DÜMF Mühendislik Dergisi

web: http://dergipark.gov.tr/dumf

Bina dış duvarlarının termofiziksel özelliklerinin ısı kazancına olan etkilerinin incelenmesi

Murtaza YILDIRIM
Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 27310 Gaziantep
ORCID: 0000-0002-8610-4649

Hasan OKTAY
Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 72100 Batman
ORCID: 0000-0002-0917-7844

Recep YUMRUTAŞ*
Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 27310 Gaziantep
yumrutas@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0001-9006-198X , Tel: (342) 317 25 20

Geliş: 12.12.2017, Kabul Tarihi: 10.05.2018

Öz

Binaların ısıtılması ve soğutulması için tüketilen enerjinin artmasıyla, ısıl performansı yüksek olan bina malzemelerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Isıl performans ise direk olarak malzemelerin termofiziksel özellikleri ile değişim göstermektedir. Her ne kadar literatürde her bir termofiziksel özelliğin ısıl performansa olan etkisi incelense de, bu özelliklerin birbiri arasındaki ilişkileri göz ardı edilerek sabit kabul edilmektedir. Halbuki gerçekte bu özellikler birbirleriyle değişmektedir.

Bu amaca yönelik olarak; her bir termofiziksel özelliğin arasındaki ilişki deneysel yöntemle bulunarak, bu özelliklerin ısıl kazancına olan etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Bu yüzden 102 beton duvar numunesi üretilmiş, bu numunelerin termofiziksel özellikleri ASTM ve EN standartlarına göre ölçülmüş ve birbirleri arasındaki ilişkiler denklemlerle tanımlanmıştır. Bina yapılarının termofiziksel özelliklerinin ısıl performanslarına olan etkisini incelemek amacıyla, yapıların ısı kazanç değerleri Kompleks Sonlu Fourier Dönüşümü (CFFT) tekniğinin ısı transfer problemine uygulanmasıyla hesaplanmıştır. Daha sonra MATLAB tabanlı bir bilgisayar programı kullanılarak herhangi bir termofiziksel özelliği belli olan bina duvar veya çatı yapılarının ısı kazançları kolaylıkla hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Bina duvarları, beton, termofiziksel özellikler, ısı kazancı, Kompleks Sonlu Fourier Dönüşümü.*

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI:

Giriş

Günümüzde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı binaların ısıtılması ve soğutulması için tüketilmektedir. Bu yüzden enerjinin verimli bir şekilde kullanılması önem arz etmektedir. Çünkü enerjinin verimli kullanılması; hem enerji israfını, hem enerji giderlerini, hem de çevre kirliliğini azaltacaktır. Bir binanın ısıtma sisteminin seçimi soğutma sisteminin seçiminden oldukça kolaydır. Çünkü ısıtma sisteminin seçiminde güneş enerjisinin etkisi dikkate alınmamaktadır. Soğutma sisteminin seçiminde ise güneş enerjisi oldukça etkilidir ve dikkate alınması gerekir. Güneş ışınımı zamanla sürekli olarak değiştiğinden dolayı soğutma yükünün hesaplanması oldukça karmaşık ve zaman alıcı görülmektedir. Aynı zamanda soğutma yükünü oluşturan bileşenler de fazladır. Bu bileşenler; duvar ve tavandan gelen ısı kazancı, kapı ve pencerelerden, hava sızıntılarından, aydınlatma ve diğer elektrikli cihazlardan, insanlardan gelen ısı kazanımları olarak sayılabilir (ASHRAE, 1993; Mc Quiston ve ark., 1994; Mc Quiston ve ark., 1992; Threlkeld,1998). Bu bileşenlerden duvar ve tavandan gelen ısı kazançları soğutma yükünün en büyük kısmını oluşturmaktadır. Diğer bileşenler oran olarak daha az olup, bilinen yöntemlerle hesaplanmaktadır. Duvar ve tavandan gelen ısı kazançları ise büyük oranda yapının kendi termofiziksel özellikleri olan yoğunluk, ısıl iletkenlik, kalınlık, özgül ısı ve ısıl yayınım değerlerine bağlıdır (Moosavi ve ark., 2014). Bu özellikler ise yapıların mikro yapılarına, mineralojik bileşimlerine, oranlarına, içerdiği malzemelere, nem içeriğine ve boşluk yapısına bağlıdır (Khan, 2002). Bu yüzden uygun termofiziksel özelliklere sahip bina malzemelerinin kullanılması, ayrıca binaların ısıtılması ve soğutulmasında kullanılan ısıtma ve soğutma sistemlerinin kapasitelerinin doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir.

