

ÜLKEMİZDEKİ ÇİFT DUVAR ARASI YALITIM UYGULAMALARINDA BETONARME KİRİŞLERİN OLUŞTURDUĞU ISI KÖPRÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

*M. Timur CİHAN**

*Filiz ŞENKAL SEZER***

*Şükran DİLMAÇ**

Özet: Bu çalışmada, ülkemizde uygulanan şekliyle çift duvar arası ısı yalıtımı kullanılması halinde, kiriş ve döşemelerin oluşturduğu ısı köprülerinin binanın ısı performansına etkileri betonarme iskelet taşıyıcı sistemlerdeki ara ve teras kat kirişli döşemeleri için incelenmiştir. Karşılaştırma amacıyla yalıtımsız durum da ayrıca incelenmiştir. Bu amaçla, kiriş ve döşemelerden oluşan ısı köprülerinin civarında ısı akısı ve sıcaklık değerleri, Quick Field paket programının 5.0 versiyonu kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlar ara kat ve teras döşemelerinde benzerdir; ancak teras döşemelerinde döşemenin yalıtılmaması halinde konfor şartlarının ve enerji verimliliğinin sağlanması hiçbir şekilde mümkün değildir. Çift duvar arası yalıtımda, elemanların birleşim bölgelerinde önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Binalarda Isı Köprüsü, Isı Yalıtımı, Çift Duvar Arası Isı Yalıtımı.

Evaluation of Thermal Bridges Formed by Reinforced Concrete Beams at the Cavity Walls Applications in Turkey

Abstract: In this research, effects of the thermal bridges formed by beams and floors and cavity walls as applied form in Türkiye on the heat performance of the building are analyzed for terraced roof and normal story floors of the reinforced concrete structure systems. Conditions with no insulation are also analyzed for comparison purposes. So, heat flow density and temperatures around the thermal bridges formed by beams and floors are calculated by Quick Field software, version 5.0 and obtained results have been evaluated. Results are similar for the terraced roof and normal story floors; however, enabling of the comfort conditions and energy efficiency are not possible if terraced roof floors are not insulated. Major problems appear in the joint section of the members at cavity walls.

Key Words: Thermal Bridges in Building, Heat Insulation, Cavity Walls.

1. GİRİŞ

Isı köprüleri ile ilgili ulusal araştırmalar ve yayınlar çok sınırlıdır. Bu konudaki ilk kapsamlı yayın olan [1] nolu kaynakta, teras çatı döşemeleri incelenmemiştir. Değerlendirme sırasında, sıcaklık ve ısı akısının sayısal değerleri mevcut değildir. [2-3] nolu kaynaklarda, teras ve ara kat döşemeleri için ısı köprülerinde sıcaklık ve ısı akısı dağılımları detaylı olarak incelenmiş ise de, çift duvar arası yalıtım için detaylı inceleme ve değerlendirme yapılamamıştır.

Konu ile ilgili uluslararası yayınlarda, genellikle ısı köprülerinde sıcaklık ve ısı akısı dağılımlarının belirlenmesi ile ilgili hesap metodları tanıtılmakta; fakat bunların uygulanması sonucu elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına rastlanmamaktadır. Ayrıca, incelenen kesitlerdeki malzeme düzeni de, genellikle ülkemizdeki uygulamalardan farklı olmaktadır. [4-5]. Özellikle kirişli betonarme döşemelerle ilgili sonuçlar çok sınırlıdır.

Bu çalışmada, yalıtımsız duruma ilave olarak, ülkemizde uygulanan şekliyle çift duvar arası yalıtım kullanılan durumlarda, ara kat ve teras çatı döşemelerinde, döşeme ve kiriş civarında meydana gelen sıcaklık ve ısı akısı dağılımları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar enerji verimliliği açısından değerlendirilmiştir.

* Trakya Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu, Tekirdağ.

** Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Görükle, Bursa.

Enerji verimliliğinin değerlendirilmesinde, iç yüzey sıcaklıkları ve incelenen bölgede meydana gelen ısı akılarındaki değişimler esas alınmıştır. Bu amaçla, sadece duvarların yalıtıldığı durum, duvarlara ilaveten giriş iç yüzünün yalıtıldığı durum ve teras çatı döşemelerinde teras döşemesinin de yalıtıldığı durumlar incelenmiştir. Hesaplamalarda, TS 825'de aylara göre farklı Derece Gün (DG) iklim bölgeleri için verilen sıcaklık değerleri içinde, en soğuk aya ait (ocak ayı) değerler kullanılmıştır (1. DG bölgesi için 8.0°C, 2. DG bölgesi için 3.3°C, 3. DG bölgesi için 1.3 °C ve 4. DG bölgesi için -5.2°C) [7]. Bütün durumlar için iç ortam sıcaklığı ise 20°C'dir.

Ülkemizde çift duvar arası ısı yalıtımı, uluslararası uygulamalardan oldukça farklı şekilde gerçekleştirilmektedir ve ortaya çıkan sorunlar bilimsel verilere dayanmadan, doğru olur ümidiyle gerçekleştirilen bazı ilavelerle çözülmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, sistemin gerçek performansını belirleyecek bilgileri sunacaktır. Böylece ülkemizde yalıtımın doğrularının belirlenmesi ve uygulanması için gerekli altyapının oluşumuna katkı sağlanmış olacaktır.

2. HESAP SONUÇLARI

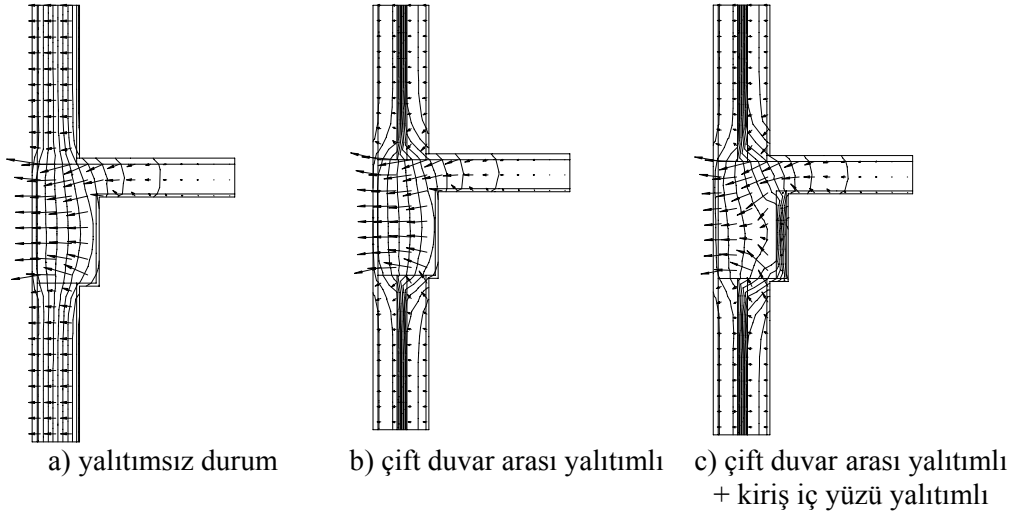
Kesitlerde kullanılan malzemelerin ısı iletkenlikleri, kalınlıkları ve meydana gelen farklı kesitlere karşılık gelen U-değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Ara kat duvar-döşeme birleşim bölgelerinde incelenen kesitlerdeki sıcaklık ve ısı akısı dağılımları Şekil 1'de; teras kat duvar-döşeme birleşim bölgelerinde incelenen kesitlerdeki sıcaklık ve ısı akısı dağılımları ise Şekil 2'de görülmektedir. Çift duvar arası yalıtımın uygulanması durumunda döşeme üzerinde 3 cm şap, dış kısımda 2.5 cm dış sıva ve iç kısımda 1.5 cm iç sıva bulunmaktadır. Çift duvar arası yalıtım kalınlığı 5 cm'dir. Çift duvar arası yalıtıma ek olarak döşeme dış yüzeyine 5 cm yalıtım ve giriş iç yüzeyine 5 cm yalıtım uygulanmıştır. Giriş ön yüzeyi yalıtıldığında bu bölgede 1 cm iç sıva kullanılmıştır. Aşağıda her uygulama için elde edilen sonuçlar detaylı olarak açıklanmıştır.

Tablo 1.
Kesitlerde kullanılan malzemelerle ilgili özellikler

Malzeme	Isı iletkenliği λ (W/mK)	Kalınlık d (m)	$\Sigma(d/\lambda)$ Değeri (m ² K/W)	Girişin U Değeri (W/m ² K)		Döşemenin U Değeri (W/m ² K)		Duvarın U Değeri (W/m ² K)	
				yalıtımsız	yalıtlı	yalıtımsız	yalıtlı	yalıtımsız	yalıtlı
Betonarme	2.1	0.30 0.15	0.143 0.071	4.34	0.68	3.57	0.65	1.51	0.52
Şap	1.4	0.03	0.021						
İç sıva	0.87	0.015 0.010	0.017 0.011						
Dış sıva	0.87	0.025	0.029						
Yalıtım	0.04	0.05	1.25						
Tuğla	0.45	0.10	0.444*						
* 0.10 m kalınlıktaki tuğladan iki sıra kullanıldığı dikkate alınarak hesaplanmıştır. $1/\alpha_{iç} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ $1/\alpha_{dış} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$									

Şekil 1'de ara kat döşemelerinde yalıtımsız ve çift duvar arası ısı yalıtımlı durumda, döşeme ve giriş civarında sıcaklık ve ısı akısının değişimi görülmektedir. Şekil 2'de ise, teras kat döşemeleri için sıcaklık ve ısı akısı dağılımları gösterilmiştir. Kesitler Quick Field 5.0 paket programı kullanılarak elde edilmiştir. [8] numaralı kaynakta, bu programdan elde edilen sonuçların ölçüm sonuçları ile uyumlu olduğu belirtilmektedir.

Ara katlarda döşeme üzerine ısı yalıtımı uygulaması ülkemizde kullanılmadığı için, ara katların incelendiği Şekil 1'de döşeme yalıtılmamıştır ve kesit sayısı üçtür. Ancak teras döşemelerinde, döşemenin yalıtılması da önemli bir değişken olmaktadır ve ülkemizde bu uygulama gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu sebeple, teras döşemelerde, çift duvar arası yalıtıma ilave olarak döşemenin yalıtımlı ve yalıtımsız durumları da ayrı ayrı incelenmiştir ve Şekil 2'de kesit sayısı dörde çıkmaktadır.

