

ARA KAT KIRIŞLI DÖŞEMELERİNDE İÇERİDEN VE DIŞARIDAN YALITIM UYGULAMALARININ ENERJİ VERİMLİLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Şükran DİLMAÇ*, Ahmet CAN**, Filiz ŞENKAL SEZER***

*Trakya Üniversitesi, Çorlu mühendislik Bölümü, İnşaat Mühendisliği Bölümü

** Trakya Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

*** Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

ÖZET

Betonarme iskelet taşıyıcı sistemlerde, kiriş ve döşemelerin oluşturduğu ısı köprülerinin binanın ısı performansına etkileri ara kat kirişli döşemeler için incelendikten sonra, bu kesite içerden ve dışardan yalıtım uygulamalarının etkileri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, kiriş ve döşemelerden oluşan ısı köprüsü civarında sıcaklık ve ısı akısı dağılımları ile sayısal değerleri yukarıda belirtilen üç farklı durum için karşılaştırılmıştır. Kiriş ve döşeme parçasından oluşan bloğun dış konturlarında, dış yüzeyde ve iç yüzeylerde sıcaklık ve ısı akısının değişimi QuickField programı kullanılarak hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir.

1. GİRİŞ

Deprem riskinin büyük olduğu Türkiye’de, kiriş-döşeme-kolonlardan oluşan taşıyıcı elemanlar bina kabuğu içinde önemli bir paya sahiptirler. Dış yüzey alanı olarak bu oran % 20-25 mertebelerindedir. Isı iletkenliği 2.1 W/mK olan donatılı betondan oluşan taşıyıcı elemanlardan, ısı iletkenliği daha düşük olan (0.04-0.90 W/mK arasında) malzemelerden oluşan dolgu duvarlara nazaran çok daha fazla ısı kaybı meydana gelecektir. Bu durumun ısınma amaçlı enerji tüketiminin artmasına sebep olacağı gibi, iç yüzey sıcaklıklarının da düşmesine sebep olacağı bilinen bir durumdur. Isı köprüleri olarak isimlen-

dirilen bu elemanların çevresindeki sınırlı alana sahip bölgelerde sıcaklık ve ısı akısı dağılımının durumunu ve bu büyüklüklerin sayısal değeri üzerine yalıtım sistemlerinin etkisini inceleyen Türkçe yayın sayısı oldukça azdır. Bunun sonucunda, yanlış ısı yalıtım uygulamaları sebebiyle binalarda enerji verimliliği sağlanamamakta ve yapılan önemli miktardaki işgücü ve malzeme maliyetine rağmen mümkün olan ve istenilen düzeyde ısı konfor elde edilememektedir.

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 [1-3]. "Guide Book" türü kaynaklarda ise, her ülkeye kendi yapım sistemleri ile ilgili detayları incelemektedir. Ülkemizde kullanılan betonarme iskelet (kirişli) taşıyıcı sistemine tuğla, gazbeton vb. bloklarla duvarların örülmesinden oluşan yapım sistemi, diğer ülkelerde karşılaşılan yığma yapım sistemi ile çelik veya ahşap taşıyıcı elemanların ve kirişsiz döşemelerin kullanıldığı iskelet sistemlerden oldukça farklıdır. Dolayısıyla ısı davranışları da farklı olacaktır.

Ara kat kirişli döşemeleri ile duvarların birleşimindeki sıcaklık ve ısı akısı dağılımları üzerine, kullanılan duvar malzemesi ile yalıtım sistemi ve yalıtım malzemesinin

ması durumunda, ara kat kirişin döşemesi - den oluşan ısı köprülerinin civarında (duvar-kiriş-döşeme birleşimlerinde) sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ve sistemlerin enerji verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Ara kat döşemelerinde yalıtımsız durumda, içerden yalıtım uygulandığında ve dışardan yalıtım uygulandığında ısı köprüsü civarında tüm kesitte sıcaklık ısı akısı dağılımı ile belirli bölgelerde sıcaklık ve ısı akısının sayısal değişimi grafik şekillerle gösterilmiş ve değerlendirilmiştir. Hesaplamalar QuickField 5.0 program versiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Önce yalıtımsız durum için sıcaklık ve ısı akısı alanları belirlenmiş ve daha sonra yukarıda belirtilen seçenekler için değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuçlar, bu konudaki kapsamlı çalışmalardan biri olan [4] no'lu kaynakta verilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Enerji verimliliği, iç ortam konforu ve ısı kaybındaki değişimler ile belirlenmektedir. Bu çalışmada, iç ortam konforu, iç yüzey sıcaklıkları ile, enerji tüketimleri ise incelenen

Bölgesi iklim verileri ile gerçekleştirilmiştir [5]. Benzer çalışma bir başka yayında teras döşemeler için de gerçekleştirilmiştir [6]. İlerideki çalışmalarda diğer iklim bölgeleri için de aynı incelemeler yapılacak ve etkilerin büyüklüğündeki değişimler belirlenecektir [7].

Günümüzde ülkemizdeki ısı yalıtım uygulamaları, yalıtım malzemesi üreticilerinin ticari beklentilerine göre şekillenmektedir. Yeterli teknik altyapı ile desteklenmeden gerçekleştirilen bu uygulamalarda, zaman zaman yaşanan sorunlar, tüketiciyi yalıtımdan uzaklaştırmaktadır. Isı yalıtımının en önemli özelliklerinden biri de, doğru malzeme, detay ve uygulama ile gerçekleştirilmediği durumda; ısı yalıtımı uygulanması sonucu, ısı yalıtımı uygulanmadığından daha olumsuz sonuçlar elde edilebilmesidir. Kesit içinde sıcaklık ve ısı akısının dağılımının bilinmesi, bu bilgilerin sunulduğu ve değerlendirildiği akademik çalışmaların sayısının artması; ısı yalıtımı uygulamalarının, bina içinde bir dekorasyon değişikliği olmadığından daha iyi

Tablo 1. Kesitlerde kullanılan malzemelerle ilgili özellikler

Malzeme	Isı İletkenliği λ , W/mK	Kalınlık d , m	Katmanların $\sum(d/\lambda)$ değeri m^2K/W	Kirişin U değerleri* W/m ² K	Duvarın U değerleri* W/m ² K
Betonarme	2.1	0.30	0.142	2.79, 0.63	1.52, 0.53
İç sıva	0.87	0.015	0.017		
Dış sıva	0.87	0.025	0.029		
Alçı sıva (yalıtımın iç yüzeyinde)	0.70	0.01	0.014		
İnce sıva (yalıtımın dış yüzeyinde)	0.80	0.008	0.01		
Yalıtım	0.04	0.05	1.25		
Tuğla	0.45	0.20	0.44		
* $1/a_{iç}=0.13 m^2K/W$, $1/a_{dış}=0.04 m^2K/W$					

anlaşılmasını ve ülkemizde ısı yalıtım uygulamalarında doğru seçeneklerin uzman kişilerce ticari endişelerden uzak ve tartışmasız bir şekilde belirlenmesini sağlayacaktır.

2. HESAP SONUÇLARI

Kesitlerde kullanılan malzemelerin ısı

leneksel melez (kireçli çimento) sıva bulunmaktadır. Dışardan yalıtımlı durumda duvar ve betonarme elemanların (kiriş ve döşeme alını) dış yüzüne ısı yalıtımı ve yalıtımın dış yüzeyine de ince sıva uygulanmıştır. İçerden yalıtım uygulamalarında, duvar ve kiriş iç yüzeyine uygulanan ısı yalıtım döşeme tarafından kesilmidir. Isı yalıtımın iç