Literatürde, binalarda kullanılan farklı duvar malzemelerinin termofiziksel özelliklerinin incelenmesi, bu özelliklerin ısı geçişi üzerinde etkisinin araştırılması konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Dilmaç ve Eğrican (1994) konutlarda ısıl konforun sağlanması amacıyla farklı malzemelerden oluşan duvar tiplerinin termofiziksel özelliklerinin, faz kayması ve sönüm oranı ile ısı depolama özelliklerinin üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bununla birlikte, Eğrican ve Onbaşıoğlu (1993) dört farklı malzemeden oluşan homojen yapıdaki duvar tipleri için, en yüksek ısı depolama kapasitesini sağlayacak duvar kalınlıklarını araştırmışlardır. Çalışmada duvar yüzeyine gelen güneş ışınımının sinüzoidal değişim gösterdiği varsayılmıştır. Bunun yanında her bir duvar tipi için zaman ve kalınlığın fonksiyonu olan sıcaklık ve ısı akısı değişimleri elde edilmiştir. Asan ve Sancaktar (1998) çalışmalarında yapı elemanlarında faz kayması ve sönüm oranı üzerine termofiziksel özelliklerin ve kalınlığın etkilerini incelemişlerdir. Asan (1998) izolasyon kalınlığının ve duvar konumunun, ısı depolama özellikleri üzerine etkilerini sayısal olarak incelemiş ve bu parametrelerin ısıl depolama özellikleri üzerinde çok etkili olduğunu belirtmiştir. Ülgen (2002) güneş ışınımının etkisi altında farklı duvar tiplerinin ısıl tepkilerini teorik ve deneysel olarak araştırmıştır. Zang ve ark., (2006) verilen bir bölgede bir binanın ısıtma ve soğutma kapasitelerinin hesaplanmasında, kışın toplam soğutma derecesi için "I_{win}" ve yazın için toplam ısıtma derecesi olarak "I_{sum}" gibi iki parametre tanımlamışlardır. Çalışmada bu iki parametreye etki eden en uygun termofiziksel özelliklerinin kritik değerleri modellenmiştir.

Yukarıda belirtilen birçok çalışmada genel olarak kullanılan bina malzemelerinin termofiziksel özellikleri sabit olarak alınmakta, aralarındaki ilişkiler ise dikkate alınıp irdelenmemektedir. Fakat malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi konusunda yapılan birçok çalışmada bu özelliklerin aralarında direkt olarak bir ilişki olduğu ortaya konulmakta, bu durumda ise yapıların ısıl performanslarının incelenmesinde yanlış tanımlamalar yapılmaktadır (Oktay, 2015; Unal, 2007; Canakci, 2007; ACI Committee 122, 2002).

Üretilen 102 beton duvar numunesinin termofiziksel özellikleri ASTM ve EN standartlarına göre tespit edilmiş ve aralarındaki ilişkiler matematiksel olarak ifade edilmiştir. Bu ilişkiler kullanılarak termofiziksel özelliklerin bina yapılarının ısı kazancına ve ısıl performanslarına olan etkisini incelemek için, geçici rejim ısı transferi probleminin çözümü MATLAB tabanlı bir bilgisayar programında hazırlanmıştır. Dış duvarlar için ısı transferi problemi kompleks sonlu Fourier dönüşümü (Complex Finite Fourier Transform, CFFT) tekniği uygulanarak çözülmüş ve çözüm kullanılarak yapıların ısı geçişi değerleri hesaplanmıştır.

Problemin Formülasyonu

Bir duvardan geçen ısı; duvarı oluşturan katmanların kalınlıkları, termofiziksel özellikler, duvarın iç ve dış ortam sıcaklıkları ile ısı taşınım katsayıları, duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile duvarın dış yüzeyine gelen güneş ışınımlarının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Eğer duvarın iç yüzey sıcaklığı bilinirse, duvar iç yüzeyinden odaya ısı geçişi ısı taşınım katsayısı ve oda sıcaklığı kullanılarak hesaplanabilir. Bu yüzden, bu kısımda duvar iç yüzey sıcaklığını ve dolayısı ile ısı kazanım değerlerini hesaplayabilmek için analitik bir çözüm yöntemi sunulmaktadır. Sunulan yöntemin ilk bölümünde çok katmanlı duvar için periyodik geçici ısı transfer probleminin çözümü ana hatları ile verilmektedir. Bu çözümle duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları saatlik olarak bulunacaktır. İkinci bölümde yatay yüzeye gelen saatlik güneş ışınım akısı kullanılarak istenen duvar yüzeyine düşen saatlik güneş ışınımı değerleri hesaplanmaktadır. Dış duvarlardan gelen ısı kazancı değerlerinin elde edilmesi ise son bölümde verilmiştir.

Isı Transferi Probleminin Tanımı ve Çözümü

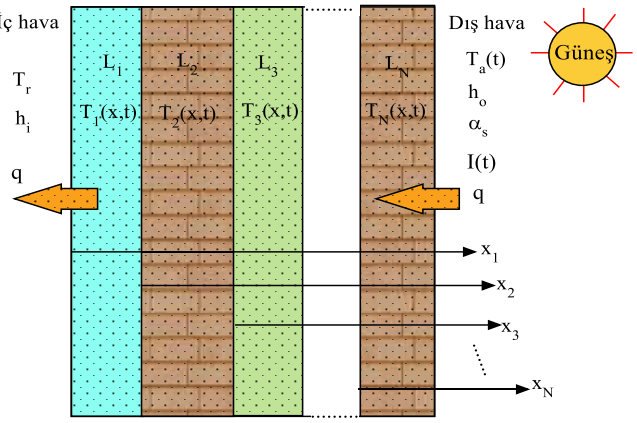
Bu bölümde, duvarlar için periyodik geçici rejimde ısı transferi probleminin analitik çözümü verilmektedir. Duvarlar L_n kalınlığında, n katmandan oluşan çok katmanlı yapılardır. Çok katmanlı duvar yapılarının şematik olarak gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Problem çözümünde duvardan geçen ısı akısının tek yönlü ve zamanla bağlı olarak değiştiği esas alınmıştır. Bununla birlikte aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

a) Her bir duvar katmanın homojen olduğu ve duvar malzemelerinin ısıl özelliklerinin sıcaklığa bağlı olmayarak sabit olduğu varsayılmıştır.

b) Katmanlar arasında herhangi bir temas direnci olmadığı varsayılmıştır.

c) Her bir katmanda içerisinde ısı üretimi olmadığı varsayılmıştır.

d) Duvar iç ve dış yüzey birleşik ısı transfer katsayıları sabit alınmıştır.



