme elemanlar yüksek ısı gerilmeler etkisinde kalmakta, ısı kaybı fazla olmaktadır. Dışardan sürekli yalıtım uygulaması ile, diğer uygulamalar arasındaki fark Şekil 2'de 2. DG bölgesi için verilen grafiklerde çok daha belirgin hale gelmektedir. 2. ve 3. DG bölgeleri arasındaki fark belirgin değildir (Şekil 2 ve 3). Ancak 4. DG bölgesinde, sıcaklık ve ısı akısı alanları aynı ölçekte çizildiği halde, ısı akısı şiddetini gösteren okların uzunluğundaki artış ve eş sıcaklık eğrileri arasındaki mesafede görülen daralma ile yalıtım sistemleri arasındaki fark açık şekilde görülmektedir (Şekil 4). Sayısal değerlerin karşılaştırılabilmesi için Şekil 5 ile Şekil 10 arasında farklı DG bölgeleri için iç yüzey sıcaklığının ve ısı akısının değişimi farklı yalıtım sistemleri ve yalıtımsız durum için gösterilmiştir. Şekil 5'de yalıtımsız durum için alt kata ait iç yüzey sıcaklığı ve bu yüzeyde meydana gelen ısı akısının değişimi her DG bölgesi için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil 6 ile Şekil 10 arasında ise benzer grafikler farklı yalıtım sistemleri için gösterilmiştir. Şekillerde farklı yalıtım sistemleri için uygulanabilir harf kodlamaları da görülmektedir.

En düşük iç yüzey sıcaklığı içerden yalıtımlı durumda kirişin iç yüzeyinde ve yaklaşık olarak orta yüksekliğinde meydana gelmektedir. Çift duvar arası yalıtımın uygulandığı sistemde kirişin iç yüzeyi boyunca düşük sıcaklıklar görülmektedir. Çift

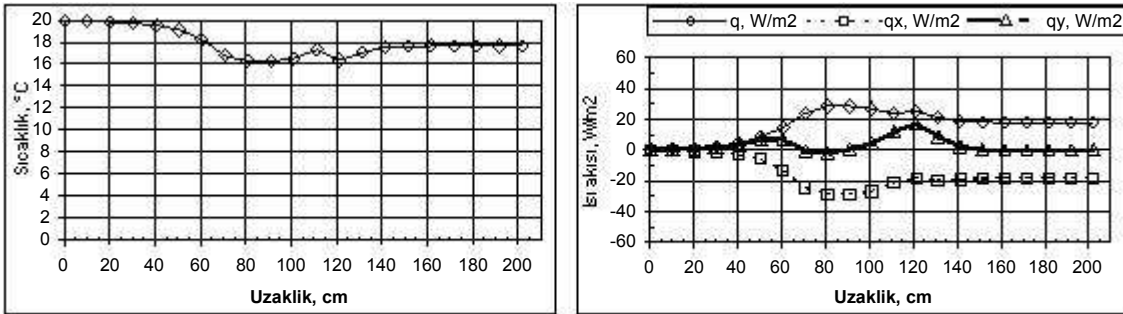
Yalıtımsız sistemde, kirişin iç yüzeyi boyunca sıcaklıklar homojen olarak dağılır. Duvar arası yalıtım uygulamasında, kirişin iç yüzeyine de ayrıca yalıtım konulması durumunda, kirişin iç yüzeyinde sıcaklıklar yükselmekte ise de; kirişle duvarın ve tavanın kesiştiği noktalarda, iç yüzey sıcaklıkları en düşük değerlerine ulaşmaktadır. Özellikle kirişle duvarın birleşim noktasındaki iç yüzey sıcaklığı, kirişin yalıtımsız olduğu durumdan daha küçük değere düşmektedir. Yalıtımsız durumda kirişin iç yüzeyi boyunca sıcaklıklar en düşük değerlerdedir. Yalnız betonarme elemanların yalıtılması durumunda en düşük sıcaklıklar duvar iç yüzeyinde meydana gelmektedir. Dışardan yalıtım uygulandığı durumda ise, tüm iç yüzey sıcaklıkları homojen şekilde dağılmıştır ve yüksek değerlerdedir.

Isı akısı değişimleri de, sıcaklık değişimlerine benzer bir davranış göstermektedir. En düşük iç yüzey sıcaklıklarının meydana geldiği bölgelerde, en yüksek ısı akıları hesaplanmaktadır (Şekil 5-10).

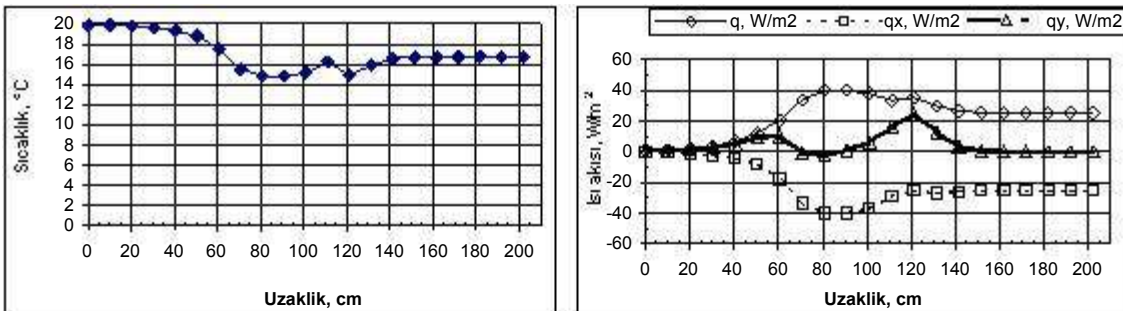
## DEĞERLENDİRME

Değerlendirmelerde, ısı konfor ve enerji verimliliği için en önemli düzlemin iç yüzey olduğu kabul edilmiş ve minimum iç yüzey sıcaklığı, maksimum iç yüzey ısı akısı ve ayrıca tüm kesit için ortalama hacimsel ısı kaybı değerleri esas alınmıştır. Farklı yalıtım sistemlerinin farklı DG bölgelerindeki en düşük iç yüzey sıcaklıklarını karşılaştırmak için, Tablo 2 hazırlanmıştır. Tabloda her kesit (yalıtım durumu) için en düşük iç yüzey sıcaklıklarına ilave olarak; her kesitin her DG bölgesindeki en düşük iç yüzey sıcaklığının 4. DG bölgesi için hesaplanan en düşük iç yüzey sıcaklığına oranı ile yine her kesitin her DG bölgesindeki en düşük iç yüzey sıcaklığının aynı DG bölgesi için DY sisteminde hesaplanan en düşük iç yüzey sıcaklığına oranı da gösterilmiştir.

Farklı yalıtım sistemlerinin farklı DG bölgelerindeki davranışlarını iç yüzeyde meydana gelen ısı akılarına göre karşılaştırmak için, Tablo 3 hazırlanmıştır.