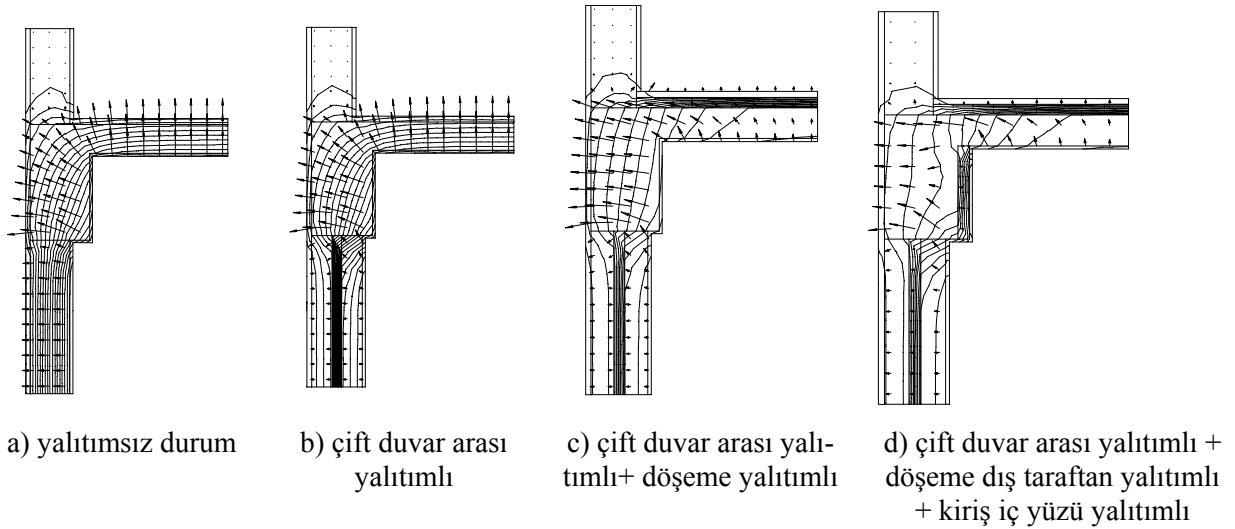


Şekil 1.

Ara kat döşemelerinde incelenen kesitler ve bu kesitlerde oluşan sıcaklık ve ısı akısı dağılımları

Şekil 1’de ara katlarda, betonarme elemanlar arasına örülen çift duvar arası yalıtımın, betonarme elemanlarda, yalıtımsız duruma nazaran olumlu bir özellik sağlamadığı; sadece duvarlar için sıcaklık gradyenini düşürmek, iç yüzey sıcaklığını arttırmak ve ısı akısını (dolayısıyla ısı kaybını) azaltmak gibi olumlu özellikler sağladığı görülmektedir. Bu uygulamada, duvar ile betonarme elemanların kesiştiği bölgelerde, duvar elemanları ısıl gerilmelerle önemli miktarda zorlanmaktadır. Betonarme elemanlardaki olumsuzluğu azaltmak için kiriş iç yüzüne uygulanan ilave yalıtımın, kiriş iç yüzündeki sıcaklığın yükselmesinden başka olumlu bir katkısı görülmemektedir. Döşeme sebebiyle halâ, betonarme elemanlardaki ısı akısı yüksektir; iki boyutlu ısı akısı daha etkin şekilde ve tüm eleman kesitinde meydana gelmekte ve ısıl gerilmeler elemanı daha fazla zorlamaktadır. Uluslararası uygulamalarda, betonarme elemanlardaki sorunu ortadan kaldırmak için, iç taraftaki duvarın dış yüzü ile betonarme elemanların dış yüzü aynı düzlemde bitmekte ve yalıtım sürekli olarak hem duvarın hem de betonarme elemanların dış yüzünde devam etmektedir [9-10]. Teras döşemelerinde de benzer sonuçların meydana gelmesinin yanında; teras döşemesinin yalıtılmaması durumunda, ısı akılarının büyük, iç yüzey sıcaklıklarının ise çok küçük değerler aldığı dikkati çekmektedir (Şekil 2).

Yukarıda açıklanan ön değerlendirmelerden sonra, ısıl davranışlarının daha detaylı incelenebilmesi için, sıcaklıkların ve ısı akılarının, yine Quick Field 5.0 programından elde edilen sayısal değerlerine göre Excel grafikleri çizilmiştir. Öncelikle betonarme elemanlardaki durumu görebilmek için, kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan bloğun konturlarında sıcaklık ve ısı akısının değişimi incelenmiştir. Daha sonra dış yüzeyde ve iç yüzeyde sıcaklık ve ısı akısı değişim grafikleri çizilmiştir. Sıcaklık ve ısı akısı grafikleri ayrı alt başlıklar altında değerlendirilmiştir.



Şekil 2.

Teras kat döşemelerinde incelenen kesitler ve bu kesitlerde oluşan sıcaklık ve ısı akısı dağılımları

2.1. Sıcaklık Değişimleri

İncelenen kesitlerde ısı akımının iki boyutlu hale gelmesine sebep olan, betonarme elemanlardır. Bu sebeple çalışmada, giriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan betonarme bloğun dış konturlarında sıcaklık ve ısı akısının değişimi özellikle incelenmiştir. Grafiklerde sıfır noktası bloğun sağ üst köşesinden başlamakta ve “x” ekseninde uzaklık arttıkça, saat ibresinin ters yönünde dönerek çevrim kapanmaktadır.

Kesitin genel olarak davranışını değerlendirmek amacı ile ise, kesitin dış yüzeyi ile tavan, giriş ve duvarın iç yüzeylerinde oluşan sıcaklık ve ısı akısı değişimleri incelenmiştir. Dış yüzeyle ilgili grafiklerde, sıfır noktası, yüzeyin en üst noktasıdır. İç yüzeyle ilgili grafiklerde ise, sıfır noktası tavanda en sağ köşeden başlamakta ve “x” eksenini boyunca uzaklık sola ve sonra düşey yüzeylerde aşağı doğru devam etmektedir.

2.1.1. Bloğun Dış Konturlarında Oluşan Sıcaklık Değişimleri

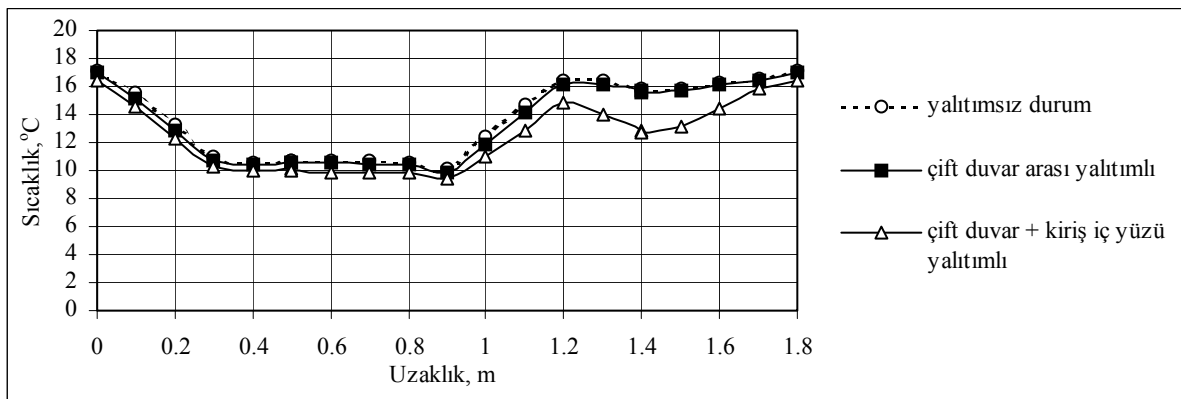
Ara kat ve teras kat döşemeleri için ayrı ayrı hesaplanan sıcaklık değişimlerine ait grafikler Şekil 3 ve Şekil 4’de gösterilmiştir. Ara kat döşemelerinde yalıtımsız durumda, bloğun üst kısmında (döşeme üst yüzeyi ile tuğla duvar ara kesitinde) içeriden dışarıya doğru yaklaşık 30 cm’lik bir mesafede 6°C değerinde bir sıcaklık düşüşü meydana gelmektedir (Şekil 3. Yalıtımsız durum).

Kirişin dış yüzeyinde sıcaklık 11°C civarında sabit kalmakta, girişin alt yüzünde dışarıdan içeri doğru 6°C değerinde bir sıcaklık artışı meydana geldikten sonra, girişin iç yüzeyinde sıcaklık hemen hemen sabit kalmaktadır. Döşeme içinde, döşemenin üst yüzüne doğru sıcaklıkta az bir artış olmaktadır.

Çift duvar arası yalıtımlı durumda grafik, yalıtımsız duruma oldukça benzerdir (Şekil 3. Çift duvar arası yalıtımlı durum). Bloğun üst kısmında dış yüzeye doğru yaklaşık 6°C’lik azalan bir sıcaklık değişimi vardır. Bu sıcaklık değişimi bloğun dış yüzeyinde 11°C’den 10°C’ye inen küçük bir değişimle devam etmekte; bloğun alt yüzeyinde bu değişim fark edilir ölçüde artarak, 10°C’den 16°C sıcaklığa çıkmaktadır. Döşeme dilimi de dahil olacak şekilde bloğun iç yüzeyinde sıcaklık farkı 1°C artarak; 17°C’ye ulaşmaktadır. Bu grafikte yalıtımın etkisi görülmektedir.

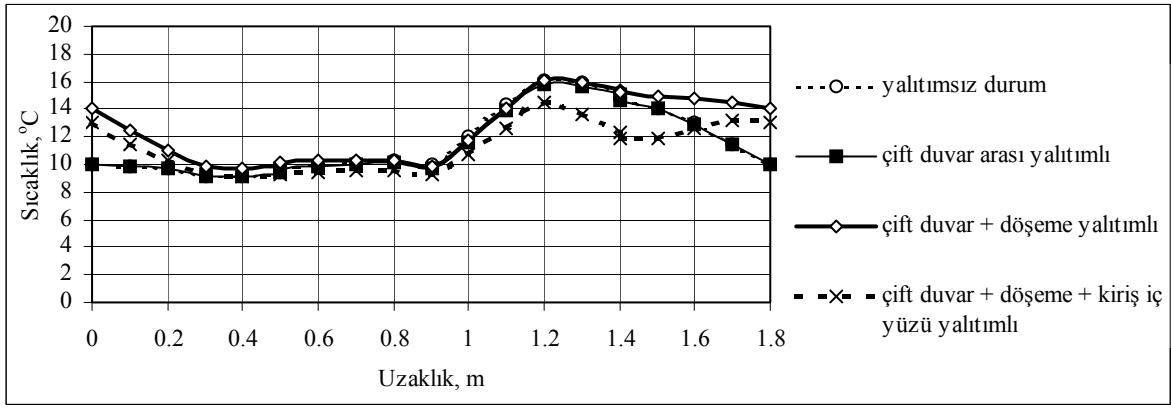
Çift duvar arası yalıtıma ilave olarak giriş iç yüzeyinin de yalıtılması durumunda, girişin iç yüzeyinde Şekil 3’deki ‘yalıtımsız durum’ ve ‘çift duvar arası yalıtımlı durum’ değerlerinin aksine önemli sıcaklık değişimleri görülmektedir. Bloğun üst kısmında, dış yüzeye doğru sıcaklıkta yaklaşık 4.1°C’lik bir azalma görülmektedir. Bloğun dış yüzeyinde ise sıcaklık yaklaşık olarak 9.8°C’de sabit kalmaktadır. Blok alt yüzeyinde sıcaklık 14.8°C’ye kadar artmakta ve iç yüzey ile dış yüzey arasında 5°C’lik bir sıcaklık farkı oluşmaktadır. Giriş iç yüzeyinin ilk 0.2 m’inde sıcaklık 12.7°C’ye düşmekte, döşeme bölgesinde en üst noktada 16.4°C değerine ulaşmaktadır.