Şekil 1. Çok katmanlı bina duvarlarının şematik gösterimi.

Bu varsayımlar dahilinde farklı katmanlardaki duvarlardan gelen ısı kazancı, duvar iç yüzey sıcaklığının elde edilmesiyle tespit edilebilir. Bunun için öncelikli olarak geçici rejimde ısı transfer probleminin çözülmesi gerekmektedir. Geçici rejimde zamana bağlı ısı transferi problemi, kısmi diferansiyel denklem, sınır ve periyodik şartlarla aşağıdaki denklemler ile ifade edilmiştir.

$$\frac{\partial^2 T_n}{\partial x_n^2} = \frac{1}{a_n}\frac{\partial T_n}{\partial t} \qquad 1 \le n \le N \qquad (1)$$

$$h_i(T_r - T_1) = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x_1} \qquad x_1 = 0\text{'de} \qquad (2)$$

$$-\lambda_{n-1}\frac{\partial T_{n-1}}{\partial x_{n-1}}(x_{n-1}=L_{n-1})=-\lambda_n\frac{\partial T_n}{\partial x_n}(x_n=0) \qquad 2\le n\le N \qquad (3)$$

$$T(x_{n-1}=L_{n-1})=T(x_n=0) \qquad 2\le n\le N \text{ için} \qquad (4)$$

$$-\lambda_N\frac{\partial T_N}{\partial x_N}=h_o\left[T_N-T_e(t)\right] \qquad x_N=L_N\text{'de} \qquad (5)$$

$$T_e(t)=T_o(t)+\frac{\alpha_s I_t(t)}{h_o}-\frac{\varepsilon\Delta R}{h_o} \qquad x_N=L_N\text{'de} \qquad (6)$$

Eşitlik (6)'da, T_e *ve* T_o ise sırasıyla saatlik güneş-hava ve dış hava sıcaklıklarını, I_T ise güneş ışınımı akısını göstermektedir. ΔR ise bir yüzeyden gökyüzü ve çevresine yansıyan uzun dalga ışınımı ile bir kara cisim tarafından dış hava sıcaklığında yayılan ışınım arasındaki farktır. Yatay düzlemlerde bu değer 63 W/m^2 iken, dikey yüzeylerde pratikte sıfır olarak kabul edilmektedir (ASHRAE, 1993).

Eşitlik(1)-(6) denklemler öncelikli olarak boyutsuz değişkenlere dönüştürülmüş ve $T_n(x_{n,t})=T_n(x_{n,t+m})$ periyodik şartını sağlayan geçici problemin boyutsuz formülasyonuna kompleks sonlu Fourier (CFFT) dönüşümü uygulanmıştır. Problemin çözümü aşağıdaki denklemlerle verilmiş olup, ayrıntılı çözümü ise kaynakçada (Yumrutaş ve ark., 2005) bulunmaktadır. Denklem (1)-(6)'deki verilen çözümler CFFT'nin ters dönüşümü olarak yerine yazıldıktan sonra duvar içerisindeki saatlik sıcaklık dağılımı elde edilmiştir.

$$T_n(z_n,\tau)=\sum_{j=-M}^{M}T_{nj}(z_n)\,e^{i\omega_j\tau} \qquad \omega_j=2\pi j \qquad (7)$$

Burada *M* terim sayısı ve büyük bir sayı olup, genellikle 60 alındığında yeterli olmakta ve daha fazla terim sayısı sonucu etkilememektedir. Son olarak herhangi bir duvar veya düz tavandan gelen ısı kazancı; duvar iç sıcaklığı, $T_n(0,\tau)$, oda sıcaklığı, T_r ve bileşik iç taşınım katsayısına bağlı olarak,

$$q=h_i\left[T_n(0,\tau)-T_r\right] \qquad z_n=0 \text{ için} \qquad (8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Dış Duvar Yüzeyine Gelen Saatlik Güneş Işınımı

Soğutma mevsiminde güneş ışınımından kaynaklanan ısı kazancı binalarda ısıl konforun sağlanmasında çok etkili bir parametredir. Bu yüzden, bir duvardan gelen ısı kazancını hesaplarken güneşten kaynaklı ışınım değerlerini hesaplamak için uygun denklemler kullanılmalıdır. Bu nedenle, duvar yüzeyine düşen saatlik toplam güneş ışınımı, I_T değerlerini hesaplamak için Gaziantep'teki yerel meteoroloji istasyonu tarafından ölçülen yatay yüzeye gelen saatlik güneş ışınım değerleri kullanılmıştır. Duvar yüzeyine gelen saatlik toplam güneş ışınımı I_T; doğrusal ışınım I_{bT}, yaygın ışınımı I_{dT} ve yansıtılan ışınımın I_{rT}, toplamından oluşur.