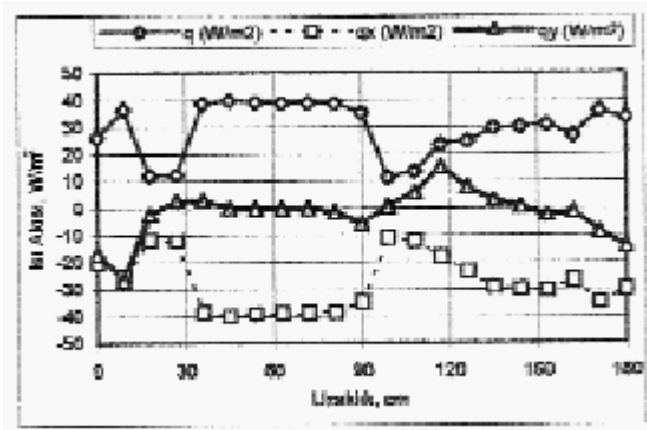
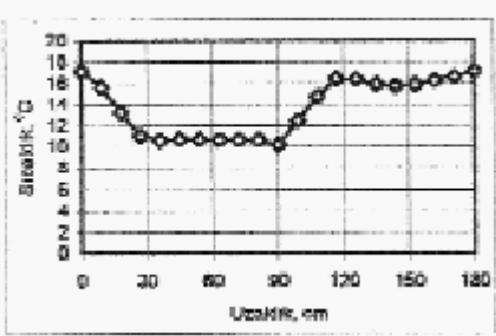
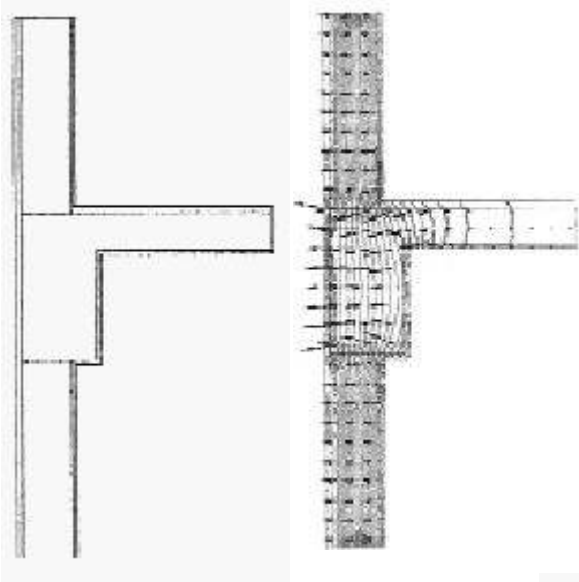
kesimlerde kullanılan malzemelerin ısı iletkenlikleri, kalınlıkları ve bu kalınlıklara karşı gelen U değeri Tablo 1’de gösterilmiştir.

İncelenen kesitler Şekil 1 ile Şekil 9 arasında görülmektedir. Yalıtımsız durumda betonarme kiriş, döşeme ve tuğla duvarın dış yüzünde 2.5 cm, iç yüzeylerde ise 1.5 cm ge-

şirme tarafından kesilmiştir. Isı yalıtımın iç yüzüne ise alçı sıva uygulanmıştır. Aşağıda her uygulama için elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

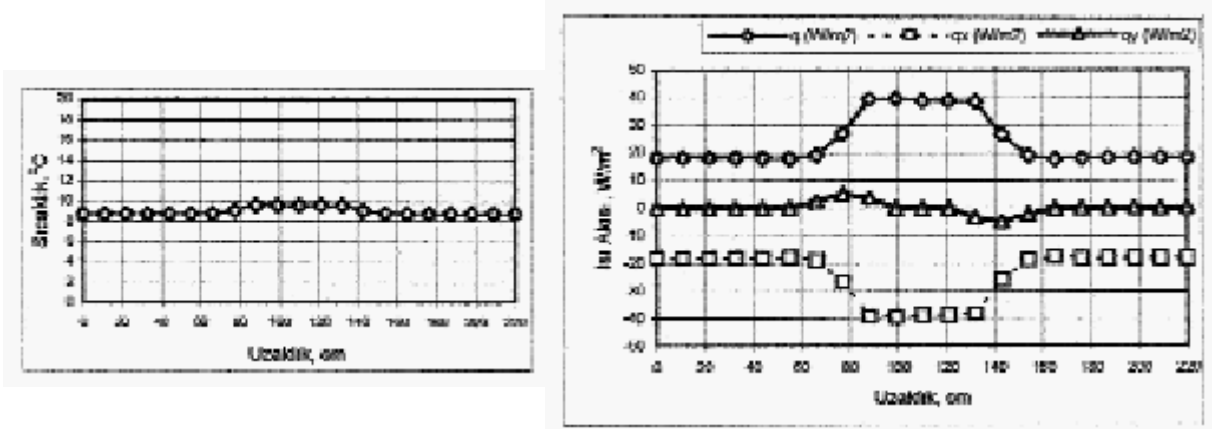
2.1 Yalıtımsız Durum

Betonarme döşeme ve kiriş ile tuğla duvardan oluşan yalıtımsız durum için incelenen kesit ve bu kesitte sıcaklık ve ısı akısının değişimi Şekil 1’de görülmektedir. Kiriş iç yüzünden itibaren döşemenin uzunluğu 70 cm, kiriş alt yüzeyinden itibaren duvarın uzunluğu 80 cm’dir. Kiriş kalınlığı 30 cm, tuğla duvar kalınlığı 20 cm, döşeme kalınlığı 15 cm, kiriş ve döşeme toplam yüksekliği 60 cm’dir. Kesitte tek boyutlu ısı akısından sapış, kiriş ve üzerindeki döşeme diliminden oluşan bloğun özellikle iç kesiminde görülmektedir. Bu bloğun dış konturlarındaki sıcaklık ve ısı akısının değişimi Şekil 1’de verilmiştir. Grafiklerde "x" ekseninin sıfır noktası, bloğun üst sağ köşesidir ve çevrim



Şekil 1. Yalıtımsız durumda kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile kiriş ve üzerindeki döşeme diliminden oluşan bloğun dış konturlarında sıcaklık ve ısı akısının değişimi.

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ / Mart-Nisan 2004



Şekil 2. Yalıtımsız durumda dış yüzeyde sıcaklık ve ısı akısının değişimi

saat yönünün ters istikametinde döndürül - müştür. Bloğun üst kısmında (döşeme üst yüzeyi ile tuğla duvar ara kesitinde) içerden dışarı doğru yaklaşık 30 cm'lik bir mesafe de 6°C değerinde bir sıcaklık düşüşü meydana gelmektedir. Kirişin dış yüzeyinde sıcaklık 11°C civarında sabit kalmakta; kirişin alt yüzünde dışardan içeri doğru 6 °C değerinde bir sıcaklık artışı meydana geldikten sonra kirişin iç yüzeyinde sıcaklık hemen hemen sabittir. Döşeme içinde, döşemenin üst yüzüne doğru sıcaklıkta az bir artış meydana gelmektedir. Aynı kesitin teras döşeme olarak kullanılması halinde, üstteki duvar 50 cm yüksekliğinde dış duvar olmaktadır. Bu durumda beklendiği üzere sıcaklık ve ısı akısının değişimi farklıdır. Bloğun üst ve dış tarafında sıcaklık değişimi oldukça azdır; yaklaşık 1°C değerinde bir fark görülmektedir. Buna karşılık bloğun alt ve iç tarafındaki yüzeylerde sıcaklık 6 °C değerinde bir değişim göstermektedir. Parapet duvarının daha yüksek olması bu davranışı etkilemeyecektir.

Isı akısı ile ilgili grafiklerde bileşke ısı akıları yönlerine göre (-) veya (+) olarak ifade edilmektedir. Yatay bileşen kesitte içerden dışarıya doğru ise (-) olarak gösterilmiştir. Dolayısıyla bütün grafiklerde yatay

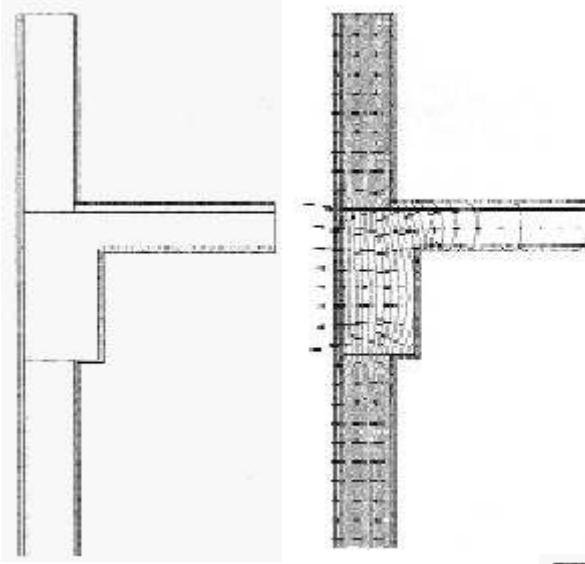
bileşenin değerleri (-)'dir. Düşey bileşen ise, eğer yukarıdan aşağı doğru ise (-), aşağıdan yukarı doğru ise (+) olarak gösterilmiştir.