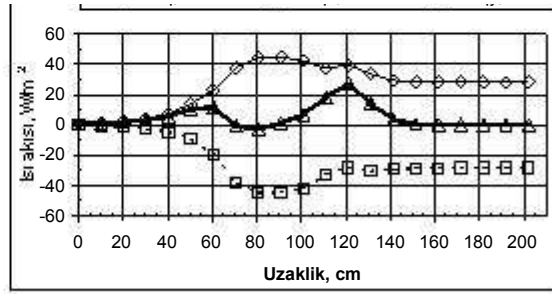
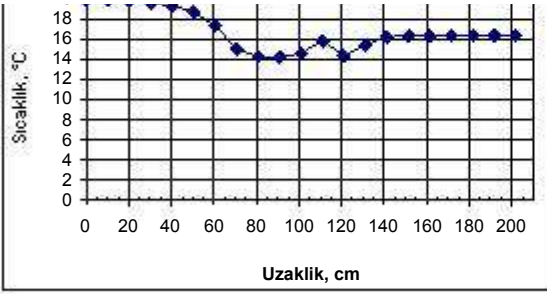


a) Ara kat yalıtımsız durum için 1. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (YZ)

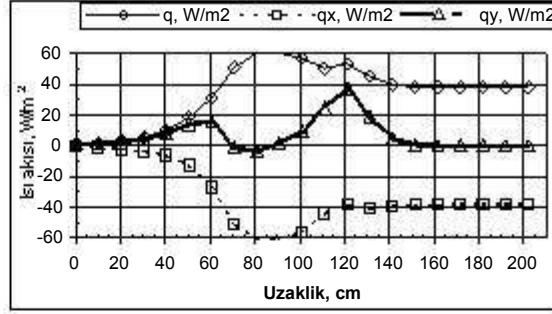
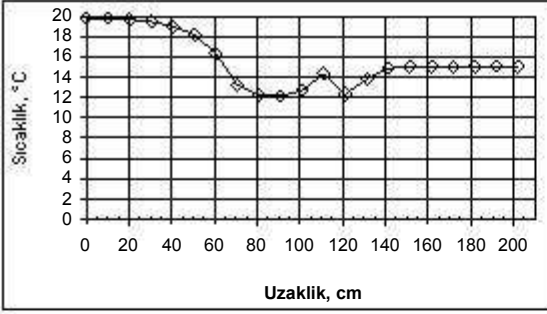


b) Ara kat yalıtımsız durum için 2. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (YZ)



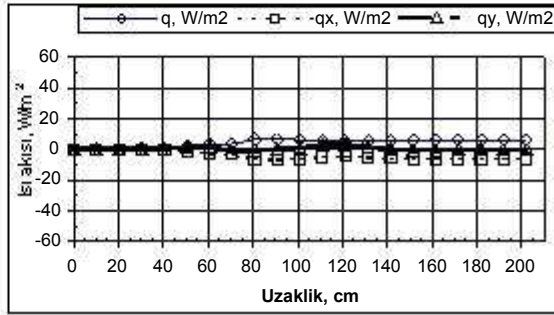
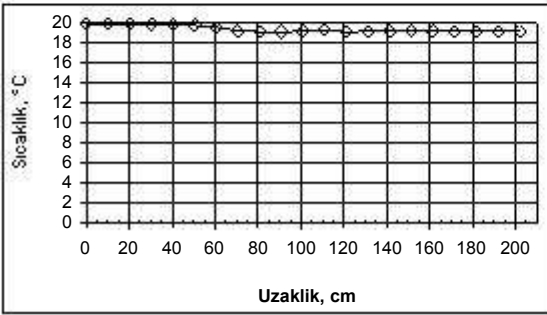


c) Ara kat yalıtımsız durum için 3. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (YZ)

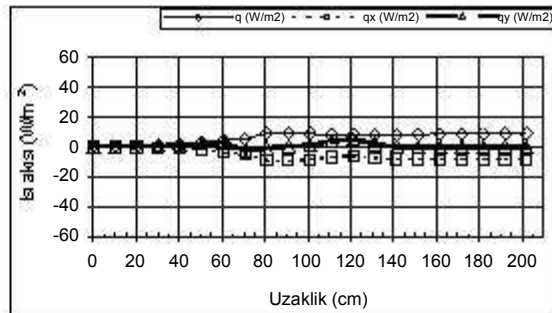
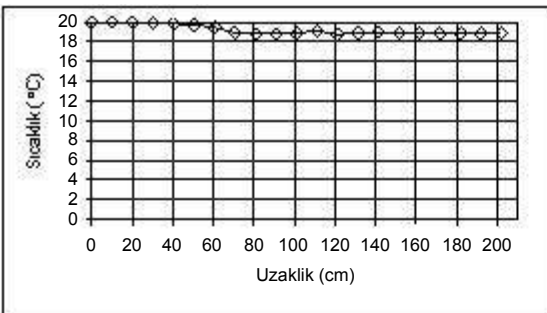


d) Ara kat yalıtımsız durum için 4. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (YZ)

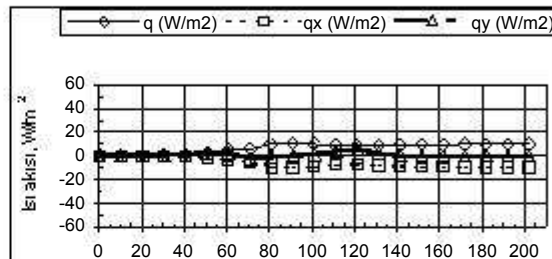
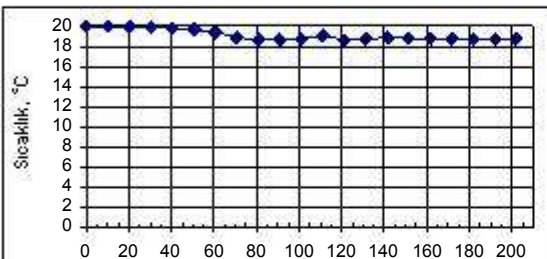
Şekil 5 Yalıtımsız durum için, iç yüzeydeki sıcaklık ve ısı akısının farklı DG bölgeleri için değişimi



a) Ara kat dışardan yalıtımlı durum için 1. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (DY)



b) Ara kat dışardan yalıtımlı durum için 2. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (İY)