$$I_T(t)=I_{bT}(t)+I_{dT}(t)+I_{rT}(t) \qquad (9)$$

Aynı zamanda bu denklem Duffie ve Beckman (1991)'de aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$I_T(t)=I_b(t)R_b+I_d(t)\frac{1+\cos\beta}{2}+\rho_g I(t)\frac{1-\cos\beta}{2} \qquad (10)$$

Bu formüldeki ρ_g toprağın yansıma katsayısı olup, 0.2 olarak alınmıştır. R_b doğrudan güneş ışınımı eğim faktörü olup, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Duffie ve ark., 1991):

$$R_b=\frac{\cos\theta_z\cos\beta+\sin\theta_z\sin\beta\cos(\gamma_s-\gamma)}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega+\sin\phi\sin\delta} \qquad (11)$$

Deneysel Çalışma

Bir önceki çalışmada (Oktay ve ark., 2015) farklı beton duvar tipleri üzerinde deneysel araştırmalar ve testler yapılarak, malzemelerin termofiziksel özellikleri arasındaki ilişikler ifade edilmiştir. Bu amaçla farklı karışım oranlarında (%10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında hafif agrega ve katkı maddesi kullanılarak) toplamda 102 adet olmak üzere normal beton (NB), hava sürüklenmiş beton (HSB), pomza betonu (PB), genleşmiş perlit betonu (GPB) ve lastik betonu (LB) üretilmiş ve

malzemelerin termofiziksel ve mekanik özellikleri ASTM ve EN standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Üretilen numunelerin özelliklerinin aralığı çok geniş olup hem yapısal hem de hafif uygulamalardaki kullanılan malzemelerin özelliklerini kapsamaktadır. Malzemelerin kimyasal ve fiziksel özelikleri, yapıların hazırlanması ve uygulanan test yöntemleri kaynak (Oktay ve ark., 2015) 'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Malzemelerin deney sonuçlarından elde edilen yoğunluk, özgül ısı, ısıl iletkenlik ve yayınım katsayıları Tablo 1'de verilmiştir.
.

Tablo 1. Üretilen duvar beton numunelerinin termofiziksel özellikleri*

Beton duvar tipi	Yoğunluk, ρ (kg/m^3)	Isıl iletkenlik, λ (W/m K)	Özgül ısı, c (J/kg K)	Isıl kapasite, C (kJ/m^2 K)	Isıl yayınım, a (mm^2/s)
NC	2345.09	1.96	709.07	1662.83	1.18
AEC	2288.86	1.91	712.14	1630.00	1.17
EPC10	2139.09	1.51	725.48	1551.87	0.97
EPC20	1885.52	1.22	779.63	1470.01	0.83
EPC30	1559.44	0.70	865.69	1350.00	0.52
EPC40	1376.56	0.50	922.59	1270.00	0.40
EPC50	1168.63	0.36	966.95	1130.00	0.32
PC10	2005.34	1.54	772.42	1548.96	0.99
PC20	1851.02	1.29	818.52	1515.11	0.85
PC30	1559.95	0.76	903.87	1410.00	0.54
PC40	1400.72	0.54	949.51	1330.00	0.41
PC50	1329.97	0.41	991.80	1319.06	0.31
RC10	2244.30	1.72	721.83	1620.00	1.06
RC20	2148.07	1.44	737.70	1584.62	0.91
RC30	2033.93	1.22	761.20	1548.22	0.79
RC40	1874.62	0.89	808.93	1516.44	0.58
RC50	1644.98	0.62	868.16	1428.11	0.43

*Bu değerler her bir testte beş numunenin ortalaması alınarak elde edilmiştir

Daha sonra malzemelerin termofiziksel özellikleri arasındaki ilişiklerin tespit edilmesi için testlerden elde edilen sonuçlar çok yönlü regresyon analizine tabi tutulmuş ve her bir termofiziksel özellik yoğunluğa bağlı olarak aşağıdaki ifadelerde gösterilmiştir:

$$\lambda = 0.0676e^{0.0015\rho} \quad (12)$$

$$c = 1427.1e^{-0.0003\rho} \quad (13)$$

$$a = 0.0757e^{0.0012\rho} \quad (14)$$

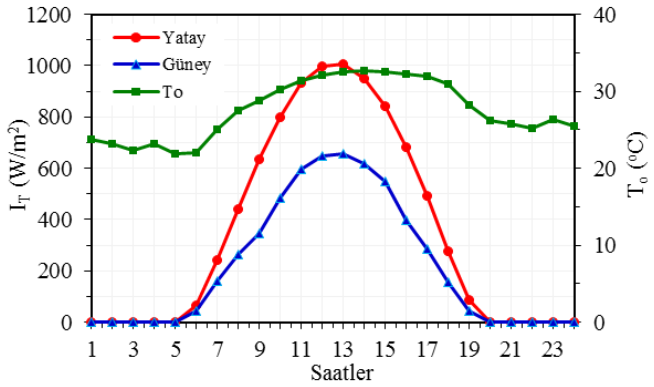
Elde edilen varyasyonlar daha önceki çalışmalarda farklı bina malzemelerinden elde edilen varyasyonlar ile büyük oranda uyuşmaktadır (Unal, 2007; Canakci, 2007; ACI Committee 122, 2002). Sonuç olarak deneysel çalışmalar, her bir termofiziksel özelliğin birbirine bağlı olduğu ve ısıl performans hesaplamalarında özelliklerin birbirinden bağımsız olarak kullanılmaması gerektiğini ortaya koymuştur.