Bloğun üst kısmında yatay bileşen (q_x) ilave olarak kiriş içine doğru 30 W/m² mertebelerine çıkan düşey ısı akısı bileşeni (q_y) de görülmektedir. Kirişin dış yüzeyinde düşey bileşen yaklaşık sıfırdır ve içerden dışarı doğru yatay doğrultuda 40 W/m² mertebesinde ısı kaybı meydana gelmektedir. Kirişin alt yüzü ile duvar ara yüzeyinde iki boyutlu ısı kaybı meydana gelirken, q_x 10 W/m² mertebesine düşmektedir. Daha sonra tekrar artış göstererek kiriş iç yüzeyinin ortanoktalarından itibaren 30 W/m² mertebesinde sabit kalmaktadır. q_y ise, kirişin dış yüzünün en alt noktasından itibaren kirişin alt yüzü boyunca artış göstermekte, en yüksek 15 W/m² mertebelerine çıktıktan sonra, kiriş iç yüzeyinde azalarak, yüksekliğin yaklaşık yarısında sıfırlanmakta, sonra ters yönde artış göstererek döşemenin üst kodunda 15 W/m² değerine ulaşmaktadır. Sonuç olarak kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan bloğun çevresinde iki boyutlu ısı akısı hakimdir; sadece dış yüzeyde tek boyutlu ısı akısı meydana gelmektedir. İki boyutlu ısı akısı oluşan kenarlarda, bileşke ısı akısı

nın yönü bloğun merkezine doğrudur.

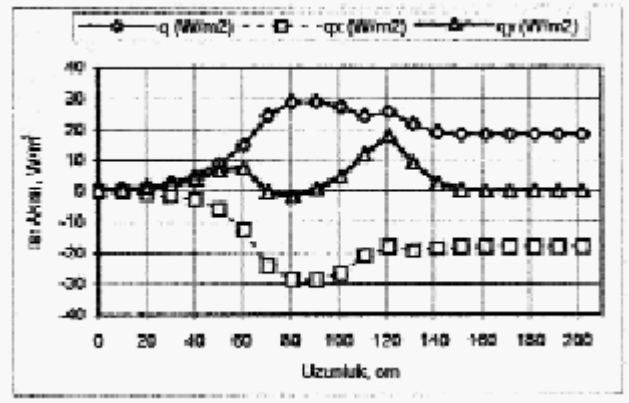
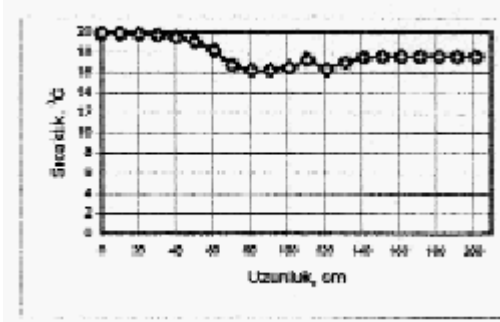
Teras çatı döşemesi olması halinde durum değişmekte, bloğun üst kısmında yatay ısı akısı sıfır, alt kısmında ise küçük değerlerde olmaktadır. Bloğun üst kısmında içerden dışarı doğru azalacak şekilde düşey ısı akısı meydana gelmektedir. Bloğun dış yüzünde yatay ısı akısı hakimdir. İç yüzeyde ise hem yatay, hem de düşey ısı akısı meydana gelmektedir. Kirişin üzerindeki döşeme parçasında etkin şekilde iki boyutlu ısı iletimi meydana geldiği görülmektedir. Kirişte ise özellikle duvardan itibaren iç yüzeyde iki boyutlu ısı akısı oluşmaktadır, kirişin dış yüzeyine doğru tedricen tek boyutlu ısı akısına dönüş meydana gelmektedir.

En düşük iç yüzey sıcaklığı kirişin alt yüzünde, duvar ile kirişin birleşim noktasında meydana gelmektedir ve 16 °C değerindedir. Duvarın dış yüzeyindeki sıcaklık ve ısı akısının değişimi, parapet duvarının en üst kodundan aşağıya doğru, Şekil 2'de, tavan ve duvar boyunca iç yüzeylerdeki sıcaklık ve ısı akısının değişimi ise, sağdan sola doğru, Şekil 3'de gösterilmiştir. Dış yüzeyde sıcaklık sadece kiriş ve döşemenin dış yüzeyinde yaklaşık 1°C artmakta (9.5 °C) ve genel olarak bu farkın oluşumu dışında sabit kalmaktadır. Bu kesitte düşey doğrultuda ısı akısı yine sadece kiriş ve döşemenin bulunduğu bölgede meydana gelmektedir. 5 W/m² mertebelerine kadar çıkan q_y 'de yönde nispeten azalmaktadır. Bileşke ısı akısı



gişirliği de gözlemlenmektedir. Dışa doğru ısı akısı yatay doğrultudaki ısı akısına eşittir ve değişimi sıcaklıktaki değişimin aynısıdır fakat çok daha belirgin şekildedir. ısı akısının en yüksek değeri 40 W/m^2 'dir. Kirişin ve döşemenin bulunduğu bölgede alt ve üst noktalardan yaklaşık 10 cm uzaklaştıktan sonra meydana gelmektedir.

İç yüzeyde tavan sıcaklığı 20°C civarındadır. Tavan duvar kesişme noktasından 40 cm uzaklıktan itibaren sıcaklıkta düşüş başlamakta ve kiriş iç yüzeyinde de devam etmektedir. İç yüzey sıcaklığı 16.5°C değeri-



Şekil 3. Yalıtımsız durumda kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile iç yüzeylerde sıcaklık ve ısı akısının değişimi

rine kadar düştükten sonra, kirişin alt köşesinde hafif bir artış göstermekte ve kirişin alt yüzü ile duvarın birleştiği noktada en düşük değeri olan 16°C değerine düşmektedir. Bundan sonra tekrar artış göstermekte ve kirişten yaklaşık 20 cm uzaklıkta 17.5°C değerinde sabit kalmaktadır.

Beklendiği gibi tavanın iç yüzeyinde ısı kaybı sıfırdır. Sıcaklığın düşmeye başladığı noktadan itibaren yatay ısı akısı bileşeninde belirgin bir artış görülmektedir, kirişin iç yüzeyinde en yüksek değerine (30 W/m^2) ulaştıktan sonra 20 W/m^2 mertebelerine düşmekte ve sabit kalmaktadır. Tavanda sıcaklığın düşmeye başladığı noktadan itibaren, iç yüzeyde düşey ısı akısında da dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu durum,

kirişin alt yüzü ile duvarın birleşim noktasından yaklaşık 20 cm uzaklaşınca kadar devam etmektedir. Bu bölgede iki boyutlu ısı akısı oluşmaktadır. Bu bölgenin dışında, duvar iç yüzeyinde de q_y sıfırdır.

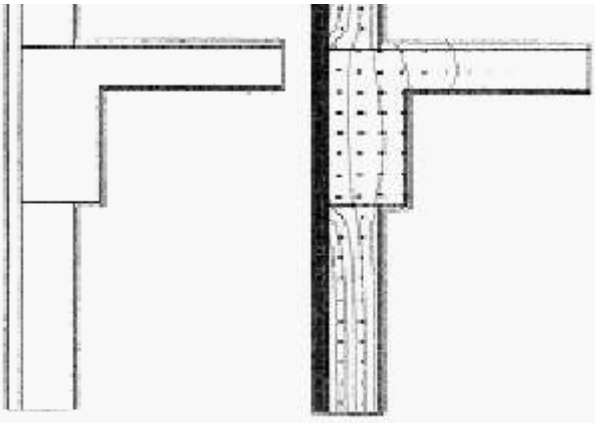
2.2 Duvara Dışardan Yalıtım Uygulanması

-Durumu

Duvara dışardan yalıtım uygulanması halinde, incelenen kesit, bu kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile kiriş ve üzerinde ki döşeme diliminden oluşan bloğun dış konturlarında sıcaklık ve ısı akısının değişimi Şekil 4'de görülmektedir.