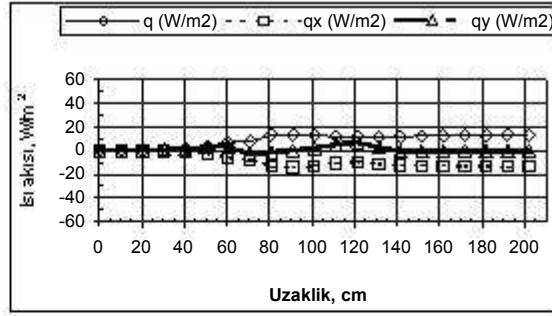
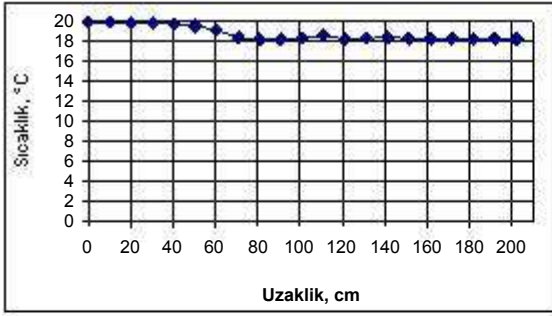




Uzaklik, cm

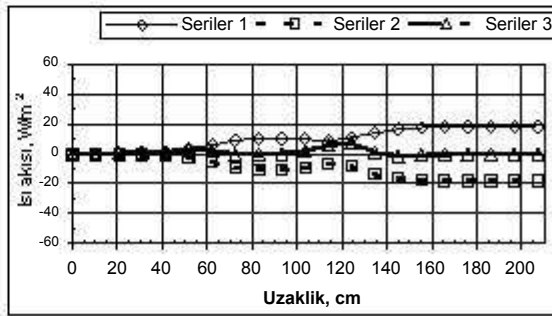
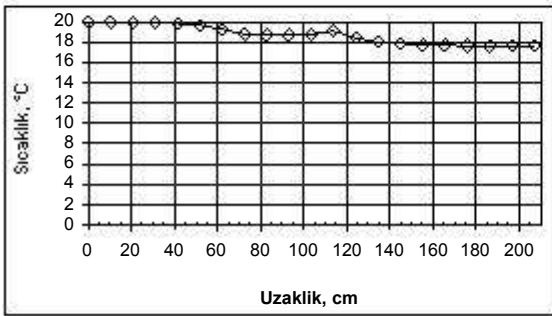
Uzaklik, cm

c) Ara kat dışardan yalıtımlı durum için 3. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (İY)

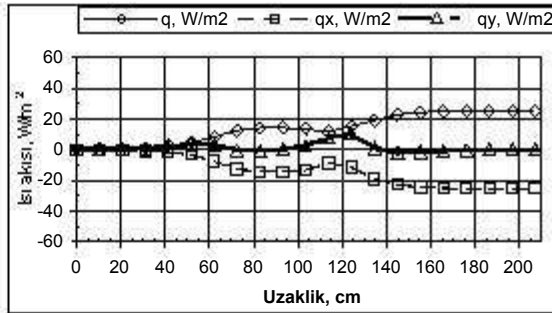
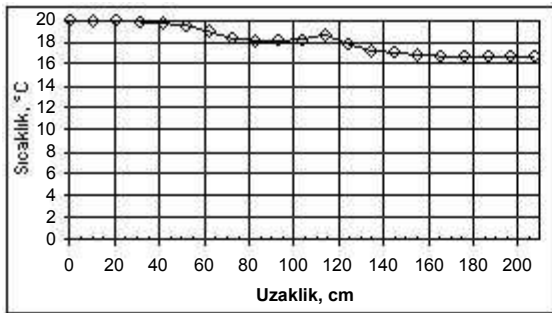


d) Ara kat dışardan yalıtımlı durum için 4. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (İY)

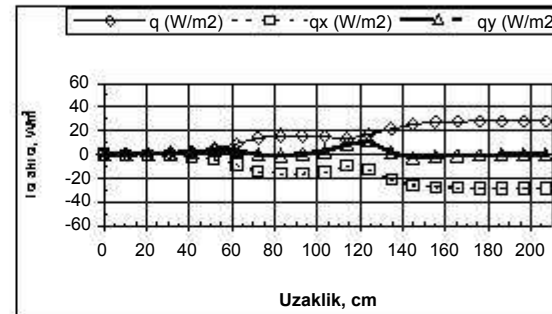
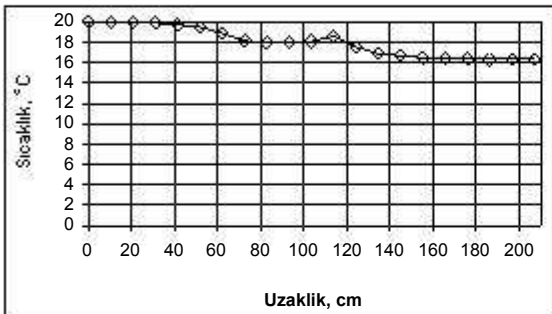
Şekil 6 Dışardan yalıtımlı durum için, iç yüzeydeki sıcaklık ve ısı akısının farklı DG bölgeleri için değişimi



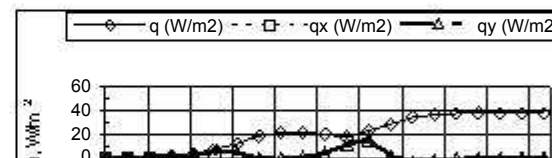
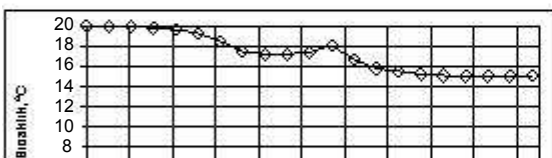
a) Ara kat betonarme elemanlar dışardan yalıtımlı durum için 1. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (BADY)

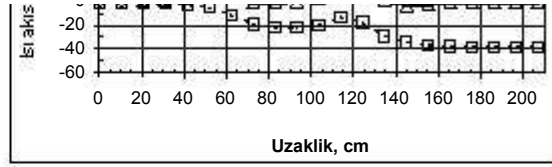
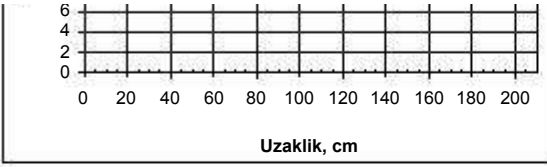


b) Ara kat betonarme elemanlar dışardan yalıtımlı durum için 2. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (BADY)



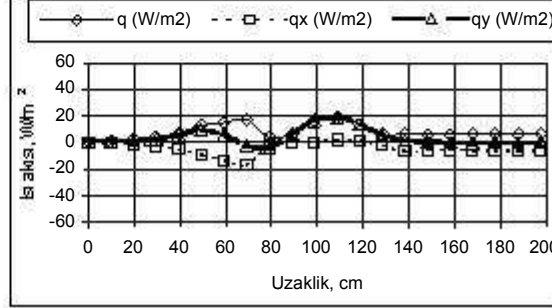
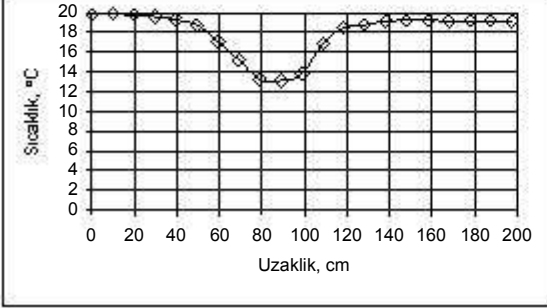
c) Ara kat betonarme elemanlar dışardan yalıtımlı durum için 3. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (BADY)