Teras kat döşemelerinde, yalıtımsız ve sadece çift duvar arası yalıtımın bulunduğu durumlarda, ara kat döşemelerinden farklı olarak, bloğun üst ve dış tarafında sıcaklık değişimi oldukça azdır; yaklaşık 1°C’lik bir fark görülmektedir (Şekil 4. yalıtımsız durum ve çift duvar arası yalıtımlı durum). Buna karşılık bloğun alt ve iç tarafındaki yüzeylerde sıcaklık 6°C’lik bir değişim göstermektedir.



Şekil 3.

Ara kat kesitlerinde giriş ve üstündeki döşeme parçasından oluşan bloğun dış konturlarında meydana gelen sıcaklık değişimleri



Şekil 4.
Teras kat kesitlerinde kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan bloğun dış konturlarında meydana gelen sıcaklık değişimleri

Çift duvara ilave olarak döşemenin de yalıtımlı olması hallerinde grafikler tekrar ara kat döşemelerindeki grafiklere benzer bir değişim göstermektedirler. Çift duvar arası yalıtıma ilave olarak döşemenin de dışardan yalıtımlı olması durumunda, bloğun üst tarafında azalan yönde bir sıcaklık değişimi gerçekleşmektedir (14.0°C-9.8°C). Dış yüzey boyunca sıcaklık yaklaşık olarak 10.0°C'de sabit kalmaktadır. Kiriş alt yüzeyinde ise artan yönde bir sıcaklık değişimi görülmektedir (9.8°C-26.8°C). Kiriş iç yüzeyinde ve kiriş üstündeki döşeme içinde sıcaklık, 26.8°C'dan 14.0°C'a düşmektedir.

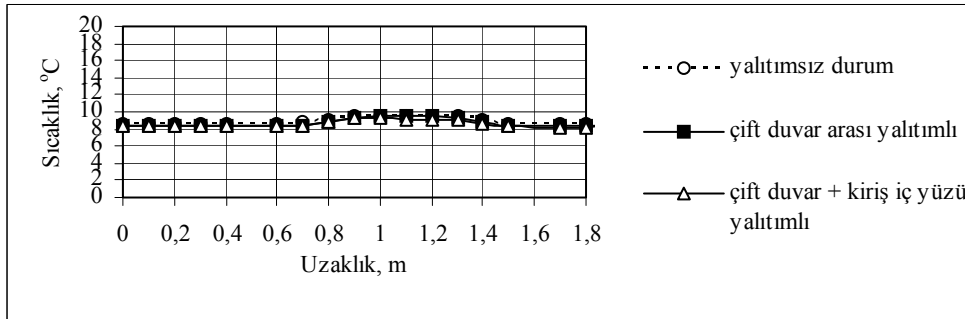
Çift duvar arası yalıtım ve döşeme yalıtımına ilave olarak kiriş iç yüzeyinin de yalıtılması halinde, bloğun üst kısmında ve dış yüzeyindeki sıcaklık değişimleri bir önceki duruma çok benzerdir. Blok alt yüzeyinde sıcaklık, 14.6°C'ye kadar artmakta ve iç yüzey ile dış yüzey arasında yaklaşık olarak 5°C'lık fark oluşmaktadır. Kiriş iç yüzeyinin ilk 0.2 metresinde, sıcaklık azalarak 11.9°C'a düşmekte ve buradan kiriş üstü döşeme kesişim noktasına kadar yaklaşık olarak bu sıcaklıkta sabit kalmaktadır. Döşeme bölgesinde sıcaklık 1.1°C artmakta ve en üst noktada 13°C değerini almaktadır.

2.1.2. Dış Yüzeyde Oluşan Sıcaklık Değişimleri:

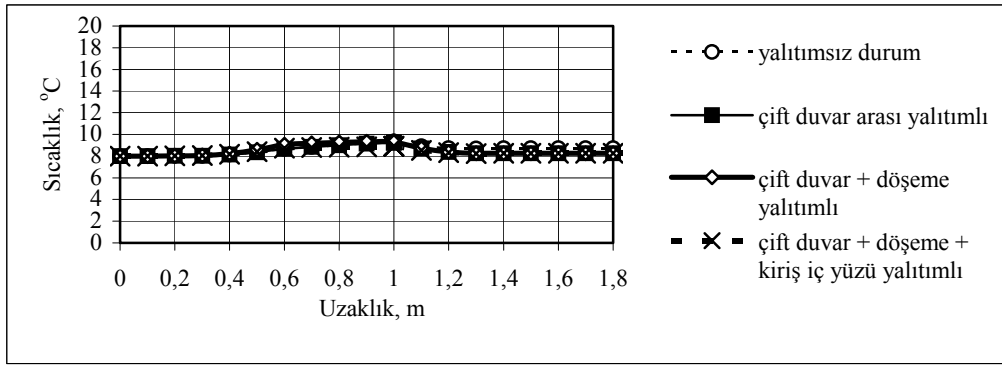
Dış yüzeyde oluşan sıcaklık değişimleri Şekil 1 ve Şekil 2'de belirtilen kesitler için ayrı ayrı incelenmiş ve Şekil 5'de ara kat, Şekil 6'da ise teras kat kesitlerinde oluşan sıcaklık değişimlerine ait grafikler verilmiştir.

Ara kat döşemelerinde, bütün durumlar için, dış yüzeyde sıcaklık sadece kiriş ve döşemenin dış yüzeyinde yaklaşık 1°C artmakta ve genel olarak bu farkın oluşumu dışında sabit kalmaktadır.

Teras döşemesinin incelendiği kesitlerdeki dış yüzey sıcaklıklarında da benzer şekilde çok az değişim vardır (Şekil 6). Yine yaklaşık 1°C'lık bir sıcaklık artışı betonarme elemanların bulunduğu bölgede meydana gelmektedir.



Şekil 5.
Ara kat kesitlerinde dış yüzeyde meydana gelen sıcaklık değişimleri

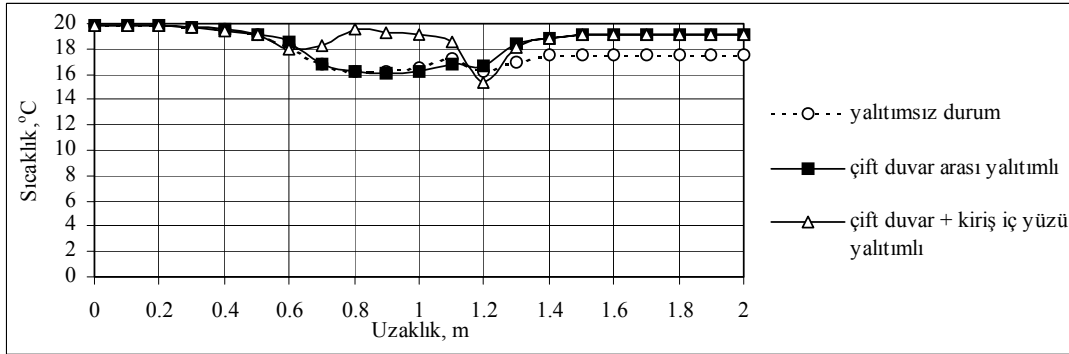


Şekil 6.
Teras kat kesitlerinde dış yüzeyde meydana gelen sıcaklık değişimleri

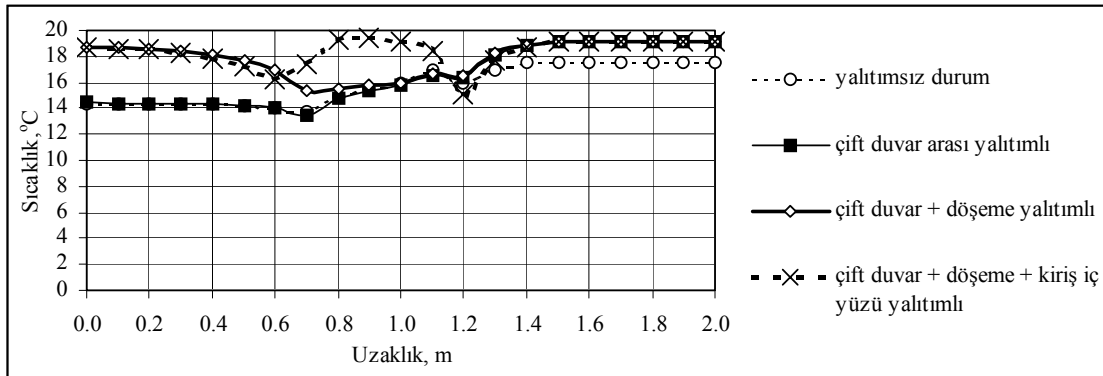
2.1.3. İç Yüzeyde Oluşan Sıcaklık Değişimleri:

Şekil 7’de ara kat kesitlerinde, Şekil 8’de ise teras kat kesitlerinde tavan, kiriş ve duvar iç yüzeyinde meydana gelen sıcaklık değişimleri gösterilmektedir.

Yalıtımsız durumdaki ara kat döşemelerinde, iç yüzeyde tavan sıcaklığı 20°C civarındadır (Şekil 7. Yalıtımsız durum). Tavan duvar kesişme noktasından 40 cm uzaklıktan itibaren sıcaklıkta düşüş başlamakta ve bu düşüş kiriş iç yüzeyinde de devam etmektedir. İç yüzey sıcaklığı 16.5°C değerine kadar düştükten sonra, kirişin alt köşesinde hafif bir artış göstermekte ve kirişin alt yüzü ile duvarın birleştiği noktada en düşük değer olan 16°C’ye düşmektedir. Bundan sonra tekrar artış göstermekte ve kirişten yaklaşık 20 cm uzaklıkta, 17.5°C değerinde sabit kalmaktadır.