Kesitte hemen her noktada ısı akısı tek boyutludur. Sıcaklık gradyanları özellikle betonarme elemanlarda oldukça küçüktür. Sıcaklıklar 18°C değerinin üzerindedir. ısı akısı da 10 W/m^2 'nin altındadır. İdeal şartlar elde edilmiştir. İçerden yalıtım uygulanması halinde, Şekil 5'te görüldüğü gibi bu durum

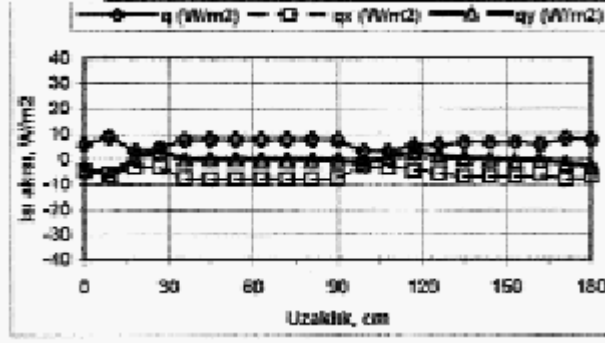
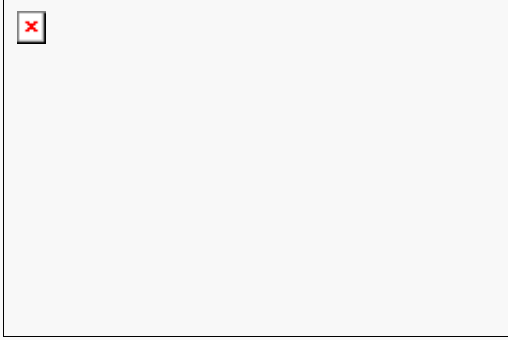




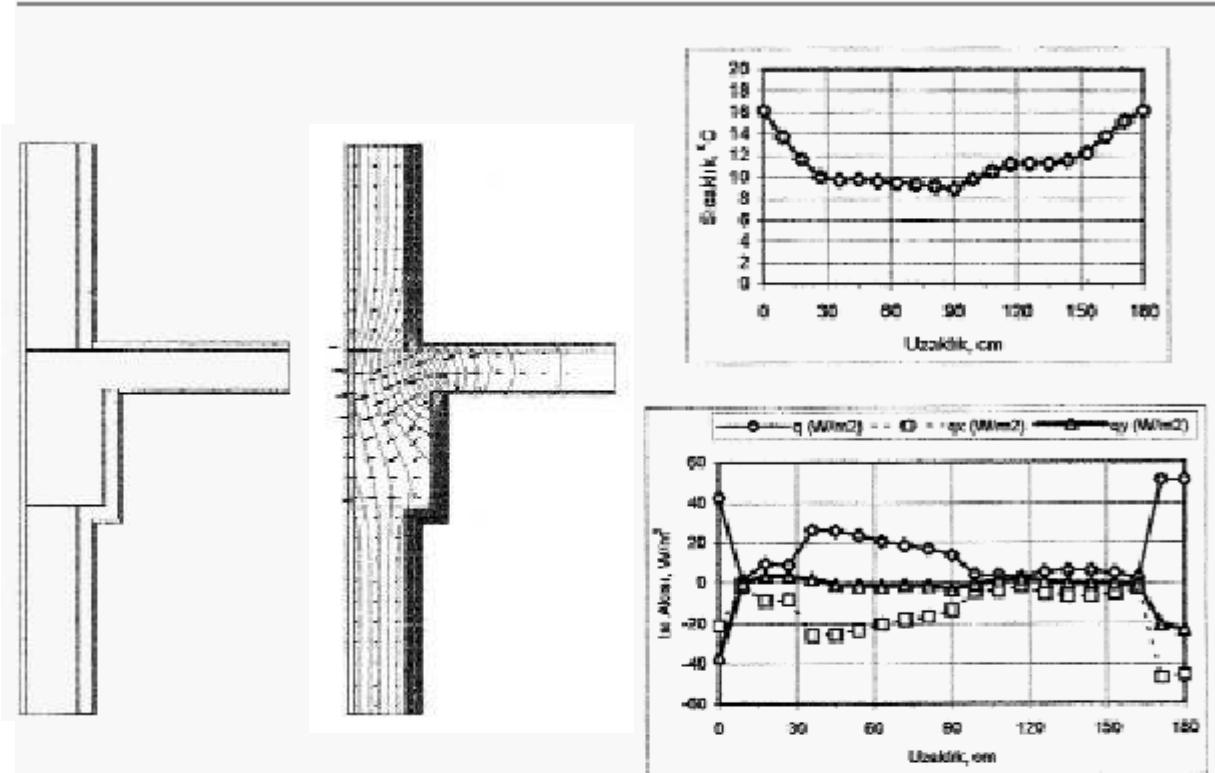
bozulmaktadır.

En düşük iç yüzey sıcaklığı kirişin alt yüzü ile duvarın birleşim noktasında meydana gelmektedir ve değeri $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmaktadır.

Duvarın dışardan yalıtımlı olması durumunda, sıcaklık ve ısı akısının dağılımı Şekil 6'da görülmektedir. Dış yüzey sıcaklığı yaklaşık $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerinde sabittir. Düşey ısı akısı sıfırdır. Yatay ısı akısı ise 8 W/m^2 de-

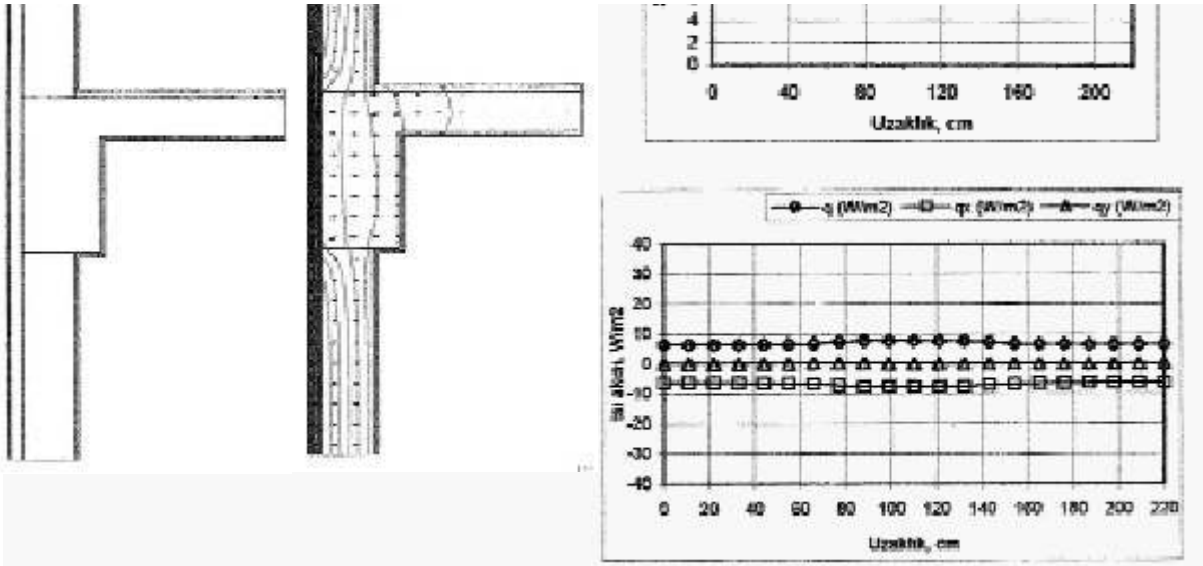


Şekil 4. Duvarın dışardan yalıtımlı olması durumunda kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile kiriş ve üzerindeki döşeme diliminden oluşan bloğun dış konturlarında sıcaklık ve ısı akısının değişimi



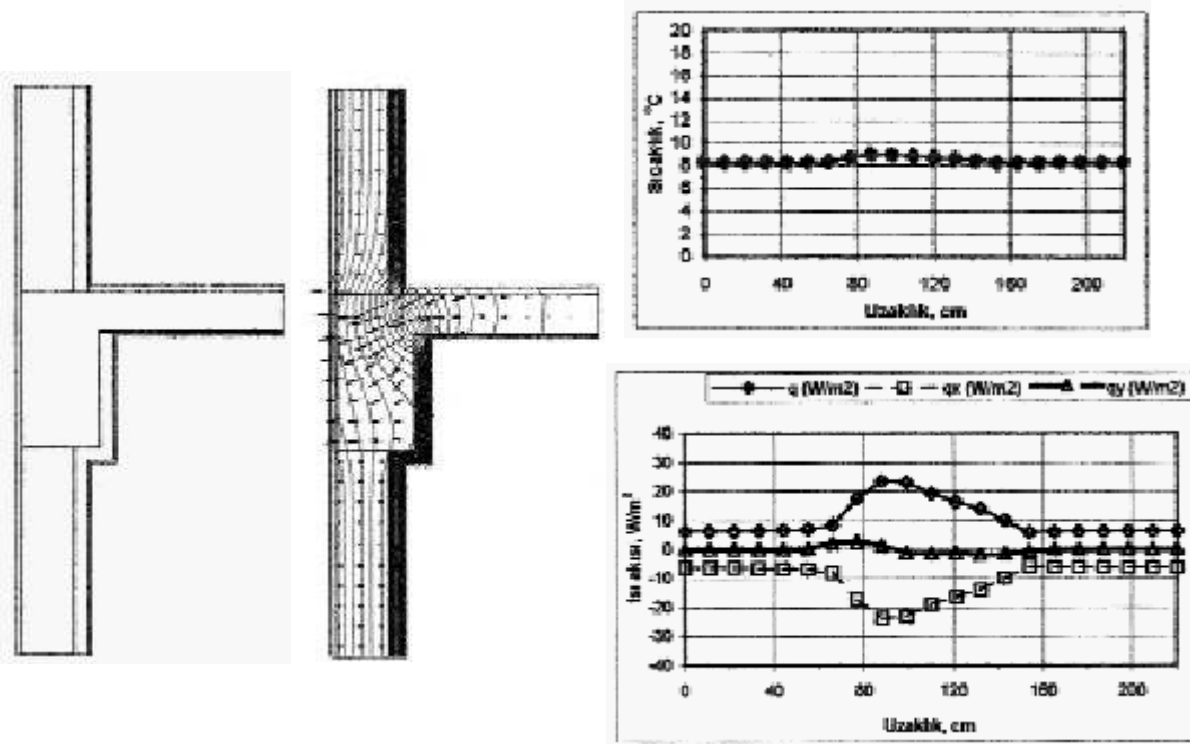
Şekil 5. Duvarın içerden yalıtımlı olması durumunda kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile kiriş ve üzerindeki döşeme diliminden oluşan bloğun dış konturlarında sıcaklık ve ısı akısının değişimi