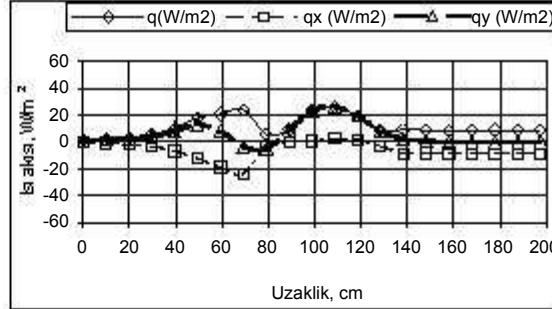
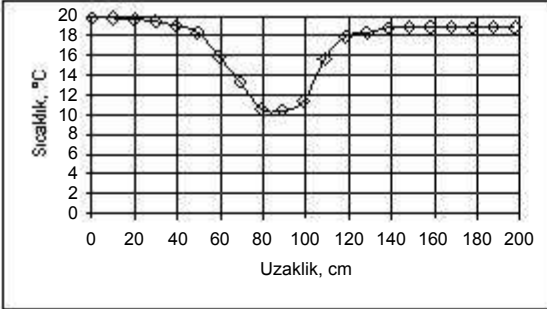


d) Ara kat betonarme elemanlar dışardan yalıtımlı durum için 4. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (BADY)

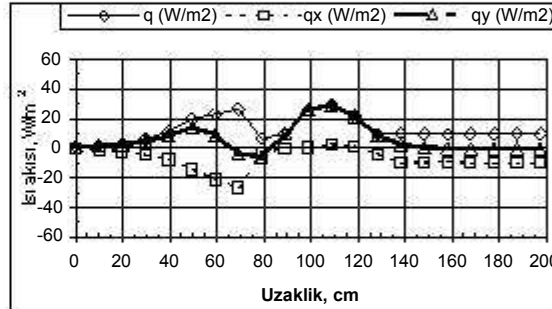
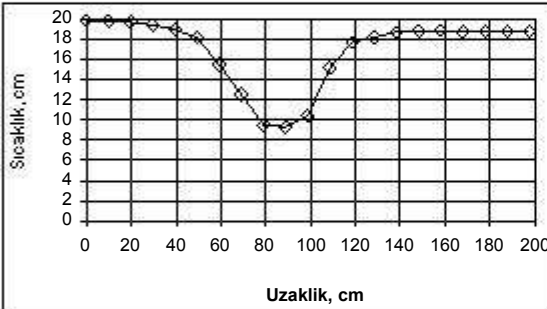
Şekil 7 Yalnız betonarme elemanların dışardan yalıtımlı olduğu durum için, iç yüzeydeki sıcaklık ve ısı akısının farklı DG bölgeleri için değişimi



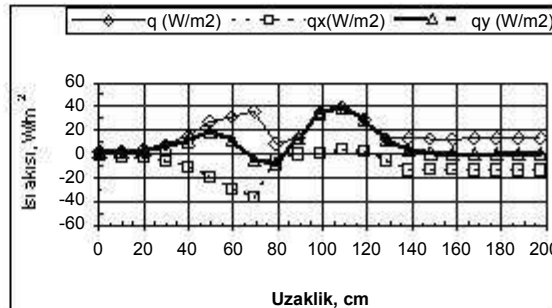
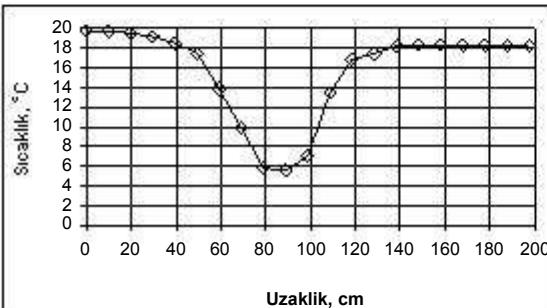
a) Ara kat içerden yalıtımlı durum için 1. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (İY)



b) Ara kat içerden yalıtımlı durum için 2. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (İY)



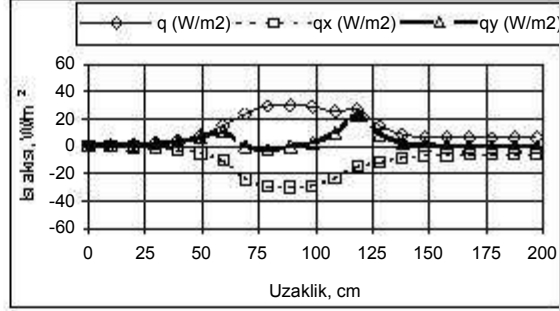
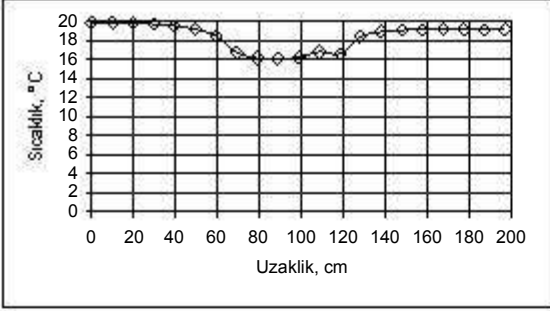
c) Ara kat içerden yalıtımlı durum için 3. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (İY)



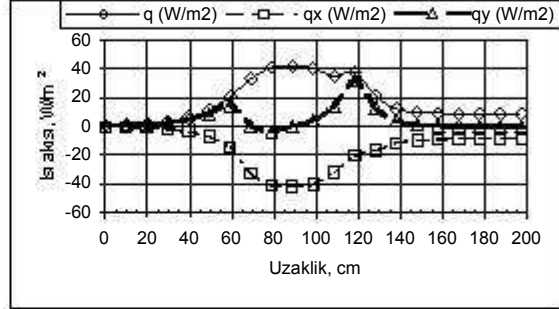
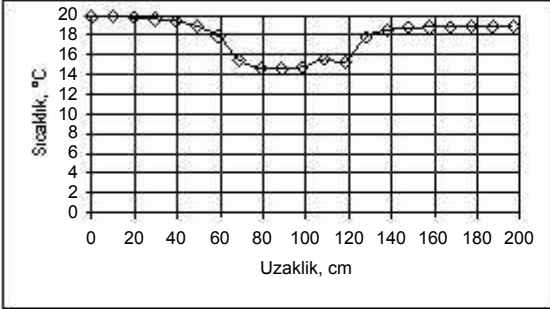
d) Ara kat içerden yalıtımlı durum için 4. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (İY)