Hesaplama Yöntemi

Bu çalışmada bina duvarlarının ısı kazancı, iç ve dış duvar yüzeyi sıcaklık değerlerinin sayısal hesaplamalarını yapmak için MATLAB bilgisayar programı kullanılmıştır. Bazı parametreler bu programa giriş parametreleri olarak kullanılmaktadır. Bu parametreler; meteoroloji istasyonlarından alınmış yatay bir yüzeye ait saatlik ışınım ölçümleri, kalınlık, yoğunluk, özgül ısı, ısıl iletkenlik ve yayınım katsayıları, iç ve dış ortam ile duvar yüzeyleri arasındaki birleşik ısı taşınım katsayıları, saatlik

dış hava sıcaklığı ve iç tasarım hava sıcaklığıdır. Programda ilk olarak, yüzeylere gelen güneş ışınımı eşitlik (10) ve (11)'den hesaplanmıştır. Daha sonra duvar iç yüzey sıcaklık ve ısı kazancı eşitlik (7) ve (8)'deki periyodik çözümden hesaplanmıştır.

İklim verileri ısı kazancı hesaplamalarında en önemli etkenlerden biridir. Bu nedenle, tasarım koşulları ve iklimsel verilerin bilinmesi gerekir. Oda tasarım sıcaklığı 24 ºC olarak alınmıştır. İç ve dış yüzeylerdeki birleşik ısı transfer katsayıları sırasıyla 8.3 ve 17 W/m^2 olarak alınmıştır. Saatlik dış hava sıcaklıkları ile yatay yüzeye gelen güneş ışınımı değerleri 10 yıl boyunca (2003-2013) Gaziantep Meteoroloji istasyonu (enlem: 37.04 ˚K, boylam: 37.31ºD) tarafından 21 Temmuz'da ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlerin ortalamaları alınarak, Şekil 2'de gösterildiği gibi güney ve yatay duvar yüzeyine düşen güneş ışınımları hesaplanmıştır. Güney yönüne bakan duvarlar güneş ışınımını gün boyu aldığından, bu yöne bakan duvarların hesaplamalarda kullanılması en fazla ısı kazancına maruz kalmasından dolayıdır. Ayrıca duvar renklerinin güneş ışınımının yutulması üzerinde önemli ölçüde etkileri vardır. En fazla ısı kazancı koyu renkli duvarlarda meydana gelmektedir. Duvarlardan gelen ısı kazancının etkisini daha detaylı incelemek amacıyla bu çalışmada duvarlar koyu renkli olarak düşünülmüş ve duvarın yutma katsayısı literatürde (ASHRAE, 1993) verildiği gibi 0.884 olarak alınmıştır.

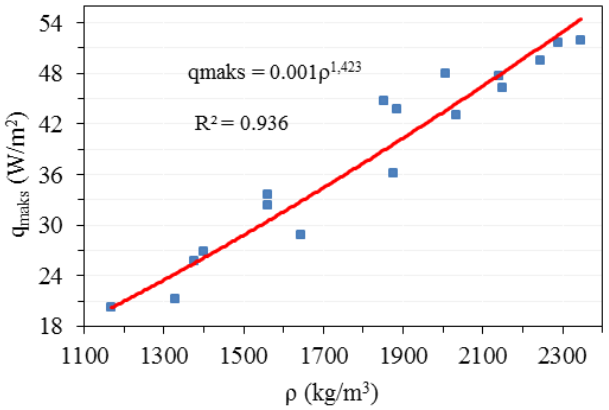


Şekil 2. Yatay ve güney yüzeye bakan duvarlara gelen güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığı

Sonuçlar ve Tartışma

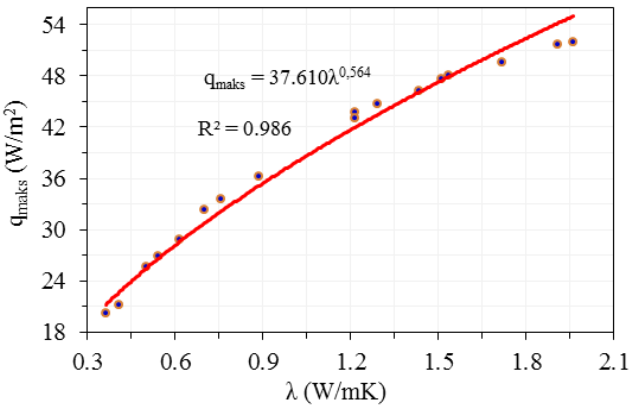
Bu çalışmada, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen duvar malzemelerinin termofiziksel özelliklerinin arasındaki ilişkiler kullanarak, her bir özelliğin duvarlardan gelen ısıl kazancına olan etkisi incelenmiştir. Analizlerde genel olarak üç katmanlı 24 cm kalınlığındaki (2 cm sıva + 20 cm duvar + 2 cm sıva) güney yönüne dönük duvarlar kullanılmıştır. Hesaplamalarda her bir duvarın termofiziksel özelliklerine karşılık gelen 24 saatlik ısı kazancı değerleri elde edilerek, her bir duvar özelliği için en yüksek ısı kazancı esas alınmıştır. Bunun nedeni ise, klima kapasite seçimlerinin en yüksek ısı kazancı hesaplamalarına göre yapılmasındandır.