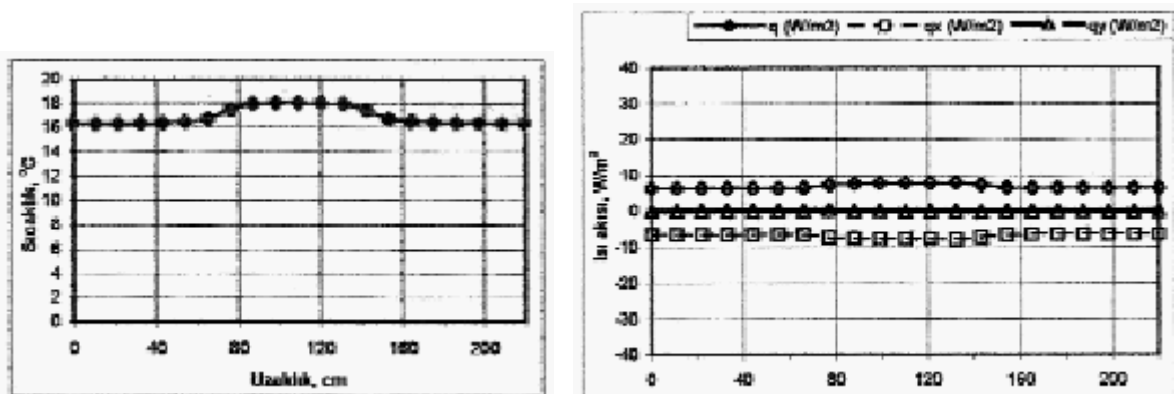


Şekil 6. Dışardan dışardan yalıtımlı olması durumunda kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile dış yüzeyde sıcaklık ve ısı akısının değişimi

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ / Mart-Nisan 2014



Şekil 7. Duvarın içerden yalıtımlı olması durumunda kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile dış yüzeyde sıcaklık ve ısı akısının değişimi



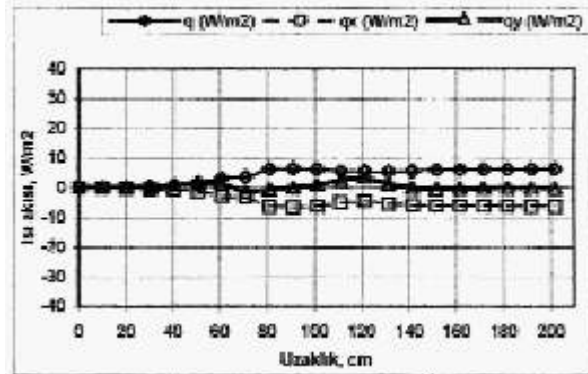
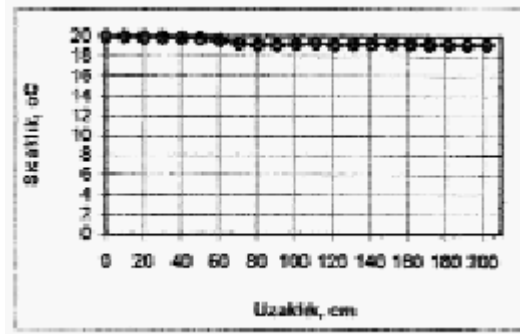
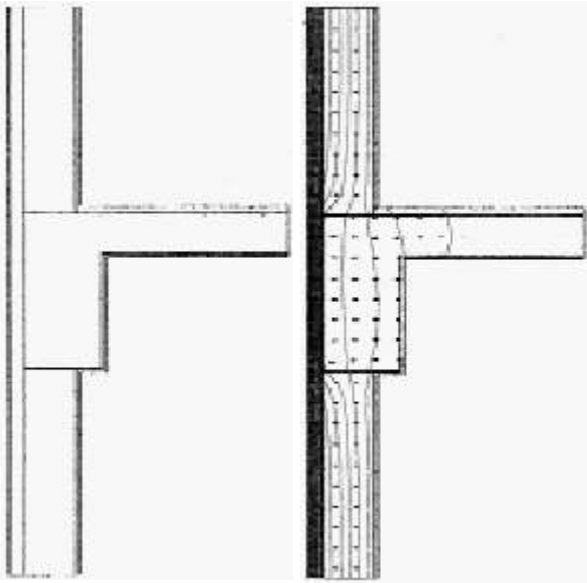
Şekil 8. Duvarın dışardan yalıtımlı olması durumu için duvar yalıtımının iç yüzeyinde sıcaklık ve ısı akısının değişimi

ğerinde sabit olarak kabul edilebilir. Duvarın içerden yalıtılması durumunda özellikle ısı akılarının durumunda önemli değişiklikler meydana gelmektedir.

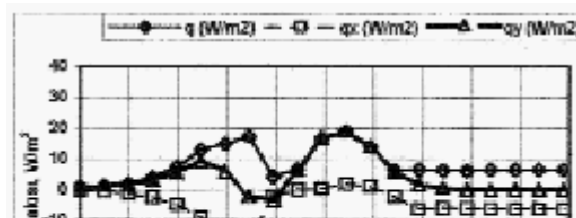
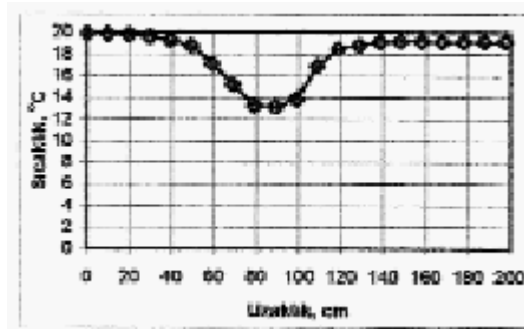
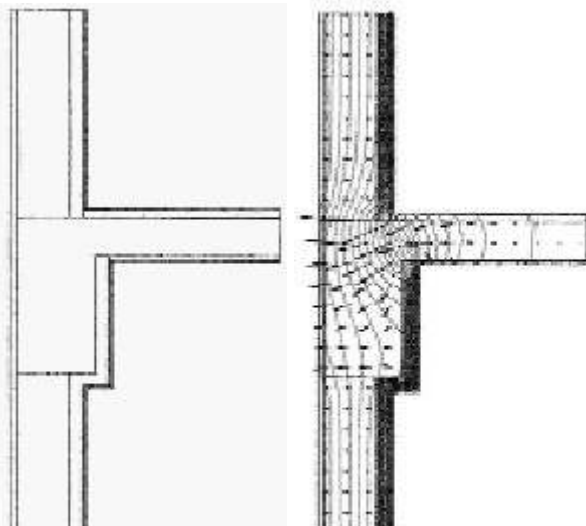
Duvarın dışardan yalıtımlı olması durumunda yalıtımın iç yüzeyinde sıcaklık ve ısı akısının değişimi ise Şekil 8'de verilmiştir.

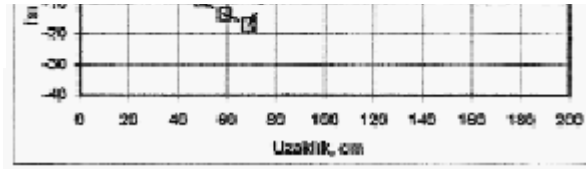
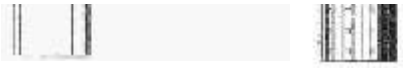
Yalıtımın iç yüzeyinde sıcaklıklar $16\text{ }^{\circ}\text{C}$

değerinin üzerindedir ve değişim azdır. Sadece betonarme elemanların yüzeyinde $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerine çıkmaktadır. Bu durum, yapı elemanlarının ömrünü uzatacak olumlu bir ortam sağlandığını göstermektedir. Yalıtımın iç yüzeyinde ısı akısı, Şekil 6'dan görüldüğü gibi, duvarın dış yüzeyindeki ısı akısının durumu ile aynıdır.