Şekil 8 İçerden yalıtımlı durum için, iç yüzeydeki sıcaklık ve ısı akısının farklı

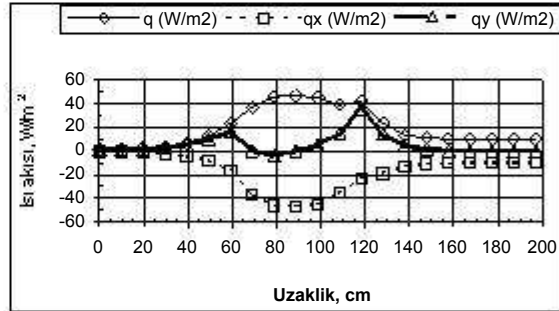
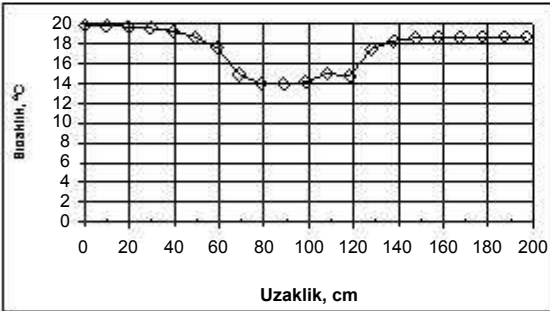
## DG bölgeleri için değişimi



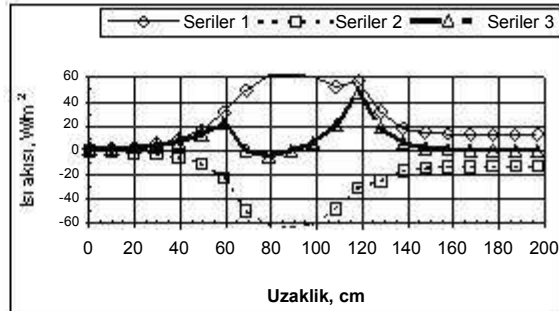
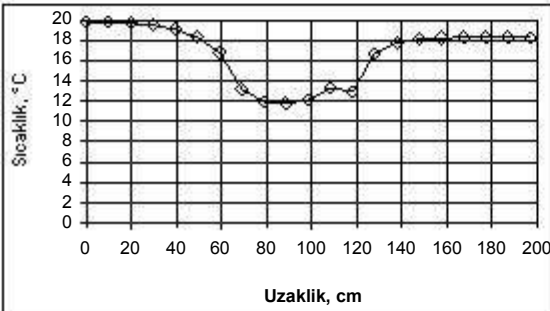
a) Ara kat çift duvar arası yalıtımlı durum için 1. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (ÇDY-1)



b) Ara kat çift duvar arası yalıtımlı durum için 2. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (ÇDY-1)

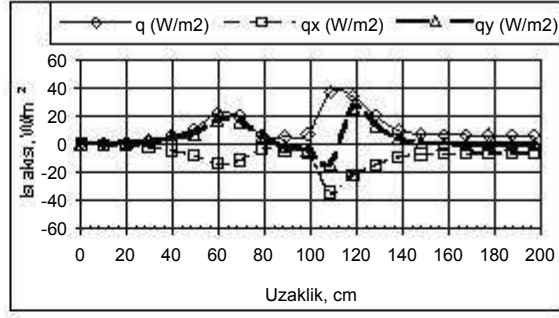
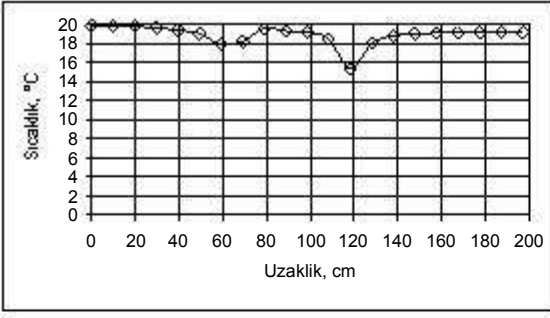


c) Ara kat çift duvar arası yalıtımlı durum için 3. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (ÇDY-1)

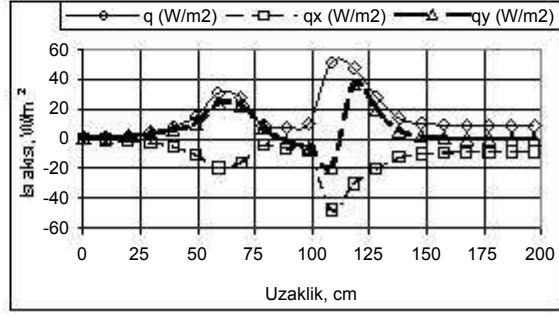
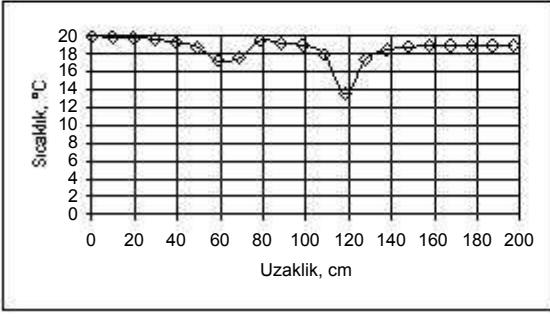


d) Ara kat çift duvar arası yalıtımlı durum için 4. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (ÇDY-1)

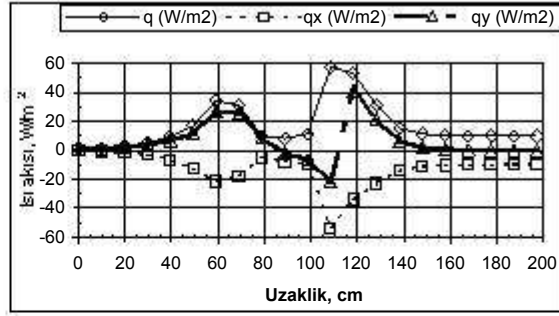
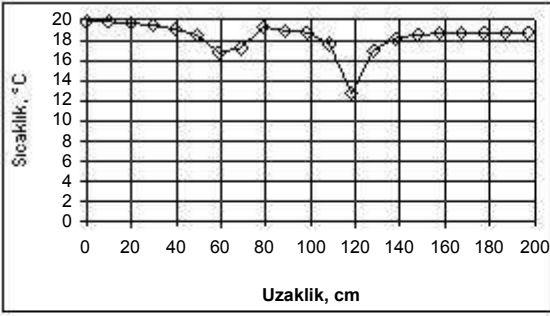
Şekil 9 Çift duvar arası yalıtımlı (ÇDY-1, giriş yalıtımsız) durum için, iç yüzeydeki sıcaklık ve ısı akısının farklı DG bölgeleri için değişimi