Şekil 3'te güneye dönük duvarlar için yoğunluğun ısı kazancına olan etkisi gösterilmiştir. Bu şekilde yoğunluk ve ısı kazancı arasında doğrudan bir ilişki (R^2=0.936) olduğu ispat edilmiştir. Yoğunluk arttıkça ısı kazancı artmış ve yoğunluk azaldıkça ısı kazancında düşüş meydana gelmiştir. Bu durum eşitlik (12)- (14)'de belirtildiği gibi yoğunluğun artması ile ısıl iletkenlik ve ısıl yayınımın artmasından kaynaklanmaktadır. Buradan yoğunluğun ısı kazancı üzerinde baskın bir etkiye sahip olduğu çıkarılabilmektedir. Sonuçlar göstermiştir ki seçilen tiplerdeki duvar malzemelerinin yoğunluğundaki % 50.17'lik artış maksimum ısıl kazancı değerlerinde % 60.93'lük bir artışa sebebiyet vermiştir. Buna ek olarak, yoğunluk testi gibi basit, kolay ve hızlı bir yöntem yardımı ile tayin edilen bir duvar malzemesinin yoğunluğu bulunduğunda bu tip duvarlara ait ısı kazancı Şekil 3'teki denklem kullanılarak kolayca hesaplanabilmektedir.



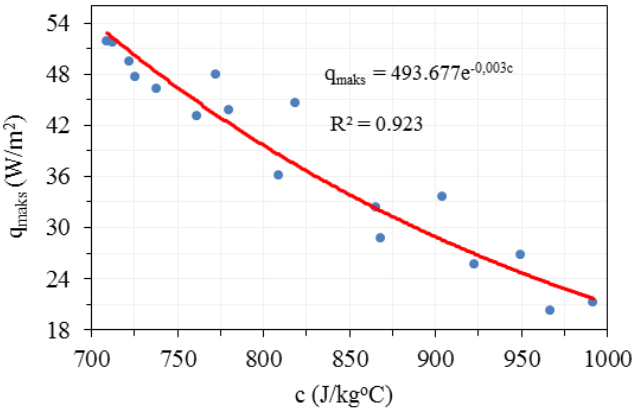
Şekil 3. Yoğunluğun ısı kazancına etkisi

Seçilen duvar tipi için malzemelerin ısıl iletkenlik-en yüksek ısı kazancı değişimleri, yoğunluk-ısı kazancı değişimi ile benzerlik göstermektedir. Şekil 4'ten görüldüğü gibi duvar numunelerinin ısıl iletkenlik katsayısı ile en yüksek ısı kazancı arasındaki ilişki üstel bir fonksiyon ($q_{maks}=37.610\lambda^{0.564}$) olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak, ısıl iletkenlik katsayısı duvardan geçen ısı kazancına güçlü bir etki etmekte ve ısıl iletkenlik arttıkça duvardan gelen ısı kazancı artmaktadır. Isıl iletkenlik değerleri 0.363-1.96 W/mK arasında değiştiğinde, maksimum ısı kazancı da 20.273 ila 51.884 W/m^2 arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu şekilden de görüldüğü üzere bir malzemenin ısıl iletkenliği bilindiğinde ısı kazancının bu şekilden okunmaktadır. Bu çalışmanın böyle bir faydası bulunmaktadır.



Şekil 4. Isıl iletkenliğin ısı kazancına etkisi

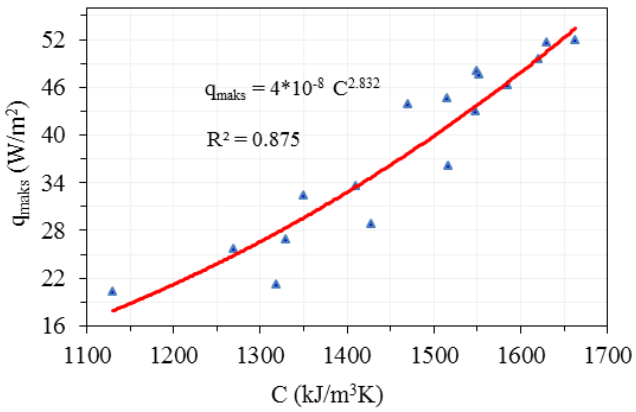
Özgül ısı, artan sıcaklık değişimlerinde bir malzemenin bu değişimlere karşı göstermiş olduğu ısıl özelliğidir. Özgül ısısı yüksek yapıların sıcaklık stabilizesi de yüksektir. Daha önceki çalışmamızdan (Oktay ve ark., 2015) ve eşitlik (13)'te gösterildiği gibi özgül ısı malzemenin yoğunluğu ile ters orantılıdır. Şekil 5'te özgül ısı ile en yüksek ısı kazancı arasında üstel bir ilişki olduğu görülmüştür. Bir duvar malzemesinin özgül ısı değeri arttıkça ısı kazancı değerleri azalmaktadır. Böylelikle daha önce yapılan tanımlamaya uygun olarak yapının sıcaklık stabilizesinin de arttığı görülmüştür. Buradan anlaşılacağı gibi bir yapının özgül ısısı ne kadar yüksek olursa, dışarıdan gelen ısı enerjisi bina yapıları tarafından yutularak sabit iç duvar sıcaklığına ulaşmaktadır. Bu durum ise çok büyük ölçüde enerji sarfiyatını azaltmaktadır. Şekil 5'ten de görüldüğü gibi, özgül ısıda % 39.87'lik artış en yüksek ısı kazancında %60.93'lük bir azalmaya neden olmuştur. Binalarda yüksek özgül ısıya sahip malzemelerin kullanılmasıyla klima boyutu ve maliyeti ile birlikte enerji kaybı ve ısıtma-soğutma işletme giderleri azalacak, Ülkemiz ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır.