Şekil 9. Dışardan dışardan yalıtımlı olması durumunda kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile iç yüzeylerde sıcaklık ve ısı akısının değişimi





Şekil 10. Dışarıdan içerden yalıtımlı olması durumunda kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile iç yüzeylerde sıcaklık ve ısı akısının değişimi

Şekil 9'da grafikler tavandan duvara doğ-Kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından ru (sağdan sola doğru) iç yüzeylerde sıcaklık ve ısı akısının değişimini göstermektedir. Ayrıca her sayfada, kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı tekrarlanarak gösterilmiştir. Böylece okuyucunun incelediği durumu kolaylıkla değerlendirebilmesi amaçlanmıştır. Duvara dışardan yalıtım uygulanması durumunda ara kat iç yüzeylerinde kararlı ve yüksek sıcaklıklar meydana gelmektedir. Tavan sıcaklığı 20 °C, kiriş ve duvar iç yüzeylerinde ise sıcaklık 19 °C mertebesindedir. Tavanda ısı akısı kirişin iç yüzeyinde 10 cm kadar içerde başlamaktadır düşey ısı akısı kiriş iç yüzeylerinde çok küçük değerlerde bir dalgalanma göstermektedir. Ancak genel olarak sıfır kabul edilebilir. Yatay ısı akısı ise, - 5 W/m² mertebelerinde yaklaşık sabittir.

1.1 Duvara İçerden Yalıtım Uygulanması Durumu

Duvara içerden yalıtım uygulanması halinde, incelenen kesit, bu kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı Şekil 5, Şekil 7 ve Şekil 10'da görülmektedir.

Kiriş ve üzerindeki döşeme diliminden oluşan bloğun dış konturlarındaki sıcaklık ve ısı akısının değişimi Şekil 5'de görülmektedir. Duvara dışardan yalıtım uygulanması halinde, Şekil 4'teki gibi kontur çevresinin sıcaklığı 18 °C ila 19 °C arasında çok az bir değişim gösterirken, duvarın içerden yalıtılması halinde Şekil 5'ten görüldüğü gibi kontur çevresinin sıcaklığı 9 °C ila 16 °C arasında değişmektedir. Döşeme üstünde iç kısımda 16 °C değerinden başlayan sıcaklık, dış tarafta 10 °C değerine düşmektedir. Kiriş dış yüzeyi boyunca aşağıya doğru sıcaklıktaki azalma biraz daha devam etmekte ve 9 °C değerine kadar inmektedir. Daha sonra tekrar artışa geçerek 16 °C değerine çıkmaktadır. Bu durum, betonarme eleman-

oluşan bloğun dış konturlarında meydana gelen ısı akıları, dışardan yalıtıma göre önemli miktarlarda artmakta ve iki boyutlu ısı akısı hakim olmaktadır (Şekil 4 ve 5). Döşeme üstünün iç kısmında düşey ısı akısı 40 W/m² mertebesine kadar çıkmaktadır. Daha sonra azalarak, 10 cm içinde sıfıra inmekte ve bundan sonra hafif dalgalanmalar göstermekle birlikte sıfır mertebelerinde kalmaktadır. Kirişin iç yüzeyinde ise sıfırdır. Daha sonra döşeme içinde tekrar artmaktadır. Yatay ısı akısı ise, Döşeme üstünün iç kısmında 20 W/m² gibi yüksek bir değerde iken, yaklaşık 10 cm uzaklık içinde sıfıra yaklaşmakta, sonra tekrar döşeme üstünün dış tarafında 20 W/m²'nin üstüne çıkmaktadır. Kirişin dış yüzeyinde aşağıya doğru azalarak kirişin alt yüzü ile duvar ara kesitinde 4 W/m² değerine düşmektedir. Kirişin iç yüzeyinde azalma devam etmekte kiriş iç yüzeyi ile tavanın birleştiği noktada 1.5 W/m²'ye kadar azalmaktadır. Döşeme içinde ise yatay ısı akısında kısa mesafede büyük artış görülmektedir. Bu bölgede ısı akısı gradyanı çok büyüktür ve daha önce de belirtildiği gibi, kirişin ortasına doğru yönlenebileşke ısı akısının hem düşey ve hem yatay bileşenleri oldukça büyük değerler almaktadır.

En düşük iç yüzey sıcaklığı kirişin iç yüzeyi ile tavanın birleşim köşesinde meydana gelmektedir ve değeri 17 °C'dır. Bu durum yalıtımın üzerine uygulanan 0.70 W/mK ısı iletkenliğine sahip alçı sıvanın tavanda 1.5 cm olarak devam etmesi halinde geçerlidir. Eğer tavana ısı iletkenliği 0.87 W/mK olan melez sıva 1.5 cm olarak uygulanırsa, en düşük iç yüzey sıcaklığı kirişin iç yüzeyinde ve kiriş yüksekliğinin yaklaşık ortasında meydana gelmekte ve değeri 13 °C olmaktadır.

akısının değişimi Şekil 7'de, iç yüzeylerdeki değişim ise, Şekil 10'da görülmektedir.

Şekil 6 ve Şekil 7'den görüldüğü gibi, duvarın dış yüzey sıcaklığında, dışardan yalıtım uygulamasına göre çok az bir fark meydana gelmiştir. Bu fark, döşeme alnının hizasında sıcaklığın 9 °C değerine çıkmasıdır. Ancak ısı akılarında önemli fark vardır. Döşeme alnının bulunduğu hizada ve bunun çevresinde ısı akısı 25 W/m² mertebelerine çıkacak bir dalgalanma göstermektedir. Duvarda 5 W/m² mertebesinde olan ısı akısı döşeme üstünde 20 cm uzaklıktan itibaren artış göstermekte, döşeme yüksekliğinin ortasında maksimuma erişmekte ve kiriş yüzeyi boyunca azalarak kirişin alt yüzeyinden 20 cm uzaklıkta tekrar 5 W/m² mertebesine inmektedir.

İç yüzey sıcaklığının değerleri, duvara dışardan yalıtım uygulanmış durumuna nazaran önemli ölçüde fark etmektedir. Tavan sıcaklığı yine 20 °C değerindedir. Fakat tavan kiriş birleşim köşesine 30 cm uzaklıktan itibaren sıcaklıkta azalma başlamakta ve kiriş iç yüzeyinin ortalarında 13 °C ile en düşük değerine ulaşmaktadır. Daha sonra simetrik bir eğri oluşturarak tekrar artış göstermekte ve duvar iç yüzey sıcaklığı kiriş alt yüzeyinden 20 cm uzaklıkta 19 °C'da sabit kalmaktadır. Yalıtım sisteminin değişmesi ile, iç yüzeydeki ısı akılarında da önemli de-

ğişiklikler meydana gelmektedir. Dışardan yalıtım uygulandığında genelde kararlı ve düşük değerlerde ısı akıları meydana gelirken; yalıtımın iç tarafta olması iç yüzeyde etkin şekilde iki boyutlu ısı akısının meydana gelmesine sebep olmaktadır ve sayısal değerleri önemli miktarda artmaktadır. Tavanda kiriş iç yüzeyinden yaklaşık 20 cm içerden itibaren hem yatay hem düşey ısı akısı artmaktadır. q_y, kiriş iç yüzeyinden 10-15 cm uzakta ve tavanda en yüksek değerine ulaşırken (10 W/m²); q_x, tavan-kiriş birleşim noktası civarında en yüksek değerine ulaşmaktadır (yaklaşık 20 W/m²). Bu noktada q_y sıfırlanmakta ve kiriş iç yüzeyinde tekrar artış göstermektedir; bu sırada q_x sıfırdır. Kirişin alt yüzünden yaklaşık 20 cm uzaklıkta q_y sıfır değerine düşmekte q_x ise 6 W/m² mertebesinde sabit kalmaktadır.