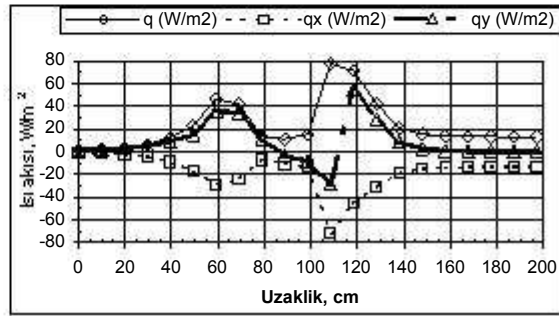
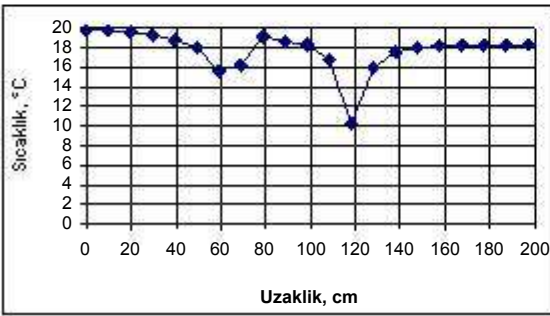
a) Ara kat çift duvar arası yalıtımlı durum için 1. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (ÇDY-2)



b) Ara kat çift duvar arası yalıtımlı durum için 2. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (ÇDY-2)



c) Ara kat çift duvar arası yalıtımlı durum için 3. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (ÇDY-2)



d) Ara kat çift duvar arası yalıtımlı durum için 4. Derece Gün bölgesinde iç yüzey sıcaklığı ve ısı akısının değişimi (ÇDY-2)

Şekil 10 Çift duvar arası yalıtımlı (ÇDY-2, giriş iç yüzü yalıtımlı) durum için, iç yüzeydeki sıcaklık ve ısı akısının farklı DG bölgeleri için değişimi

Tablo 3'te her kesit (yalıtım durumu) için iç yüzeyde meydana gelen en yüksek ısı akılarına ilave olarak; her kesitin 4. DG bölgesindeki en yüksek ısı akısı değerinin her DG bölgesi için hesaplanan en yüksek ısı akısı değerine oranı ile yine her kesit için, DY sisteminde hesaplanan en yüksek ısı akısının aynı DG bölgesi ve o kesitte hesaplanan en yüksek ısı akısına oranı da gösterilmiştir. Son olarak, her kesit ve her DG bölgesi için, kesitin 1m'lik derinliğinde homojen olduğu varsayılarak, Quick Field programı ile hesaplanan hacimsel ortalama ısı akısı değerleri de belirtilmiştir.

Tablo 2 Sistemlerin en düşük iç yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması

Kesit kodu	En düşük iç yüzey sıcaklıklar, °C				En düşük iç yüzey sıcaklığı /4DG için en düşük iç yüzey sıcaklığı, -				En düşük iç yüzey sıcaklığı/DY sisteminde en düşük iç yüzey sıcaklığı, -			
	1DG	2DG	3DG	4DG	1DG/4DG	2DG/4DG	3DG/4DG	4DG/4DG	1DG	2DG	3DG	4DG
YZ	16.3	14.8	14.2	12.1	1.35	1.22	1.17	1.00	0.85	0.79	0.76	0.66
DY	19.1	18.8	18.7	18.2	1.05	1.03	1.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
BADY.	17.6	16.7	16.3	15.0	1.17	1.11	1.09	1.00	0.92	0.89	0.87	0.82
İY	13.1	10.4	9.3	5.6	2.34	1.86	1.66	1.00	0.69	0.55	0.50	0.31
ÇDY-1	16.1	14.6	13.9	11.8	1.36	1.24	1.18	1.00	0.84	0.78	0.74	0.65
ÇDY-2	15.3	13.5	12.7	10.2	1.50	1.32	1.25	1.00	0.80	0.72	0.68	0.56

Tablo 3 Sistemlerin iç yüzeyinde meydana gelen en yüksek ısı akısı değerlerinin karşılaştırılması

Kesit kodu	En yüksek ısı akısı, W/m²				4 DG için en yüksek ısı akısı/en yüksek ısı akısı, -				DY için en yüksek ısı akısı/en yüksek ısı akısı, -			
	1DG	2DG	3DG	4DG	4DG/1DG	4DG/2DG	4DG/3DG	4DG/4DG	1DG	2DG	3DG	4DG
YZ	28.8	40.0	44.8	60.4	2.10	1.51	1.35	1.00	0.23	0.23	0.23	0.23
DY	6.6	9.1	10.2	13.8	2.09	1.52	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
BADY	18.2	25.3	28.3	38.1	2.09	1.51	1.35	1.00	0.36	0.36	0.36	0.36
İY	18.9	26.4	29.5	39.8	2.11	1.51	1.35	1.00	0.35	0.34	0.35	0.35
ÇDY-1	30.0	41.7	46.7	62.9	2.10	1.51	1.35	1.00	0.22	0.22	0.22	0.22
ÇDY-2	36.9	51.3	57.5	77.4	2.10	1.51	1.35	1.00	0.18	0.18	0.18	0.18

Tablo 2 ve Tablo 3 ile Şekil 5-9'un incelenmesi sonucu, en düşük iç yüzey sıcaklığının değeri ve yeri üzerinde iklim şartlarının ve yalıtım durumunun etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Yalıtım durumu değiştiğinde en düşük iç yüzey sıcaklığının yeri değişmektedir (Şekil 5- 9). BADY sistemde en düşük iç yüzey sıcaklığı duvarda meydana gelirken diğer sistemlerde yalıtımın yerine bağlı olarak da değişmek üzere betonarme elemanların civarında meydana gelmektedir.

Tablo 2'de en düşük iç yüzey sıcaklığı üzerinde iklim şartlarının anlamlı bir etkisi olduğu, dışardan yalıtım (DY) sisteminin ideal sonuçlar verdiği ve diğer sistemlerle arasında çok büyük fark bulunduğu açıkça görülmektedir. Ülkemizde halâ, maliyetin daha