Şekil 7.
Ara kat kesitlerinde iç yüzeyde meydana gelen sıcaklık değişimleri



Şekil 8.
Teras kat kesitlerinde iç yüzeyde meydana gelen sıcaklık değişimleri

Ara katlarda çift duvar arası yalıtım uygulanması durumunda, grafik yalıtımsız duruma benzerdir; ancak duvar sıcaklığı da tavan sıcaklığına yaklaşmakta ve 19.2 °C’a ulaşmaktadır (Şekil 7. Çift duvar arası yalıtımlı durum). Ara katlarda çift duvar arası yalıtıma ilave olarak kiriş iç yüzeyinin de yalıtılması durumunda, kiriş iç yüzey sıcaklığında önce bir artış görülmekte, ancak kiriş ile duvarın birleştiği noktada meydana gelen sıcaklık düşüşü daha etkin hale gelmektedir. Burada meydana gelen minimum sıcaklık diğer kesitlerden daha düşüktür.

Teras döşemelerinde yalıtımsız ve çift duvar arası yalıtımlı durumlarda en düşük iç yüzey sıcaklıkları tavanda meydana gelmekte, kiriş iç yüzeyinde ve duvarda iç yüzey sıcaklıkları giderek artmaktadır. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 4°C 'dir (Şekil 8. Yalıtımsız durum – Şekil 8. Çift duvar arası yalıtımlı durum). Teras döşemesinin de yalıtılması durumunda, tavan sıcaklıkları da yükselmekte teras döşemesinin ve çift duvar arası yalıtımın uygulandığı kesitte en düşük iç yüzey sıcaklıkları betonarme elemanların bulunduğu bölgede meydana gelmektedir.

Çift duvar arası yalıtıma ilave olarak teras döşemesinin ve kiriş iç yüzeyinin de yalıtılması halinde iç yüzey sıcaklığı grafiği ara kat döşemesinde benzer kesit için çizilen grafiğin çok benzeri olmaktadır (Şekil 7. Çift duvar ve kiriş iç yüzü yalıtımlı durum - Şekil 8. Çift duvar, döşeme ve kiriş iç yüzü yalıtımlı durum).

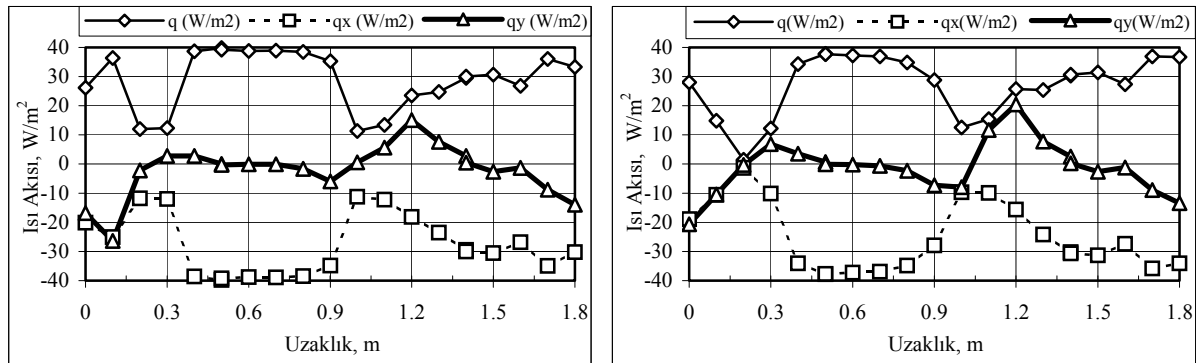
2.2. Isı Akısı Değişimleri

Çalışmanın bu bölümünde, ısı akısı değişimleri Şekil 1 ve Şekil 2'de belirtilen kesitler için incelenmiştir. Isı akısı ile ilgili grafiklerde bileşke ısı akıları yönlerine göre (-) veya (+) olarak ifade edilmektedir. Yatay bileşen (q_x), kesitte içerden dışarıya doğru ise (-) olarak gösterilmiştir. Dolayısıyla bütün grafiklerde yatay bileşenin değerleri (-)'dir. Düşey bileşen (q_y) ise, eğer yukarıdan aşağı doğru ise (-), aşağıdan yukarı doğru ise, yani içerden dışarıya doğru ise (+) olarak gösterilmiştir. Isı akıları da, sıcaklıklarda olduğu gibi, kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan bloğun dış konturlarında, dış yüzeyde ve iç yüzeyde incelenmiştir.

2.2.1. Bloğun Dış Konturlarında Oluşan Isı Akısı Değişimleri

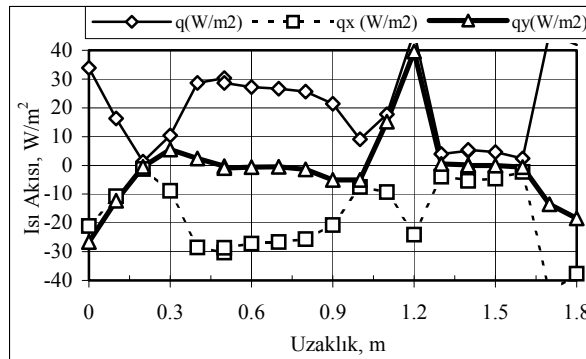
Şekil 9'da ara kat, Şekil 10'da teras kat döşemelerinde, kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan bloğun dış konturlarında meydana gelen ısı akısı değişimleri gösterilmektedir.

Ara kat döşemelerinde yalıtımsız durumdaki kesitte, bloğun üst kısmında yatay bileşen (q_x)'e ilave olarak kiriş içine doğru 30 W/m^2 değerlerine çıkan düşey ısı akısı bileşeni (q_y) de görülmektedir (Şekil 9). Kirişin dış yüzeyinde düşey bileşen yaklaşık sıfırdır ve içerden dışarı doğru yatay doğrultuda 40 W/m^2 değerinde ısı kaybı meydana gelmektedir.



a) Yalıtımsız durum

b) Çift duvar arası yalıtımlı



c) Çift duvar + kiriş iç yüzü yalıtımlı

Şekil 9.

Ara kat kesitlerinde kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan bloğun dış konturlarında meydana gelen ısı akısı değişimleri

Kirişin alt yüzü ile duvar ara yüzeyinde iki boyutlu ısı kaybı meydana gelirken, “ q_x ” 10 W/m^2 değerine düşmektedir. Daha sonra tekrar artış göstererek, giriş iç yüzeyinin orta noktalarından itibaren 30 W/m^2 seviyesinde sabit kalmaktadır. q_y ise, girişin dış yüzünün en alt noktasından itibaren girişin alt yüzü boyunca artış göstermekte, en yüksek 15 W/m^2 değerine çıktıktan sonra, giriş iç yüzeyinde azalarak, yüksekliğin yaklaşık yarısında sıfırlanmakta, sonra ters yönde artış göstererek döşemenin üst kotunda -15 W/m^2 değerine ulaşmaktadır. Sonuç olarak, giriş 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 akısının yönü, bloğun merkezine doğrudur. Tüm blok konturlarında yüksek ısı akısı meydana gelmektedir; bloğun alt ve üst kısımlarında sadece küçük bir bölgede ısı akısı değerlerinde azalma görülmektedir.

Çift duvar arası yalıtım olması durumunda, bloğun üst yüzeyinin dış ortama doğru son 0.1 metresinde toplam ısı akısı yaklaşık olarak sıfırdır. Bloğun dış yüzeyi boyunca çift yönlü ısı akısı gerçekleşmektedir. Bloğun alt yüzeyinden giriş altına kadar olan mesafede düşey ısı akısı ani bir artış göstererek 20.4 W/m^2 değerine ulaşmakta; yatay ısı akısı 15.6 W/m^2 değerini almaktadır. Bloğun iç yüzeyine doğru yatay ve düşey ısı akısı azalmaktadır.

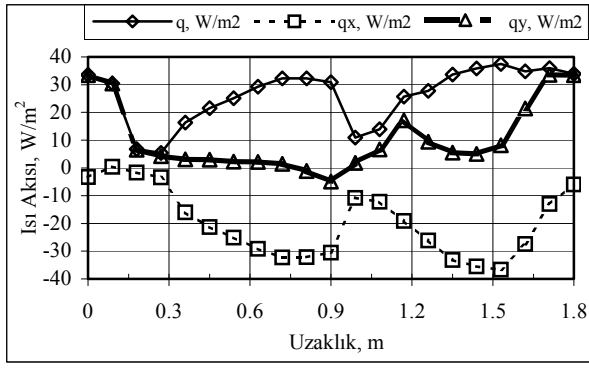
Çift duvar arası yalıtıma ilave olarak ara katlarda giriş iç yüzeyinin de yalıtılması halinde, bloğun üst kısmında ilk 0.2 m 'de ısı akısı sıfır değerinde iken; blok dış yüzeyi boyunca düşey ısı akısı sabit kalmakta, yatay ısı akısı 28.7 W/m^2 değerine ulaşmaktadır. Blok alt yüzeyinde yalıtım malzemesine kadar ısı akısı azalarak 9.1 W/m^2 değerini almakta; yalıtım ve iç duvar ara yüzeyinde ani bir artış göstererek 46.3 W/m^2 değerine gelmektedir ($q_x = 24.1 \text{ W/m}^2$ $q_y = 39.5 \text{ W/m}^2$). Giriş iç yüzeyinde düşey ısı akısı, döşeme kesişim noktasına kadar sıfır değerindedir. Döşeme bölgesinde ani bir artış gösteren ısı akısı ise 46 W/m^2 değerine çıkmakta ve döşeme üst noktasında 41.9 W/m^2 değerine düşmektedir. Bloğun ortalama ısı akısı 29.35 W/m^2 olmakta, x eksenini ile 174.84° açı yapmaktadır.

Teras kat döşemelerinde yalıtımsız durumdaki kesite ait sonuçları içeren Şekil 10a'da; bloğun üst kısmında yatay doğrultudaki ısı akısı yaklaşık sıfırdır ve sabittir ve bileşke ısı akısı ile düşey doğrultudaki ısı akısı birbirine eşittir. Bloğun en dış üst köşesinde toplam ısı akısı yaklaşık olarak sıfırdır. Dış yüzeyde düşey doğrultudaki ısı akısı sıfırdır ve bileşke ısı akısı yatay doğrultudaki ısı akısına eşittir. Bu durum girişin alt yüzü ile duvar arakesitinde benzerdir. Ancak duvarın bittiği noktadan itibaren, girişin alt iç yüzeyinden düşey doğrultuda gittikçe artan ısı akısı meydana gelmekte; bileşke ısı akısını yatay doğrultudaki ısı akısından çok daha büyük değerlere çıkarmaktadır. Daha sonra girişin iç yüzeyi boyunca tavana doğru, düşey ısı akısı tekrar sıfıra yaklaşmakta ve yatay doğrultudaki ısı iletimi hakim olmaktadır. İç köşeye yaklaşık döşeme kalınlığı kadar yaklaşıldığında, düşey ısı akısı tekrar artış göstermekte ve yatay doğrultudaki ısı akısı da azalmaktadır.