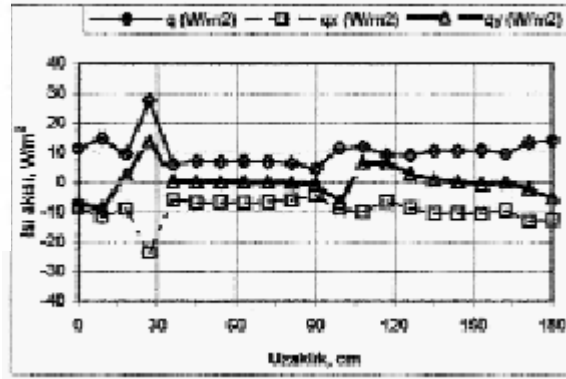
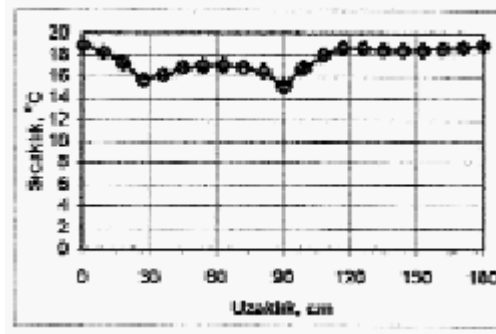
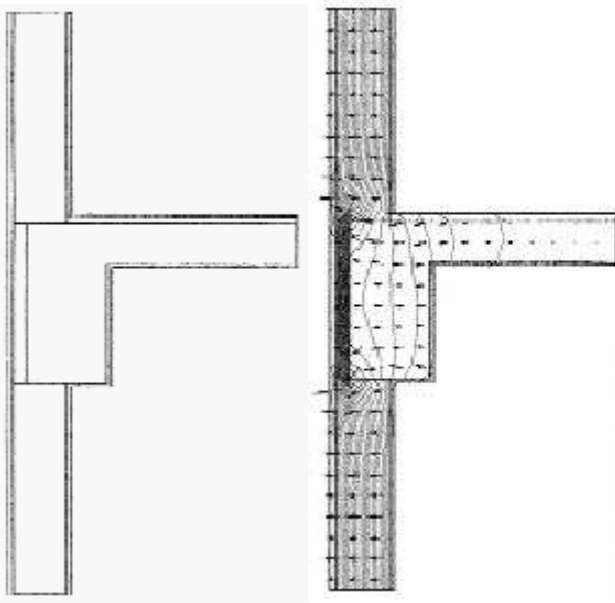
2.4 Yalnız Betonarme Elemanların Dışardan

Yalıtılması Durumu

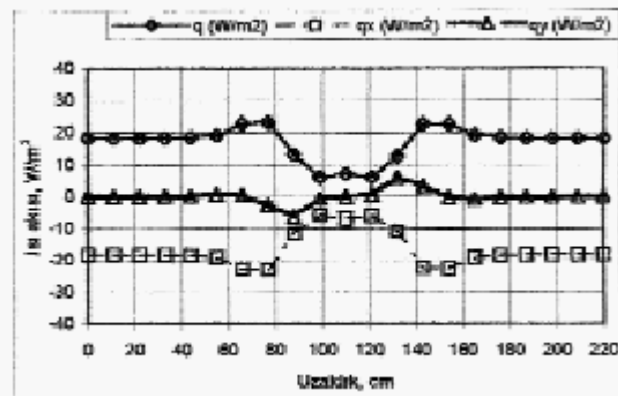
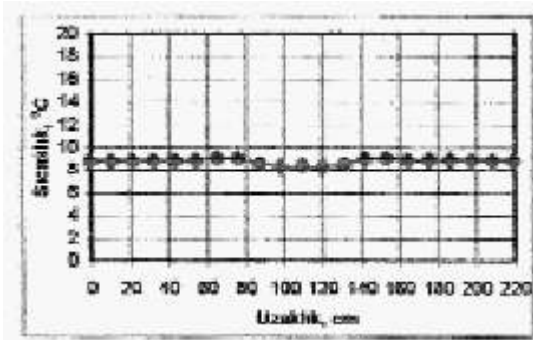
Yalnız betonarme elemanlara dışardan yalıtım uygulanması halinde, incelenen kesit, bu kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı Şekil 11 ve Şekil 13 arasında görülmektedir. Şekil 11'de de görüldüğü gibi, sadece betonarme elemanların yalıtılması halinde, betonarme elemanlarda sıcaklık gradyanı küçülmüş fakat buna karşılık duvarlarda çok bü-

Tablo 2. Farklı yalıtım uygulamalarında ısı akısı ve sıcaklık ile ilgili değerlerin değişimi

Yalıtım durumu	Kiriş ve üzerindeki döşeme diliminden oluşan blokta	Tüm kesit için ortalama ısı akısı,	İç yüzeyde en yüksek ısı akısı,	En düşük iç yüzey sıcaklığı,	Duvar iç yüzey sıcaklığı
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	°C	°C
Yalıtımsız	39.1	21.9	29.0	16.0	17.5
Duvar dışardan yalıtımlı	8.6	6.0	6.5	19.0	19.0
Duvar içerden yalıtımlı	22.8	10.9	19.0	17.0	19.0
Yalnız betonarme elemanlar dışardan yalıtımlı	14.1	13.8	18.0	17.5	17.5



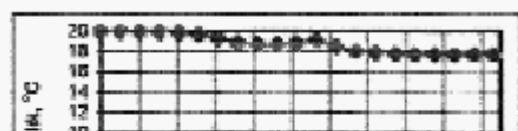
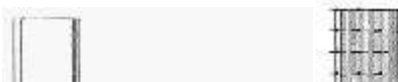
Şekil 11. Yalnız betonarme elemanların dışardan yalıtılması durumunda kesitte sıcaklık ve ısı akısının dağılımı ile kiriş ve üzerindeki döşeme diliminden oluşan bloğun dış konturlarında sıcaklık ve ısı akısının değişimi

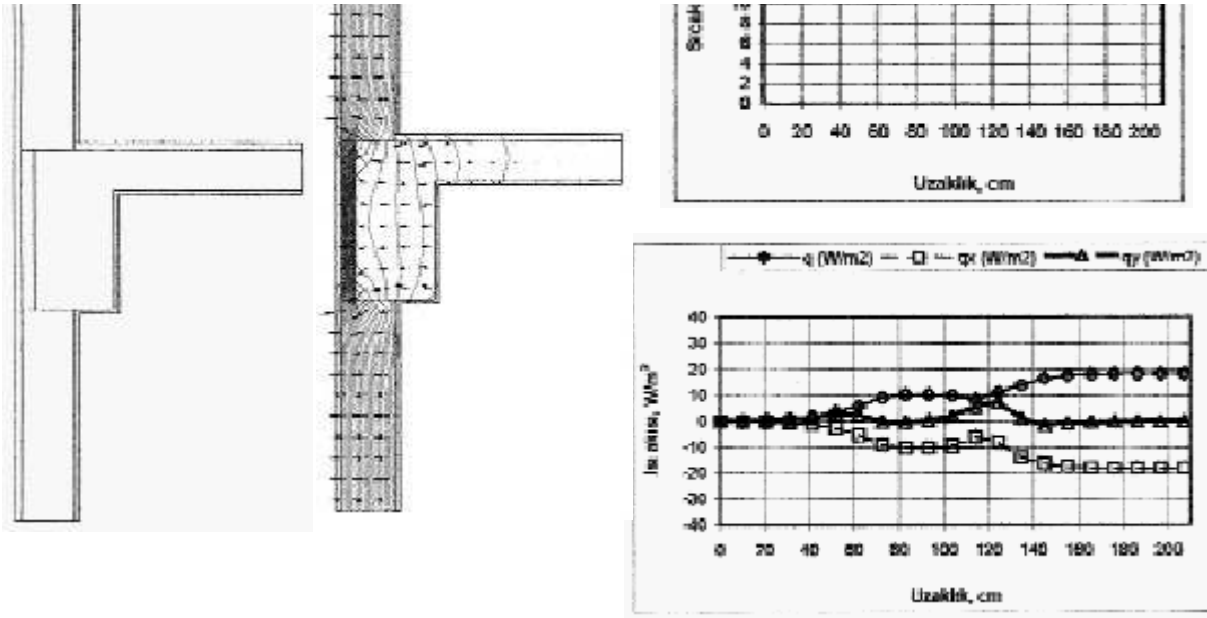


Şekil 12. Yalnız betonarme elemanların dışardan yalıtılması durumunda dış yüzeyde sıcaklık ve ısı akısının değişimi

yümüştür. Duvarlar çok fazla zorlanan elemanlar haline gelmiştir. Yalıtımsız durumdan da daha olumsuz şartlar oluşmuştur. Kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan bloğun dış konturlarında sıcaklık, döşeme üzerinde içerden dışarıya doğru azalmakta, 19 °C değerinden 15 °C değerine düşmekte; kiriş dış yüzeyinde önce artıp (17 °C), sonra azaldıktan sonra (15 °C), kirişin alt yüzünde

18 °C değerine kadar artmakta ve kiriş iç yüzeyinde bu değerinde sabit kalmaktadır. Döşeme içinde çok az bir artış göstermekte ise de sabit kabul edilmesi yanlış olmayacaktır. Bu çizgi üzerinde, kirişin üst yüzeyinde ve alt yüzeyinde iki boyutlu ısı akısı meydana gelmektedir. Bloğun iç ve dış yüzeyinde 10 W/m²'yi aşmayan yatay yönde tek boyutlu ısı akısı meydana gelmektedir. En fazla zorlanan nok





Şekil 13. Yalnız betonarme elemanların dışardan yalıtılması durumunda iç yüzeylerde sıcaklık ve ısı akısının değişimi

ta döşeme üstünün dış köşesidir. Bu noktada ısı akısı 30 W/m^2 değerine yaklaşmaktadır.