Şekil 5. Özgül ısının ısı kazancına etkisi

$$C = \frac{m}{A}c = \rho cL \qquad (15)$$

Pratikte, bina duvar ve tavan yapılarında ısı kapasitesi *C*, yukarıdaki eşitlikten anlaşılacağı gibi duvar yapısının kütle/alan oranının (kg/m^2) özgül ısı *c* (kJ/kg. K) ile hesaplanmaktadır (ACI Committee 122, 2002). Daha kolay bir yoldan ısı kapasitesi (kJ/m^2.K,) birim kalınlıktaki malzemelerin yoğunluğu ile özgül ısısının çarpımına eşittir.

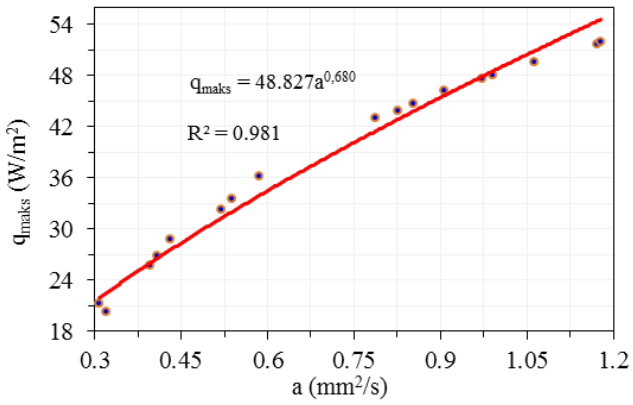


Şekil 6. Isı kapasitesinin ısı kazancına etkisi

Şekil 6'da 24 cm'lik duvarlarda, duvar ısı kapasitesinin duvardan gelen en yüksek ısı kazancı arasındaki ilişki verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi, yoğunluk, ısıl iletkenlik gibi verilen diğer özellikler arasındaki ilişkilerden daha zayıftır (R^2=0.875). Zang ve ark. (Zhang, 2006) ile Jin ve ark. (Jin ve ark., 2012) 'nın yaptığı çalışmalarda; malzemelerin ısı kapasitesinin artması ile ısı kazancı değerlerin azaldığı ve hatta büyük ısı kapasite değerlerinde ısı kazancı değerlerinin sabit kaldığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar her ne kadar teorik olarak doğru görünse de gerçek sonuçlar değildir.

Oktay ve ark. (2015) ve diğer çalışmalarda gösterildiği gibi özgül ısı ile yoğunluk arasında ters orantı mevcuttur. Tablo 1 incelendiğinde malzemelerin yoğunluğunun artması özgül ısının azalmasına sebebiyet vermesine rağmen ısı kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir. Bu sonuç bize yoğunluktaki artışın özgül ısıdaki azalma oranından daha yüksek olduğunu göstermiştir. Buradan da duvar malzemelerinin yoğunluğunun artması ısı iletkenlik katsayısının artmasına sebebiyet verdiği açıktır. Bu yüzden ısı kapasitesi ve ısı kazancı ilişkileri diğer özelliklere bakıldığında daha zayıf bir parametre olduğu görülmüştür. Örnek olarak, metaller yüksek yoğunluklarından dolayı ısı kapasiteleri yüksek, izolasyon malzemelerinin ise düşük yoğunluklarında dolayı ısı kapasiteleri çok düşüktür.

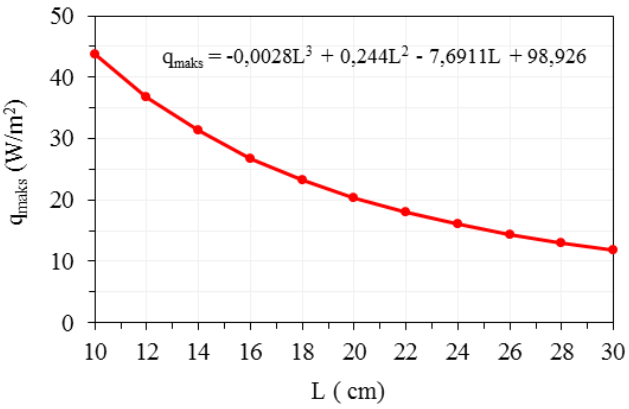
Isıl yayınım katsayısı fiziksel bir özelliktir. Yüksek ısıl yayınım katsayısına sahip olan malzemeler sıcaklık değişimlerine hızlı tepki vermekte, düşük ısıl yayınım özelliğine sahip olan malzemeler ise sıcaklık değişimlerine çok yavaş tepki vermektedirler (ACI Committee 122, 2002). Eşitlik (14)'te ısıl yayınım ile yoğunluk arasındaki ilişki verilmiştir. Bu ifadeden ısıl yayınımın yoğunluk ile doğru orantılı olarak önemli bir özellik olduğu görülmektedir. Aynı zamanda ısıl iletkenlik ile yoğunluk doğru orantılı olduğunda, ısıl yayınım ile ısıl iletkenlik arasında da doğru bir orantı olduğu buradan çıkarılmaktadır. Fakat bu durum bazı malzemeler için istisnadır. Düşük ısıl iletkenlik katsayısına sahip izolasyon malzemelerinden olan köpüklerin düşük yoğunluklarından dolayı ısı kapasitelerinin de diğer malzemelere nazaran daha düşüktür. Buda izolasyon malzemelerinin ısıl yayınım katsayılarını da diğer malzemelere nazaran yüksek olmasına sebebiyet vermiştir. Bu yüzden bina yapılarında kullanılacak olan malzemelerin yoğunluklarının çok düşük olması düşük enerji depolama özelliklerine sahip olmalarına sebebiyet vereceğinden, enerji korunumu bakımından çok istenmeyen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Binalarda düşük ısıl yayınım özelliklerine sahip beton duvar malzemelerinin kullanılması bu enerji tüketiminin önüne geçecektir. Beton duvarların ısıl yayınımlarının ısı kazancına olan etkisi Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Isıl yayınım katsayısı ile ısı kazancının değişimi