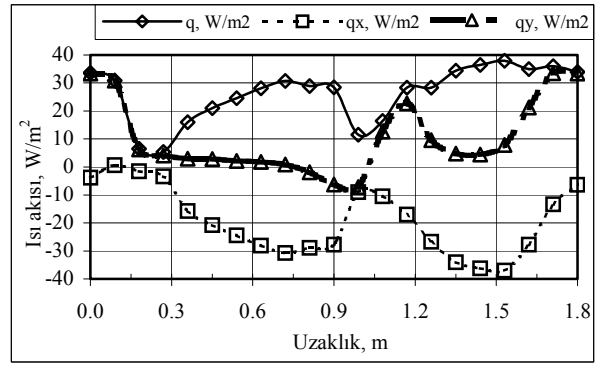
Sonuç olarak bloğun üst kısmında (döşeme-parapet duvarı arakesitinde) yatay ısı akısı sıfır, girişin alt yüzü ile duvar arakesitinde ise küçük değerlerdedir. Bloğun üst kısmında içerden dışarı doğru azalacak şekilde düşey ısı akısı meydana gelmektedir. Bloğun dış yüzünde yatay ısı akısı hakimdir. İç yüzeyde ise hem yatay, hem de düşey ısı akısı meydana gelmektedir. Belirtilen kontur üzerinde bileşke ısı akısı 39 W/m^2 'ye kadar çıkmaktadır.

Çift duvar arası yalıtımlı kesitte, bloğun üst kısmında, yatay doğrultudaki ısı akısı yaklaşık olarak sıfırdır ve bileşke ısı akısı ile düşey doğrultudaki ısı akısı birbirine eşittir. Bloğun üst yüzeyinin son 0.1 metresinde toplam ısı akısı yaklaşık olarak sıfırdır. Bloğun dış yüzeyi boyunca, ilk 0.5 metresinde düşey ısı akısı sıfırken, yatay ısı akısı artmakta ve toplam ısı akısına eşit olmaktadır. Son 0.1 metresinde ise çift yönlü ısı akısı gerçekleşmektedir. Düşey ısı akısı artarken yatay ısı akısı sabit kalmakta ve dış yüzey alt kotunda toplam ısı akısı 28.45 W/m^2 olmaktadır. Bloğun alt yüzeyinin ilk 0.1 metresinde (yalıtım malzemesine kadar) toplam ısı akısında ani bir düşüş görülmektedir. Son 0.2 metresinde ısı akısında ani bir artış görülmektedir ve iç yüzeyde, toplam ısı akısı 28.34 W/m^2 , yatay ısı akısı 20.21 W/m^2 ve düşey ısı akısı 18.31 W/m^2 değerlerini almaktadırlar. Blok iç yüzeyinde toplam ısı akısı 37.887 W/m^2 'ye kadar çıkmakta ve iç yüzeyin ilk 0.2 metresinde düşey ısı akısı sıfıra yaklaşırken, yatay ısı akısı artmaktadır. Daha sonra yatay ısı akısı azalırken düşey ısı akısı artmaktadır.

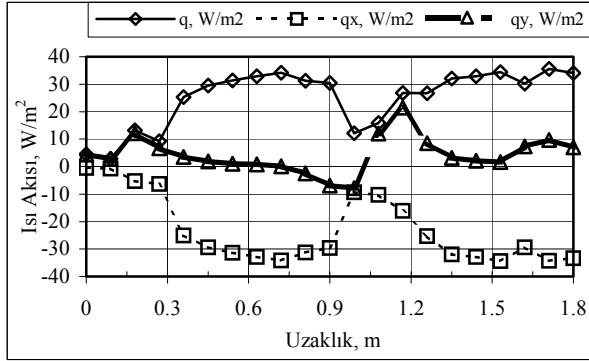
Sonuç olarak, bloğun, üst kısmında toplam ısı akısını düşey yönde gerçekleştiren ısı akısı oluşturmakta, dış yüzeyinde de yaklaşık olarak yatay ısı akısı oluşturmaktadır. Bloğun, alt ve iç yüzeylerinde her iki yönde ısı akısı oluşmaktadır.



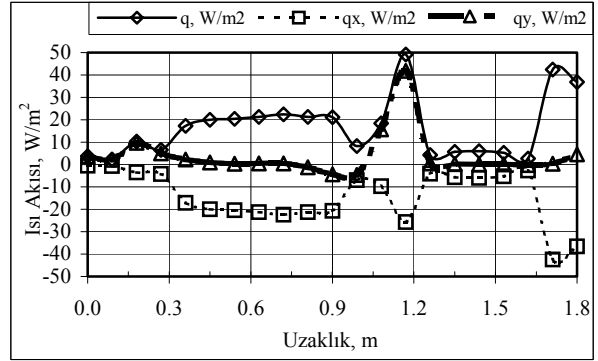
a) Yalıtımsız durum



b) Çift duvar arası yalıtımlı



c) Çift duvar + döşeme yalıtımlı



d) Çift duvar + döşeme + kiriş iç yüzü yalıtımlı

Şekil 10.

Teras kat kesitlerinde kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan bloğun dış konturlarında meydana gelen ısı akısı değişimleri

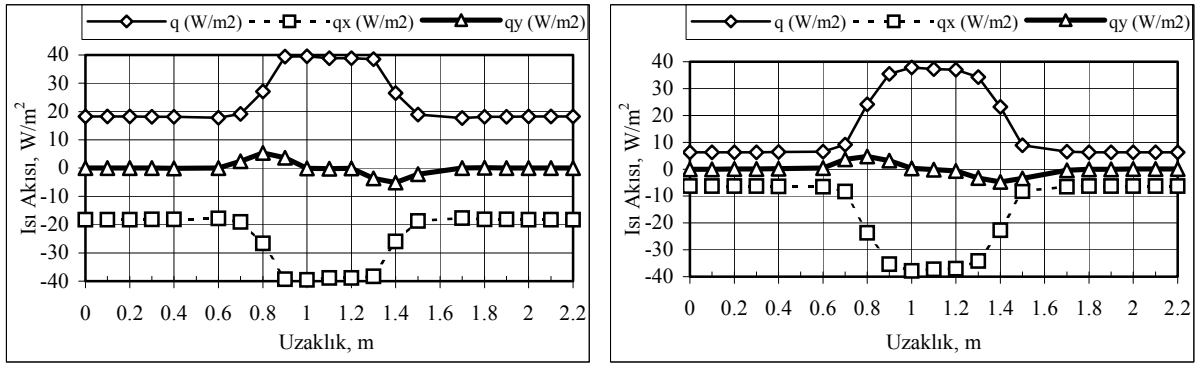
Çift duvar arası yalıtıma ilave olarak döşemenin dış taraftan yalıtılması halinde, kiriş üstündeki döşeme ile döşeme üstü yalıtım ara yüzeyinde ısı akısı yaklaşık olarak sıfır değerinde iken döşeme üstü yalıtımın bittiği noktada ani olarak artan yönde değişim oluşmaktadır. Bu değişim her iki yönde gerçekleşen ısı akılarından kaynaklanmaktadır ($q_x = 5.3 \text{ W/m}^2$, $q_y = 13.2 \text{ W/m}^2$). Kiriş üstündeki döşemenin dış tarafına doğru ısı akılarında küçük bir değişim olmaktadır ($q_x = 6.3 \text{ W/m}^2$, $q_y = 6.7 \text{ W/m}^2$). Bu noktada toplam ısı akısı yaklaşık olarak 9.2 W/m^2 değerini almaktadır. Dış yüzey boyunca, ısı akısı artan bir değişim göstermektedir. Kiriş ve duvar ara yüzeyinde ısı akılarında ani değişiklikler görülmektedir. Bloğun iç yüzeyinde de değişimler daha ılımlı bir şekilde devam etmektedir (Şekil 9c).

Çift duvar arasının, döşemenin ve kiriş iç yüzünün yalıtımlı olduğu kesitte, grafik diğer kesitlerden oldukça farklıdır. bloğun üst kısmında döşeme üstü yalıtım malzemesinin bittiği noktadan itibaren bloğun dış yüzeyine kadar yatay ısı akısında küçük artışlar olurken, düşey ısı akısı pik noktası oluşturmuştur. Blok dış yüzeyi boyunca düşey ısı akısı sıfırken yatay ısı akısı yaklaşık olarak 21 W/m^2 değerlerinde sabit kalmaktadır. Blok alt yüzeyinde yalıtım malzemesine kadar olan ara yüzeyde ısı akısı azalmakta ve 8.3 W/m^2 değerini almaktadır. Yalıtım ve iç duvar ara yüzeyinde ise ani bir artış göstererek 49.1 W/m^2 değerine ulaşmaktadır. Kiriş iç yüzeyinde bileşke ısı akısı, döşeme kesişim noktasına kadar yaklaşık 5.2 W/m^2 değerinde sabit kalmaktadır. Döşeme bölgesinde tekrar ani bir artış göstererek 42.4 W/m^2 değerlerine çıkmakta ve döşeme üst noktasında 36.9 W/m^2 değerine düşmektedir (Şekil 10d).

2.2.2. Dış Yüzeyde Oluşan Isı Akısı Değişimleri

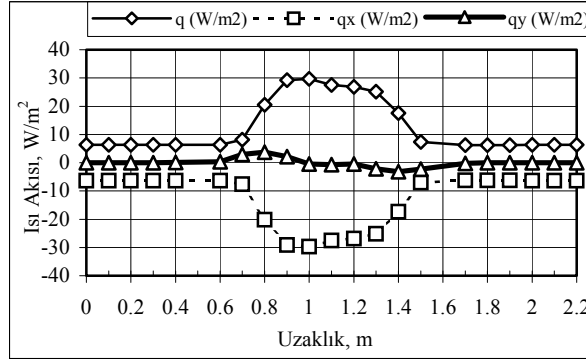
Ara kat kesitlerinde dış yüzeyde meydana gelen ısı akısı değişimleri Şekil 11'de, teras kat kesitlerine ait grafikler ise Şekil 12'de gösterilmektedir.

Ara kat döşemelerinde yalıtımsız duruma ait kesitte, düşey doğrultuda ısı akısı yine sadece kiriş ve döşemenin bulunduğu bölgede meydana gelmektedir.



a) Yalıtımsız durum

b) Çift duvar arası yalıtımlı



c) Çift duvar + kiriş iç yüzü yalıtımlı

Şekil 11.

Ara kat kesitlerinde dış yüzeyde meydana gelen ısı akısı değişimleri

5 W/m² değerlerine kadar çıkan q_y'de yön değişikliği de gözlenmektedir. Bileşke ısı akısı yatay doğrultudaki ısı akısına eşittir. Değişimi sıcaklıktaki değişime benzerdir; ancak çok daha belirgin bir şekildedir. Isı akısının en yüksek değeri 40 W/m²'dir. Kirişin ve döşemenin bulunduğu bölgede alt ve üst noktalardan yaklaşık 10 cm uzaklaştıktan sonra meydana gelmektedir (Şekil 11a).