Dış yüzeyde sıcaklık, $9 \text{ }^\circ\text{C}$ mertebesinde neredeyse sabit kalmaktadır. Ancak betonarme elemanların olduğu, yani yalıtımın bulunduğu bölgede 1°C değerinde bir azalma görülmektedir. Yalıtımın olumlu etkisi ile ısı kaybının azalması sonucu beklenen bir durumdur. Bu durum daha açık olarak ısı akılarının değişiminde de görülmektedir. Duvarların dış yüzeyinde 20 W/m^2 'ye ulaşan yatay doğrultudaki ısı akısı, Betonarme elemanların yüksekliğinin orta bölgelerinde 5 W/m^2 'ye kadar düşmektedir. Bu bölgede küçük miktarlarda düşey doğrultuda ısı akısının da varlığı dikkati çekmektedir.

İç yüzeylerde sıcaklığın değişimi ise Şekil 13'de görülmektedir. İç yüzey sıcaklığı tavadan duvara doğru sürekli azalmakta ve duvar

iç yüzeylerinde $17.5 \text{ }^\circ\text{C}$ değerine düşmektedir. ısı akıları da yine duvar iç yüzeylerinde en yüksek değerine çıkmakta ve 20 W/m^2 değerini bulmaktadır.

3. YALITIM SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

İçerden ve dışardan yalıtım uygulamalarının enerji verimlilikleri, bu sistemlerin iç ortam konforu ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri ile ortaya çıkmaktadır. İç ortam konforu üzerindeki en önemli etken iç yüzey sıcaklıklarıdır. Enerji tüketimi açısından ise önemli olan, ısı kaybının değeridir. Bu açıdan Tablo 2'de ısı akıları ve yüzey sıcaklıkları karşılaştırılmıştır.

Yalıtımsız durumda meydana gelen ortalama ısı akısı oldukça yüksektir. Duvarların içerden yalıtılması ile ısı kaybı yaklaşık ola-

rak % 40-50 azalmaktadır. Buna karşılık duvarların dışardan yalıtılması halinde ısı kaybı yaklaşık %70-80 azalmaktadır. Duvarların dışardan yalıtılması ile, iç yüzeyde meydana gelen en yüksek ısı akısında da büyük azalma görülmektedir. En düşük iç yüzey sıcaklıkları da ilginç sonuçlar vermektedir. Yalıtımsız durumda ve dışardan yalıtım uygulanmayan durumda, en düşük iç yüzey sıcaklığı

içinde meydana gelen sıcaklık ve ısı akıları açısından geniş kapsamlı değerlendirmeleri hesap sonuçları bölümünde belirtilmiştir. Enerji tüketimi ve iç ortam konforu açısından sistemlerin karşılaştırılması halinde ise, beklendiği üzere en ideal durum duvar ve betonarme elemanların birlikte bir bütün olarak dış taraftan yalıtılmasıdır. Bu durumda tüm kesit için ortalama ısı akısı 6 W/m^2 gibi

lanması durumunda, en düşük iç yüzey sıcaklığı girişin alt yüzeyi ile duvarın birleşim köşesinde meydana gelmektedir. Dışardan yalıtım uygulanması ile en düşük iç yüzey sıcaklığı 3 °C artmış; konfor şartları açısından oldukça olumlu sonuç alınmıştır. Halbu ki içerden yalıtım uygulandığında en düşük iç yüzey sıcaklığı giriş iç yüzü ile tavanın birleştiği köşede meydana gelmektedir ve yalıtımsız durumdan sadece 1°C daha yüksek sıcaklık elde edilmektedir. Bu durum tavanda da alçı sıva kullanılması halinde geçerlidir. İçerden yalıtım uygulamasında tavanda melz sıva kullanılırsa en düşük iç yüzey sıcaklığı 13°C'a düşmekte ve giriş iç yüzünde yüksekliğin yaklaşık yarısında meydana gelmektedir. İçerden yalıtım uygulamasında tavan sıvasının bu kadar etkili olması ilginç bir durumdur.

Duvar iç yüzey sıcaklığı ise, beklendiği üzere yalıtımsız durumda en düşüktür; içerden veya dışardan yalıtım uygulanması durumunda değişmemektedir.

Yalıtım sistemlerinin, elemanın ısıl davranışı üzerindeki etkileri ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar, bu konu ile ilgili literatür değerlendirmeleri ile uyum içindedir.

4 SONUÇ

Sistemlerin iç yüzey, dış yüzey ve kesit

turn kesit için ortalama ısı akısı 0 W/m^2 gibi çok küçük bir değere (yalıtımsız durumun dörtte biri) düşmektedir. İçerden yalıtım uygulanması halinde ise ısı akısı 10 W/m^2 olmaktadır (yalıtımsız durumun yarısı).

Hesaplarda iç ortam sıcaklığı 20 °C olarak alınmıştır. Dış ortam sıcaklığı 8 °C de-ğ erinde verilmiştir, (1. DG Bölgesi) [5].

İç yüzey sıcaklıkları açısından da dışardan yalıtım, içerden yalıtıma nazaran çok daha yüksek sıcaklıklar vermektedir. İlginç olan bir durum ise, içerden yalıtım uygulamasında tavan sıvasının, özellikle en düşük iç yüzey sıcaklığının değeri ve yeri üzerinde büyük bir etkiye sahip olmasıdır.

Ülkemizde uygulanmaya çalışılan bir seçenek te, sadece betonarme elemanların yalıtılmasıdır. Bu uygulamada betonarme elemanlar korunurken duvarlar çok zorlanmaktadır. Ancak ilginç olan, sadece betonarme elemanların yalıtılması halinde, bazı değerlerde içerden yalıtımlı durumdan daha iyi değerlerin elde edilmesidir. Ancak en ideal durum beklendiği üzere dışardan yalıtım uygulanması olmaktadır.

Yalıtımsız durumda giriş ve döşemede etkin şekilde iki boyutlu ısı iletimi meydana gelmektedir. Dışardan yalıtımlı durumda duvar ve döşeme en kararlı ve olumlu şartlara sahip olmaktadır. İçerden yalıtım uygulandı-

ğında döşemenin giriş iç yüzeyi ile birleştiği nokta çok zorlanmakta ve bu bölgede yalıtımsız durumdan daha yüksek değerlerde iki boyutlu ısı iletimi gerçekleşmektedir. Yalnız betonarme elemanların yalıtılması halinde ise, duvarla betonarme elemanların birleşim noktaları ve duvarlar büyük ısıl etkilere maruz kalmaktadır. Ara yüzeylerde iki boyutlu ısı iletimi hakimdir.

Teras kat girişli döşemeleri için sistemlerin karşılaştırılması ise [6] no'lu çalışmada gerçekleştirilmiştir.

6. Ş. DİLMAÇ, T. CİHAN ve A. GÜNER, "Teras Çatılarının Giriş Döşemelerinde İçerden ve Dışardan Yalıtım Uygulamalarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması", baskıda.

7. Ş. DİLMAÇ, Ö. KALPAK ve S. KARTAL, "İçerden ve Dışardan Yalıtım Uygulamalarının Verimliliği Üzerine İklim Şartlarının Etkisi", baskıda.

NOTASYON LİSTESİ

d : Kalınlık	m
q : Isı akısı	W/m ²
l : Isıl iletkenlik	W/mK

Bu çalışma TUBİTAK-IÇTAG 1242 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

İndisler

- x : Yatay doğrultuda
y : Düşey doğrultuda

KAYNAKLAR

1. W.P. BROWN and A.G. WILSON, "CBD-44 Thermal Bridges in Buildings", Canadian Building Digest, www.nrc.ca/irc/cbd/44e.html, 1963.
2. G. MAO ve G. JOHANNESSON, "Dynamic Calculation of Thermal Bridges", Energy and Buildings, 26, (1997) 233-240
3. F. Déqué, F. Olliver ve J.J. Roux, "Effect of 2D modelling of thermal bridges on the energy performance of buildings Numerical application on the Matisse Apartment, Energy and Buildings, 33, (2001) 583-587.
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, "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1998.