düşük olması ve uygulama kolaylıkları vb. sebeplerle içerden yalıtım (İY) ve hatalı şekliyle çift duvar arası yalıtım (ÇDY) uygulamaları, yalıtım için anlamlı seçenekler olarak sunulmaktadır. Halbuki, 20 °C iç ortam sıcaklığı için DY sisteminde bütün DG bölgeleri için 18 °C'ın üzerinde iç yüzey sıcaklığı elde edilirken, diğer sistemlerde 5.6 °C'a kadar düşen iç yüzey sıcaklıkları meydana gelmektedir. Bu açıdan İY sistemi en olumsuz seçeneği oluşturmaktadır. En düşük iç yüzey sıcaklığı açısından DY sisteminin haricindeki tüm sistemler, yalıtımsız durumdan daha olumsuz durumlar oluşturmaktadır. Bunun sebebi, diğer yalıtım sistemlerinde ve özellikle betonarme döşeme alımlarının yalıtımsız kaldığı İY ve ÇDY sistemlerinde, bu bölgelerde büyük ısı kayıplarının meydana gelmesidir. Sadece betonarme elemanların yalıtılması durumunda en düşük iç yüzey sıcaklıkları, yalıtımsız durumun üzerine çıkmakta ise de; özellikle ısı konfor şartları için istenilen değerin (ortam sıcaklığında en fazla 3 °C fark olması) altına düşmektedir. İklim şartlarının sertleşmesinin etkisi DY sisteminde neredeyse hiç yoktur. Tüm DG bölgeleri için en düşük iç yüzey sıcaklığı daima 18 °C'ın üzerindedir ve oran 1.03 ile 1.05 arasında kalmıştır. Halbuki İY sisteminde iklim şartları sertleştiğinde, en düşük iç yüzey sıcaklığı da büyük oranda düşmektedir. 1. DG bölgesindeki değer 4. DG bölgesindeki değerin 2.34 katıdır.

oranında düşmektedir. 1. DG bölgesindeki değeri 4. DG bölgesindeki değerin 2.54 katıdır. ÇDY sisteminde, şartları iyileştirmek amacıyla giriş iç yüzeyine ilave edilen yalıtım aksine şartları daha da kötüleştirmektedir (ÇDY-2). Bu ilave yalıtım hem en düşük iç yüzey sıcaklığının daha da düşmesine sebep olmakta ve hem de iklim şartları değiştikçe daha büyük farkların meydana gelmesine sebep olmaktadır. 1. DG bölgesindeki değerin 4. DG bölgesindeki değere oranı 1.36'dan 1.50'ye çıkmaktadır. İklim şartlarından etkilenme açısından da, yalıtımsız durum İY ve ÇDY sistemlerinden daha az etkilenme göstermektedir; ÇDY-1 kesitine benzer bir davranış göstermektedir. BADIY sistem iklim şartlarından etkilenme açısından da diğer sistemlerden daha olumlu görülmektedir.

Tablo 3'de, Tablo 2'ye benzer değerler iç yüzeyde meydana gelen en yüksek ısı akısı için verilmiştir. Ayrıca Tablo 3'de kesitin 1m genişliği dikkate alınarak Quick Field programı ile hesaplanan hacimsel ortalama ısı akısı değerleri de farklı DG bölgeleri için gösterilmiştir. Şekil 5-10 arasındaki, iç ısı akısı değişimlerini gösteren grafiklerden, en yüksek ısı akısının meydana geldiği yerin, beklendiği üzere yalıtım durumuna bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Tablo 3'de, iç yüzeyde meydana gelen en yüksek ısı akısının değeri üzerinde, en düşük iç yüzey sıcaklığının aksine, iklim şartlarının farklı yalıtım sistemleri üzerindeki etkisinin aynı olduğu, dışardan yalıtım (DY) sisteminin yine ideal sonuçlar verdiği ve diğer sistemlerle arasında yine büyük fark bulunduğu görülmektedir.

İklim şartlarındaki değişimin en fazla 1 ve 2 DG bölgeleri arasında yaşandığı, 2 ve 3 DG bölgeleri arasında dış ortam şartları açısından büyük bir fark olmadığı, 3 ve 4 DG bölgeleri arasında ise, 1 ve 2 DG bölgeleri arasındaki kadar olmasa da önemli bir fark bulunduğu hem TS 825'de verilen dış ortam sıcaklıklarından ve hem de Tablo 3'de ikinci grup değerlerin satır boyunca incelenmesinden görülmektedir. Tablo 3'de ikinci grup değerlerin sütun boyunca değişiklik göstermemesi, iç yüzeyde meydana gelen en yüksek ısı akısı üzerinde, iklim şartlarının etkisinin bütün kesitler için aynı olduğunu göstermektedir; yani iklim şartları sertleştikçe, bütün sistemlerde aynı oranda artış görülmektedir. Ancak mutlak değerleri birbirinden çok farklıdır. Tablo 3'ün üçüncü grup değerleri incelendiğinde, DY sisteminde iç yüzeyde meydana gelen en yüksek ısı akısının giriş iç yüzünün de yalıtıldığı ÇDY sisteminde meydana gelen ısı akısının % 18'i ÇDY ve yalıtımsız durumlarda meydana gelen ısı akılarının

sırasıyla % 22 ve % 23'ü, İY ve BADIY sistemlerde meydana gelen ısı akılarının ise yine sırasıyla %35 ve %36'sı kadar olduğu görülmektedir. Şekil 5 ile Şekil 10 arasında ise, DY sisteminde çok küçük olan ısı akısının tüm iç yüzeyde homojen şekilde meydana geldiği; diğer sistemlerde BADIY sistemden yalıtımsız duruma doğru yüzey üzerinde belirli bölge veya noktalarda artan ısı akılarının varlığı görülmektedir. YZ ve ÇDY durumlar hem ısı akısının iç yüzeydeki değişimi ve hem de mutlak değerleri açısından birbirine benzer davranışlar göstermektedirler. ÇDY sisteminde giriş iç yüzeyine konan yalıtım belli bir bölgede ısı akısını küçültmekte ise de pik değerler yine yalıtımsız durumdaki değerlere ulaşmaktadır (Şekil 5, 9-10). İç yüzeyde meydana gelen en yüksek ısı akısı değerleri ve ısı akısının değişimi açısından İY sistemi, en düşük iç yüzey sıcaklığındaki durumdan farklı olarak, ÇDY sisteminden ve yalıtımsız durumdan daha olumlu sonuç vermektedir.

Isı kaybı açısından daha kapsamlı bilgi, Tablo 4'de tüm kesit için hesaplanan hacimsel ortalama ısı akılarının karşılaştırılmasından elde edilebilir. Tablo 4'deki değerlere göre, beklendiği üzere, yalıtımsız durum en yüksek ısı akısı değerlerini vermektedir. DY sistemi ile bu değeri % 70'den fazla azaltmak mümkün görülmektedir. Daha sonra ÇDY-1 sistemi büyük ölçüde ısı kaybına sebep olmaktadır. Bu sistemi BADIY sistem takip etmektedir ki, DY sistemi ile ısı kaybını bu sistemlerde meydana gelen ısı kaybının % 60'ına çekmek mümkün olmaktadır. ÇDY-2 sisteminde giriş iç yüzüne konan yalıtım, ısı kaybını biraz azaltmaktadır. İY sistemi ise, DY haricindeki diğer sistemlere göre en az ısı kaybı oluşturmaktadır. Bununla birlikte DY sistemi ile ısı kaybının, ÇDY- 2 ve İY sistemlerine göre sırasıyla % 53 ve % 45 oranında azalacağı Tablo 4'den görülmektedir. Bu oranlar, tüm iklim bölgeleri için aynı kalmaktadır. Dolayısıyla DY sistemi ile, tüm iklim bölgelerinde, diğer sistemlere nazaran yaklaşık % 50 oranında daha az ısı kaybı meydana gelecektir.