Ara katta çift duvar arası yalıtımın bulunduğu kesitte de, toplam ısı akısı yatay ısı akısına eşit kabul edilebilir. Yalıtımsız duruma ait grafiğe yine çok benzerdir; sadece değişimler daha yumuşak çizgilerle meydana gelmektedir (Şekil 11b).

Ara katlarda çift duvar arası yalıtıma ilave olarak kiriş iç yüzeyinin de yalıtıldığı durumda, grafik sadece çift duvar arası yalıtım bulunan kesite benzerdir; ancak en yüksek ısı akısının değerinde yaklaşık 10 W/m²'lik bir azalma meydana gelmiştir (Şekil 11c).

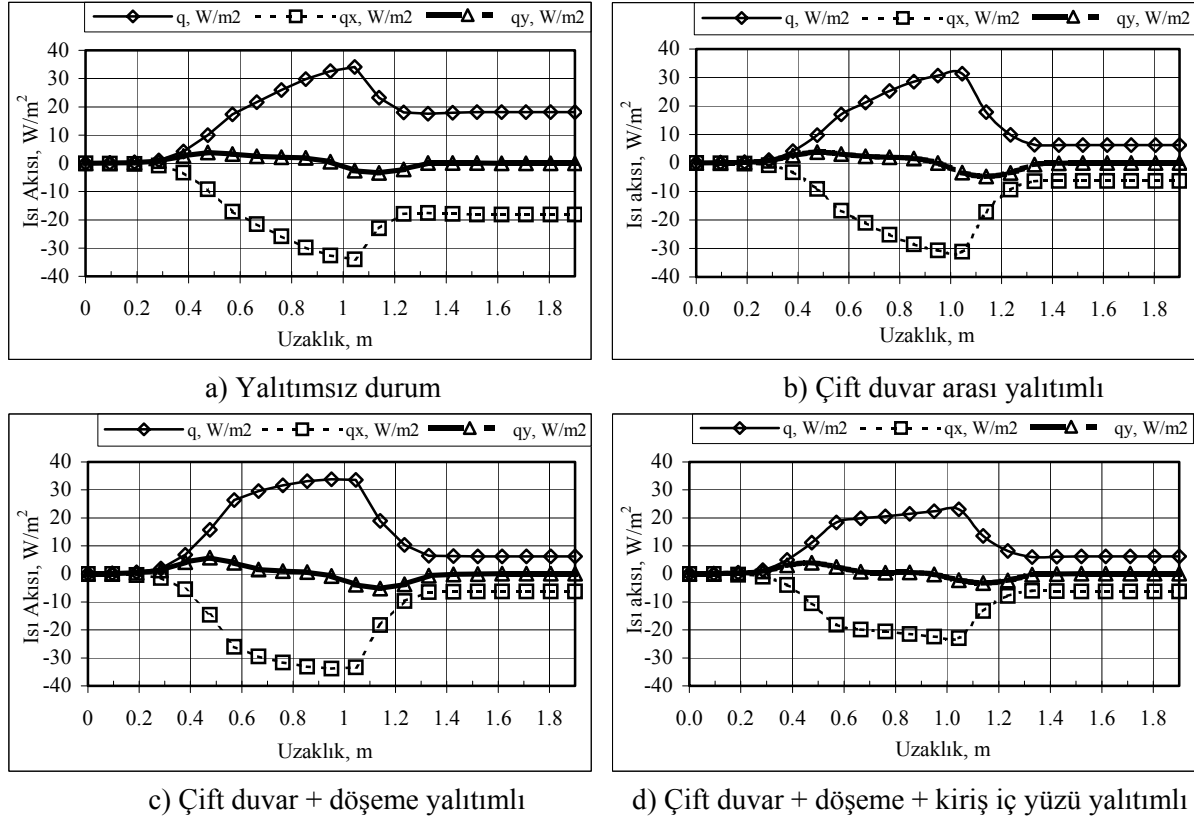
Yalıtımsız durumdaki teras kat döşemelerinde dış yüzeyde, düşey doğrultuda ısı akısı yoktur. Bileşke ısı akısı yatay doğrultudaki ısı akısına eşittir ve değişimi sıcaklıktaki değişime benzerdir. Yalıtımsız durumda, ısı akısının en yüksek değeri 33.7 W/m²'dir ve kirişin alt yüzü ile duvarın ara kesit düzlemi hizasında meydana gelmektedir (Şekil 12a).

Teras katlarda duvarda çift duvar arası yalıtım uygulanması halinde, toplam ısı akısı kiriş ve kiriş üstü döşeme bölgesinde oluşan çok küçük düşey doğrultudaki ısı akısını dikkate almazsak (4.76 W/m²), yatay ısı akısına eşit kabul edilebilir. Dış yüzey boyunca toplam ısı akısı, parapet duvarının ilk 0.3 metresinde ve duvar dış yüzeyinin son 0.6 metresinde sabit olmaktadır (sırasıyla, 0 W/m² ve 6.28 W/m²). En yüksek ısı akısı kiriş alt yüzeyi ile duvar ara kesit hizasında meydana gelmektedir (31.3 W/m²).

Teras katlarda çift duvar arası yalıtıma ilave olarak teras döşemesinin de dışardan yalıtılması halinde, dış yüzeyde düşey ısı akısı, farklı malzemelerin (tuğla-betonarme) birleşim bölgelerinde değişim gösterirken diğer bölgelerde yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Parapet duvarının yukarıdan aşağıya doğru ilk 0.3 metresinde ısı akısı sıfırdır. Bu noktadan, kiriş üstü döşeme dilimi ile kiriş birleşim noktasına kadar ısı akısında hızlı bir artış görülmektedir. Kiriş dış yüzeyinde artış devam etmekte ve 33.7 W/m² değerine kadar çıkmaktadır.

Kiriş-duvar birleşim bölgesinde ısı akısında azalan bir değişim görülmekte ve duvar düşey dış yüzeyinin son 0.6 m'sinde ısı akısı 6.27 W/m^2 değerinde sabit kalmaktadır.

Teras katlarda çift duvar arası ve teras döşemesindeki yalıtıma ilave olarak giriş iç yüzeyinin de yalıtılması halinde, dış yüzeyde bileşke ısı akısı maksimum kırş-duvar birleşim noktası civarında 23.1 W/m^2 değerine kadar çıkmaktadır. Parapet duvarının ilk 0.3 metresinde ısı akısı sıfır değerinde sabit kalmaktadır. Dış yüzey boyunca yaklaşık olarak düşey ısı akısı sıfır değerindedir ve bileşke ısı akısını, yatay ısı akısı oluşturmaktadır. Kiriş dış yüzeyinde ısı akısı, duvar dış yüzeyinin son 0.57 metresinde 6.3 W/m^2 değerinde sabit kalmaktadır.



Şekil 12.

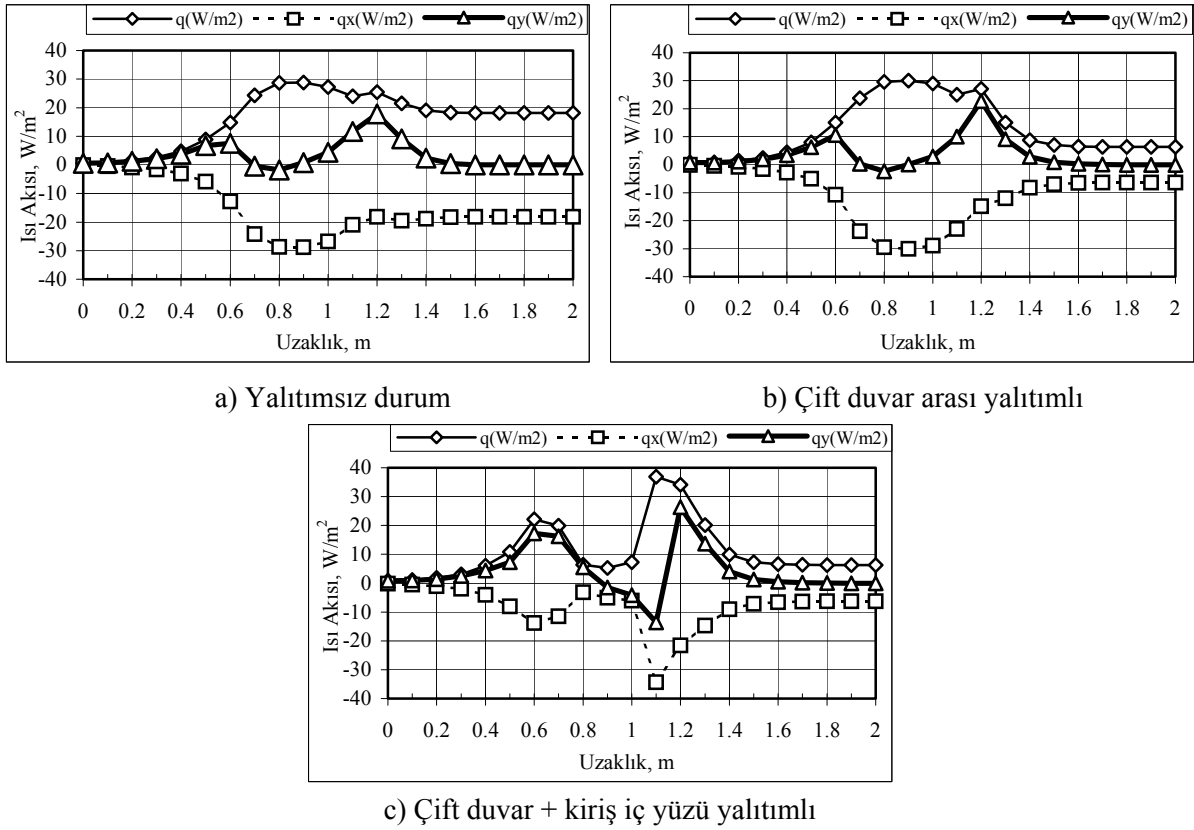
Teras kat kesitlerinde dış yüzeyde meydana gelen ısı akısı değişimleri

2.2.3. İç Yüzeyde Oluşan ısı Akısı Değişimleri

Tavan, giriş ve duvar iç yüzeyinde meydana gelen ısı akısı değişimleri ara katlar için Şekil 13'de, teras kat kesitleri için ise Şekil 14'de verilmektedir.

Yalıtımsız durumdaki ara kat döşemelerinde tavan iç yüzeyinde oluşan ısı kaybı sıfırdır. Şekil 13a'da görüldüğü gibi, dış duvara yaklaşıldıkça, yatay ısı akısı bileşeninde belirgin bir artış olmaktadır. Kirişin iç yüzeyinde en yüksek değerine (30 W/m^2) ulaştıktan sonra, duvarda 20 W/m^2 değerine düşmekte ve sabit kalmaktadır. Tavanda sıcaklığın düşmeye başladığı noktadan itibaren iç yüzeyde düşey ısı akısında dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu durum, girişin 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.

Ara katlarda çift duvar arası yalıtım uygulandığında, giriş iç yüzeyinde bileşke ısı akısı en yüksek 23.7 W/m^2 değerine ulaşmakta; tavan-kiriş birleşim bölgesinin iç yüzeyinde düşey ısı akısı azalırken, yatay ısı akısı artmaktadır. Kiriş alt yüzeyinin iç ortama temas eden bölgesinde düşey ısı akısı en yüksek değerine ($22. \text{ W/m}^2$) ulaşırken, duvar iç yüzeyinin son 0.3 metresinde bileşke ısı akısı yatay ısı akısına eşit olmakta ve yaklaşık $6,3 \text{ W/m}^2$ değerinde sabit kalmaktadır.



a) Yalıtımsız durum

b) Çift duvar arası yalıtımlı

c) Çift duvar + kiriş iç yüzü yalıtımlı

Şekil 13.

Ara kat kesitlerinde iç yüzeyde meydana gelen ısı akısı değişimleri

Ara katlarda çift duvar arası yalıtımına ilave olarak kiriş iç yüzeyinin de yalıtılması halinde, ısı akısı tavan yüzeyinde diğer iki duruma göre dış duvardan daha uzak mesafede artmaya başlamakta ve bu artış, tavan-kiriş birleşim noktasına kadar devam ederek 22.1 W/m^2 değerine ulaşmaktadır. Kiriş iç yüzeyinde, ısı yalıtımı sebebiyle bekleneneği üzere, ısı akısında azalma görülürken (5.3 W/m^2), kiriş önü yalıtımın alt yüzeyi ve kiriş alt yüzeyinde ani bir artış gerçekleşmektedir (36.9 W/m^2). Bu bölgede düşey ısı akısının iki farklı yönde hareketi gözlenmektedir. Her iki yöndeki maksimum değerler, $q_y = -13.6 \text{ W/m}^2$ ve $q_y = 26.4 \text{ W/m}^2$ 'dir. Duvar iç yüzeyinde ısı akılarının hepsinde azalma görülmekte ve duvar iç yüzeyinde düşey ısı akısı sıfırlanırken, yatay ve bileşke ısı akısı 6.3 W/m^2 değerinde sabit kalmaktadır.

Yalıtımsız durumdaki teras kat döşemelerinde, tavan ve duvar boyunca iç yüzeylerdeki ısı akısının değişimi, sağdan sola doğru, Şekil 14a'da gösterilmiştir. Tavanın iç yüzeyinde düşey doğrultudaki ısı akısı (q_y), tavan-kiriş birleşim noktasına yaklaşık 0.2 m mesafe kalıncaya kadar $42 \text{ W/m}^2 - 43 \text{ W/m}^2$ arasında hemen hemen sabit kalmaktadır ve yatay doğrultuda ısı akısı (q_x) yoktur. Bundan sonra, düşey doğrultudaki ısı akısı azalırken yatay doğrultudaki ısı akısı artmaktadır. Tavan-kiriş kesişme noktasında, düşey doğrultuda 20 W/m^2 , yatay doğrultuda 25 W/m^2 ısı kaybı meydana gelmektedir. Kesişme noktasından itibaren kiriş yüzeyinde 0.1 m aşağıya kadar q_y değerindeki azalma ile q_x değerindeki artış devam etmektedir. Bundan sonra hem q_y ve hem q_x 'de artış vardır, ancak q_x 'deki artış daha hızlıdır. Duvarla kirişin kesim noktasından itibaren düşey doğrultudaki ısı akısı azalmakta ve kirişin bitiminden 0.2 m aşağıda q_y sıfırlanmaktadır. Duvarda 18 W/m^2 lik bir ısı kaybı yatay doğrultuda (duvar yüzeyine dik doğrultuda) meydana gelmektedir. Kirişin alt kısmında duvara kadar olan küçük bölgenin etkisi düşey ısı akısında görülen ikinci pikin oluşmasına sebep olmuştur.

Teras katlarda çift duvar arası yalıtım uygulanması halinde, ısı akısı grafiği yalıtımsız duruma oldukça benzerdir. Sadece duvardaki ısı akısı azalmıştır ve kiriş alt yüzeyinde meydana gelen düşey ısı akısında bir artış görülmektedir (Şekil 14b). Teras katlarda çift duvar arası yalıtımına ilave olarak teras döşemesinin de dışardan yalıtılması halinde, tavan iç yüzeyindeki ısı akısı da önemli miktarda azalmaktadır. Kiriş çevresinde mutlak değerde küçük bir azalma görülmekle birlikte, ısı akısı eğrilerinin davranışı diğer iki durumla aynıdır (Şekil 14c).

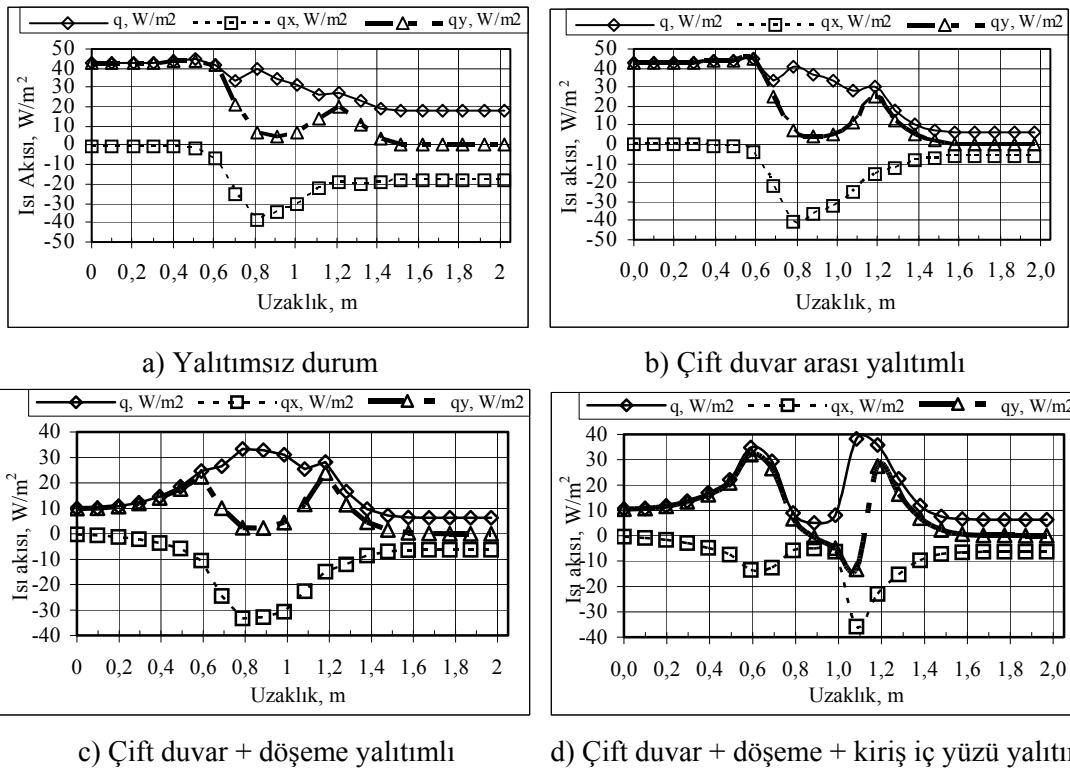
Teras katlarda, çift duvar arası yalıtım ve teras döşemesi yalıtımına ilave olarak kiriş iç yüzeyinin de yalıtılması halinde ısı akıları eğrilerinin davranışı tamamen değişmektedir. Kirişin tavan ve duvarla birleştiği bölgelerde tüm ısı akılarında en yüksek değerler hesaplanmaktadır.

Kirişin duvarla birleştiği bölgede, bu artış daha fazla olmaktadır. Kiriş iç yüzeyinde yaklaşık 0.2 m'lik bir uzunlukta yatay ısı akısı ve bileşke ısı akısı en düşük değerlerine ulaşırken; dikey ısı akısı yön değiştirmektedir. Tavan ve duvardaki iç yüzey ısı akıları ise, bir önceki durumla aynı özelliklere sahiptir (Şekil 14c ve 14d).

2.3. Ara Kat ve Teras Kat Kesitlerinin Enerji Verimliliklerinin Değerlendirilmesi

Enerji verimliliği, iç ortam konforu ve enerji tüketiminin azalması ile değerlendirilebilir. Sabit rejim şartlarında iç ortam konforu üzerindeki en önemli etken iç yüzey sıcaklıkları olurken; enerji tüketimleri açısından ise ısı kaybının (içerden dışarı doğru olan ısı akısının) değeridir. Bu doğrultuda incelenen kesitlerin ısı akısı değerleri ve yüzey sıcaklıkları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Ara kat ve teras döşemesi kesitlerinde en düşük iç yüzey sıcaklıkları, yalıtımsız, çift duvar arası yalıtımlı, çift duvar arası + döşeme yalıtımlı olması durumlarında yaklaşık tavan kiriş birleşim noktasında; çift duvar + döşeme + kiriş iç yüzü yalıtımlı olması durumunda kiriş alt yüzeyinde meydana gelmektedir. Sadece çift duvar arası yalıtım uygulanması, en düşük iç yüzey sıcaklığı açısından yalıtımsız duruma nazaran bir iyileşme sağlayamamaktadır. Hatta yalıtımsız durumdan az da olsa daha küçük değerler hesaplanmaktadır.



Şekil 14.

Teras kat kesitlerinde iç yüzeyde meydana gelen ısı akısı değişimleri

Ara katlarda çift duvar arası yalıtıma ilave olarak kiriş iç yüzeyinin de yalıtılması halinde iç yüzey sıcaklığı yaklaşık 1°C düşmektedir. Dolayısıyla kiriş iç yüzeyine eklenen yalıtım, en düşük iç yüzey sıcaklığı açısından yalıtımsız ve sadece çift duvar arası yalıtımlı durumlara nazaran daha olumsuz şartlar oluşturmaktadır.

Bir insanın sağlıklı ve üretken olabileceği ısıl parametrelerin sağlanması ısıl konfor olarak tanımlanmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde; kesin değerler belirtilmemiş olmasına karşılık, 22°C'nin yaşam alanları için ısıl konfor açısından uygun bir sıcaklık olduğu, bu değerın mevsimlere ve giyim tarzına göre 4-6°C farklılıklar gösterebileceği açıklanmaktadır [6]. Çalışma kapsamında, iç yüzey sıcaklıklarının olabildiğince yüksek olması amaçlanmıştır.