Tablo 4 Tüm kesit için hacimsel ortalama ısı akısı değerlerinin karşılaştırılması

Kesit kodu	Hacimsel ortalama ısı akısı (tüm kesit için), W/m <sup>2</sup>				4DG için hacimsel ortalama ısı akısı/ hacimsel ortalama ısı akısı, -				DY için hacimsel ortalama ısı akısı/ hacimsel ortalama ısı akısı, -			
	1DG	2DG	3DG	4DG	4DG/1DG	4DG/2DG	4DG/3DG	4DG/4DG	1DG	2DG	3DG	4DG
YZ	21.9	30.5	34.1	46.0	2.10	1.51	1.35	1.0	0.27	0.28	0.28	0.27
DY	6.0	8.4	9.4	12.6	2.10	1.50	1.34	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00
BADY	13.8	19.3	21.6	29.1	2.11	1.51	1.35	1.0	0.43	0.44	0.44	0.43
İY	10.9	15.1	16.9	22.8	2.10	1.51	1.35	1.0	0.55	0.56	0.56	0.55
ÇDY-1	15.1	21.0	23.6	31.8	2.11	1.51	1.35	1.0	0.40	0.40	0.40	0.40
ÇDY-2	12.7	17.7	19.8	26.7	2.10	1.51	1.35	1.0	0.47	0.47	0.47	0.47

## SONUÇ

En düşük iç yüzey sıcaklığı açısından farklı yalıtım sistemleri, iklim şartlarının değişmesinden farklı şekillerde etkilenmektedirler. DY sisteminde iklim şartlarının sertleşmesi ile en düşük iç yüzey sıcaklığında çok küçük bir değişim görülürken; İY sisteminde iklim şartları ile en düşük iç yüzey sıcaklığında oldukça büyük farklar görülmektedir.

Hem en düşük iç yüzey sıcaklığı ve hem de iklim şartlarının sertleşmesiyle en düşük iç yüzey sıcaklığında daha büyük düşüş görülmesiyle İY sistemi incelenen kesitler içinde en olumsuz durumdur. Bunu ÇDY sistemi takip etmektedir. ÇDY sisteminde iyileştirme ümidiyle kiriş iç yüzüne eklenen yalıtım sisteminin daha da kötüleşmesine sebep olmaktadır. Yalıtımsız durum, yukarıda belirtilen sistemlerden daha olumlu sonuç vermektedir. BADY sistem daha olumlu olmakta ve özellikle İY, ÇDY ve yalıtımsız duruma nazaran büyük bir farkla DY sistemi ideal sonuçlar vermektedir. Sistemler olumludan olumsuz doğru, DY, BADY, YZ, ÇDY-1, ÇDY-2 ve İY olarak sıralanmaktadır.

İç yüzeyde meydana gelen en yüksek ısı akısı ve hacimsel ortalama ısı akısı üzerinde, iklim şartlarının etkisi yalıtım sistemlerinden bağımsızdır. Hatta yalıtımsız durumda bile iklim şartlarının değişmesi ile ısı akılarında aynı oranlarda değişim görülmektedir. Ancak mutlak değerler tabiatıyla farklıdır. Sistemler olumludan olumsuz doğru, DY, İY ve BADY, ÇDY-1 ve YZ, ÇDY-2 olarak sıralanmaktadır.

Hacimsel ortalama ısı akısı değerleri üzerinde de iklim şartlarının etkisi tüm sistemler için aynıdır. Ancak, DY sistemi ile diğer sistemlere nazaran en az % 50 oranında ısı kaybının azaltılması mümkün olmaktadır. Sistemler olumludan olumsuz doğru, DY, İY, ÇDY-2 (kiriş iç yüzü de yalıtımlı), BADY, ÇDY-1, YZ olarak sıralanmaktadır.

Dışardan yalıtım sistemi, iklim şartlarının sertleşmesinin iç ortamda ve iç yüzeylerde görülebilecek olumsuz etkilerini yok etmekte; iç yüzeylerde (ve hatta tüm kesitte) sıcaklık ve ısı akısı değişimlerini en aza indirmekte ve ısı kayıplarını diğer yalıtım sistemlerine nazaran en az % 50 mertebesinde azaltmaktadır. Sert iklim şartların en düşük iç yüzey sıcaklığının konfor şartları için gereken değerini diğer sistemlerle sağlamak mümkün değil iken, DY sistemi ile en uygun değerler sağlanabilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma İÇTAG-I242 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Ş.DİLMAÇ, M. T. CİHAN ve A. GÜNER, “Teras Çatıların Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması”, baskıda.
2. Ş. DİLMAÇ, A. CAN ve F.Ş. SEZER, “Ara Kat Kirişli Döşemelerinde İçerden ve Dışardan Yalıtım Uygulamalarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği, Mart -Nisan 2004, ISSN 1300-3399, Sayı 80, s. 720, İstanbul 2004.
3. M. T. CİHAN, F. ŞENKAL ve Ş. DİLMAÇ, “Teras ve Ara Kat Döşemelerinde Çift Duvar Arası Yalıtım Uygulamalarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması”, hazırlanıyor.
4. E. ÖZKAN (proje yürütücüsü), “Yapı Elemanlarının Birleşimlerinde Isı ve Nem İle İlgili Optimum Performans Gösterecek Seçeneklerin Geliştirilmesi”, Proje no: TÜBİTAK-İNTAG 234, İstanbul, 2000.
5. Anonim, “Simple Solution to Part L (New 1995 Building Regulations for England and Wales)”, EURISOL, Mart 1996, UK.
6. BROWN W.P. and WILSON A.G., “CBD- 44 Thermal Bridges in Buildings”, Canadian Building Digest, [www.nrc.ca/irc/cbd/44e.html](http://www.nrc.ca/irc/cbd/44e.html), 1963.
7. J. KONY and e. KOSSECKA, “Multi- dimensionanl Heat Transfer Through Complex Building Envelope Assemblies in Hourly Energy Simulation Programs”, Energy and Buildings, Volume 34, Issue 5, June 2002, pp. 445-454.
8. Ş. DİLMAÇ, A. GÜNER ve Ö. ALAMUT, “Teras Kat Döşemelerinin Isıl Davranışı Üzerine İklim Şartlarının Ve Yalıtım Sistemlerinin Etkisi”, hazırlanıyor.
9. G. AKGÜN ve Ş. DİLMAÇ, “Isı Köprüsü Problemlerinde Kullanılan Matematik Modellerin Karşılaştırılması”, incelemede.