Teras kat döşemelerinde de, çift duvar arası yalıtım en düşük iç yüzey sıcaklığı açısından yalıtımsız duruma nazaran olumlu bir fark oluşturmamaktadır. Teras döşemesinin yalıtılması ile en düşük iç yüzey sıcaklığında 2°C'lik bir artış görülmekte; ancak kiriş iç yüzünün de yalıtılması halinde en düşük iç yüzey sıcaklığında az bir düşüş hesaplanmaktadır. Teras döşemelerinde de, kiriş iç yüzünün yalıtılması en düşük iç yüzey sıcaklığı üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır.

Tavan iç yüzey sıcaklıkları ara katlarda bekleneneği üzere her durum için yüksektir. Teras katlarında ise, teras döşemesi yalıtılmadıkça, ısıl konfor açısından kabul edilebilir değerlerin elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Duvar iç yüzey sıcaklığı ise, yine bekleneneği üzere çift duvar arası yalıtımın uygulandığı her kesit için aynı yüksek değerdedir. Sadece yalıtımsız durumlarda düşük iç yüzey sıcaklıkları meydana gelmektedir.

Tablo 2.
Farklı kesitlerde sıcaklık ve ısı akısı ile ilgili değerler

Kesit	Yalıtım durumu	Kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan blokta ortalama ısı akısı	Ortalama ısı akısının yatayla yaptığı açı	Döşeme üstünden itibaren tüm kesit için ortalama ısı akısı	İç yüzeyde en yüksek ısı akısı	İç yüzeyde en düşük ısı akısı	En düşük iç yüzey sıcaklığı	Tavan iç yüzey sıcaklığı	Duvar iç yüzey sıcaklığı
		W/m ²	Derece	W/m ²	W/m ²	W/m ²	°C	°C	°C
Ara kat	Yalıtımsız	39.1	179.1	21.9	28.8	0.6	16.3	19.9	17.6
	Çift duvar arası yalıtımlı	39.2	178.8	15.1	30.0	0.7	16.1	19.9	19.2
	Çift duvar + giriş iç yüzü yalıtımlı	29.3	174.8	12.7	36.9	0.8	15.3	19.9	19.2
Teras kat	Yalıtımsız	31.3	155.0	23.2	43.7	18.1	13.5	14.5	17.7
	Çift duvar arası yalıtımlı	31.0	157.0	19.1	45.7	6.3	13.4	14.4	19.2
	Çift duvar arası + döşeme yalıtımlı	35.5	170.4	18.4	34.2	6.3	15.4	18.7	19.2
	Çift duvar + döşeme + giriş iç yüzü yalıtımlı	23.7	169.1	14.4	39.6	4.7	15.1	18.6	19.2

Isı akıları açısından kesitler farklı ölçeklerde değerlendirilmiştir. Birinci değerlendirme, ısı köprüsü oluşturan betonarme elemanlar üzerinde yapılmıştır. Kiriş ve üzerindeki döşeme parçasından oluşan blokta ortalama ısı akısı ve ortalama ısı akısının yatayla yaptığı açı incelenmiştir.

Ortalama ısı akısının değeri, ısı köprüsünün sebep olduğu ısı akısındaki artışları, yatayla yaptığı açı ise, bu bölgede iki boyutlu ısı akısının etkinliğini gösterecektir. Hem ara katlarda ve hem de teras döşemelerde, çift duvar arası yalıtımın bloktaki davranışı anlamlı şekilde etkilemediği Tablo 2'deki değerlerden görülmektedir. Ara katlarda giriş iç yüzünün de yalıtılması halinde bloktaki ortalama ısı akısı azalmakta fakat iki boyutlu ısı akısının etkinliği biraz artmaktadır. Bu sonuç yatayla yapılan açının küçülmesinden anlaşılmaktadır. Teras döşemelerde, çift duvar arası yalıtıma ilave olarak teras döşemesinin dışardan yalıtılması halinde bloktaki ortalama ısı akısında az miktarda artış olmakla birlikte, iki boyutlu ısı akısının etkinliği azalmaktadır. İlave olarak giriş iç yüzünün de yalıtılması halinde, ortalama ısı akısının değerinde bir azalma görülmektedir. Bu durumda iki boyutlu ısı akısının etkisi belli bir bölgede yoğunlaşmaktadır ki, bu durumda eleman ısıl gerilmelerle daha fazla zorlanacaktır.

İç yüzeydeki en yüksek ısı akısı açısından da, giriş iç yüzeyinin yalıtılması, ısı akısının büyümesine sebep olarak şartları olumsuz yönde değiştirmektedir. Ancak, iç yüzeydeki en düşük ısı akısının azalmasını sağlamaktadır Teras döşemelerde, döşemenin yalıtılması ile, döşemeden meydana gelen kayıp önemli ölçüde azaldığından, iç yüzeydeki en yüksek ısı akısının büyüklüğünde azalma meydana gelmektedir. Döşeme üst yüzeyinden itibaren tüm kesit için ortalama ısı akısının değeri, ısı akıları açısından tüm kesitin davranışını ifade edecektir. Bu sonuçlara göre, ara katlarda çift duvar arası yalıtım, yalıtımsız duruma göre % 31 (21.9-15.1/21.9) iyileşme, çift duvar arası yalıtıma ilave olarak giriş iç yüzünün yalıtılması ise %42 iyileşme sağlamaktadır. Teras döşemelerde, çift duvar arası yalıtım, yalıtımsız duruma göre, %18, çift duvar arası yalıtıma ilave olarak döşemenin yalıtılması %21, çift duvar arası ve döşeme yalıtımına ilave olarak giriş iç yüzünün yalıtılması ise %38 iyileşme sağlamaktadır.

3. SONUÇLAR

Çift duvar arası yalıtım uygulamaları, ülkemizde uluslararası uygulamalara göre önemli eksiklikler içermektedir [10]; ancak bu haliyle de kullanılmaya devam etmektedir. Yaşanan sorunları çözmek ümidiyle son senelerde ayrıca giriş iç yüzünün yalıtılması, özellikle kamu binalarında karşımıza çıkmaktadır. Bu makalede elde edilen sonuçlar sistemin enerji verimliliği ve ısıl konfor açısından değerlendirilmesine imkân verecektir. Isıl konfor açısından önemli değişken, iç yüzey sıcaklıklarıdır. Bu açıdan çift duvar arası

yalıtım ve giriş iç yüzeyinin yalıtılması, yalıtıldığı elemanın iç yüzey sıcaklığını yükseltmekle birlikte, elemanların birleşim noktalarında bölgesel olarak daha fazla ısı kayıplarına sebep olduğu için, en düşük iç yüzey sıcaklıklarında daha olumsuz şartlar meydana gelmektedir. Sadece çift duvar arası yalıtım kullanıldığında yalıtımsız duruma göre fark çok anlamlı değerlere ulaşmamakta ise de, giriş iç yüzünün de yalıtılması halinde en düşük iç yüzey sıcaklığı belirgin şekilde azalmaktadır. Kesitlerin hiç birinde iç yüzey sıcaklığı açısından konfor şartları ($T_{iç}-3^{\circ}\text{C}$) sağlanamamıştır.

Isı akıları açısından da durum benzerdir. Yalıtım uygulanan elemanlarda, yalıtım kullanılması ile ısı akısı azalmakta ve bunun etkisi ile ortalama ısı akısında da azalmalar meydana gelmektedir. Ancak elemanların birleşim bölgeleri civarında yine aşırı zorlamalar olmakta ve bu bölgelerde ısı akılarında özellikle giriş iç yüzeyinin de yalıtılması halinde, önemli artışlar meydana gelmektedir.

Ayrıca giriş iç yüzeyinin yalıtılması halinde, iki boyutlu ısı akısının etkin olduğu alan küçülmekte ve bu bölgede elemanın ısıl gerilmeler açısından aşırı zorlanmasına sebep olmaktadır. Sonuçlar ara kat ve teras döşemelerinde benzerdir; ancak teras döşemelerinde döşemenin yalıtılmaması halinde konfor şartlarının ve enerji verimliliğinin sağlanması hiçbir şekilde mümkün değildir.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK-İÇTAG 1242 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Özkan, E. (2000) Yapı Elemanlarının Birleşimlerinde Isı ve Nem İle İlgili Optimum Performans Gösterecek Seçeneklerin Geliştirilmesi, Proje no: TÜBİTAK-İNTAG 234, İstanbul.
2. Dilmaç, Ş., Cihan, M.T. ve Güner, A. (2004) “Teras Çatılarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması”, Dizayn Konstrüksiyon Dergisi, Sayı:226, s: 68-77, İstanbul.
3. Dilmaç, Ş., Güner, A., Alamut, Ö. (2004) “Teras Kat Döşemelerinin Isıl Davranışı Üzerine İklim Şartlarının Ve Yalıtım Sistemlerinin Etkisi”, Dizayn Konstrüksiyon Dergisi, Sayı: 225, sayfa:68-83
4. Anonim (1996) Simple Solution to Part L (New 1995 Building Regulations for England and Wales)”, Eurisol,UK.
5. Kony, J., Kossecka, E. (2002) Multi-dimensionl Heat Transfer Through Complex Building Envelope Assemblies in Hourly Energy Simulation Programs, Energy and Buildings, Volume 34, Issue 5, pp. 445-454.
6. Höppe, P., Martinac, I., (1998) “Indoor Climate and Air Quality: Review of Current and Future Topics in The Field of ISB Study Group 10”, International Journal of Biometeorology, Vol:42, Number:1, Page: 1-7, Publisher: Springer – Verlag GmbH.
7. Anonim (1998) “TS 824 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
8. Akgün, G., Dilmaç, Ş., (2005) Isı Köprüsü Problemlerinde Kullanılan Matematik Modellerin Karşılaştırılması”, İTÜ dergisi-Seri D: Mühendislik (baskıda)
9. Brown, W.P. Wilson, A.G. (1963) CBD-44 Thermal Bridges in Buildings, Canadian Building Digest, www.nrc.ca/irc/cbd/44e.html.
10. Alamut, Ö., Dilmaç, Ş. (2004) Çift Duvar arası Isı Yalıtım Uygulamaları ve Çözüm Önerileri, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, İstanbul.
11. Dilmaç, Ş., Can, A. ve Şenkal Sezer, F. (2004) Ara Kat Kirişli Döşemelerinde İçerden ve Dışardan Yalıtım Uygulamalarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği, Sayı 80, s. 7-20, İstanbul.
12. Dilmaç, Ş., Can, A. ve Kartal, S. (2004) “Ara Kat Döşemelerinin Isıl Davranışı Üzerine İklim Şartlarının Ve Yalıtım Sistemlerinin Etkisi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 82, Temmuz-Ağustos 2004, 49-65.