Bu şekilden görüldüğü gibi, ısıl yayınım katsayısı arttıkça ısı kazancı miktarı da üstel bir fonksiyonla ($q_{maks}=48.827a^{0.680}$) artmıştır. Sonuçlar; ısı kapasite ve ısıl iletkenliğin bir fonksiyonu olan ısıl yayınım katsayısının çok önemli bir parametre olduğunu, duvar yüzeyinden gelen ısı kazancını ve dolayısı ile duvar sıcaklığını kontrol ettiği ispatlanmıştır. Sonuç olarak, belirtilen duvar tiplerinde, ısıl yayınım katsayısında % 73.87'lik artış ısı kazancında % 59.10'luk artışa neden olmuştur.

Şekil 8'de aynı termofiziksel özelliklere sahip olan duvarlardaki kalınlığın ısı kazancına etkisi gösterilmiştir. Bu durum eşitlik (15)'te verildiği gibi, duvar kalınlığının artmasının malzemenin ısıl kapasitesini arttırdığı sonucuna kolaylıkla ulaşılmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi, kalınlık arttıkça ısı kazancında düzgün bir azalma meydana gelmektedir. Hatta duvar kalınlığı arttığında ısı kazancı sıfıra yaklaşmaktadır. Sonuçlar göstermiştir ki seçilen duvar tiplerinde kalınlığın 10 cm'den 30 cm'ye yükselmesi durumunda maksimum ısı kazancında yaklaşık % 72.70'lik bir düşüşe neden olmaktadır. Bu durum özellikle ağır yapıların yüksek ısı kapasitelerinden dolayı yüksek hava sıcaklıklarında bu yapıların ısıyı hapsetmesi yapının sürekli serin kalmasını sağlamaktadır (Gagliano, 2014). Fakat pratik uygulamalarda, özellikle düşük maliyetin korunduğu konutlarda bu durum pek tercih edilebilir strateji değildir. Çünkü bu yapıların kalınlıklarının belirli limitlerde olması gerekmektedir. Diğer yandan ülkemizin büyük çoğunluğunun deprem riski taşıyan bölgelerde bulunması göz önüne alındığında, yapıların ağırlıklarının yapıya etkiyen deprem yükünü arttıracak ve dolayısı ile olası depremlerdeki yapı hasarları da meydana gelmesine sebep olacaktır.



Şekil 8. Duvar kalınlığının ısı kazancı ile değişimi

Sonuçlar

Bu çalışmada, termofiziksel özelliklerin birbirleriyle ilişkilerini dikkate alarak, yapıların ısıl performanslarına olan etkisini incelemek amacıyla, önceki çalışmalarımızda verilen ısı transfer probleminin çözümü üzerine MATLAB tabanlı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu programla Gaziantep'in yaz klimatik şartları kullanılarak yapıların ısı kazancı değerleri hesaplanmıştır. Böylece duvar malzemelerinin gerçek termofiziksel özelliklerinin ısı kazancı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen en önemli bulgular ise aşağıda özetlenmiştir.

1. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürde yapılmış olan birçok çalışmanın gerçekçi olmadığını ispatlamıştır. Literatürdeki çalışmalarda malzemelerin termofiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler ihmal edilmiştir.

2. Bu çalışmanın en yenilikçi tarafı, çalışma sayesinde herhangi bir termofiziksel özelliği belli olan duvar yapılarının ısı kazançları kolaylıkla bulunabilmektedir.

3. Elde edilen sonuçlar ışığında yoğunluk, ısıl iletkenlik, özgül ısı ve ısıl yayınım katsayısının termofiziksel özellikler arasında baskın bir yeri olduğu, ısıl kapasitenin ise bunlara göre daha zayıf kaldığı ispat edilmiştir. Duvar malzemelerinin yoğunluk, ısıl iletkenlik ve ısıl yayınım değerleri arttıkça duvarlardan gelen ısı kazanç değerleri artmış, özgül ısının artması ise ısı kazancını azaltmıştır.

4. Bina yapılarının ısıl kapasitenin artması literatürde belirtildiği gibi yapının ısıl performansını tek başına arttırmamaktadır.

5. Malzemelerin kalınlığının ısı kazancı üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olmasına rağmen, pratik uygulamalarda kalınlığın artması pek doğru bir çözüm değildir.

Semboller

a Isı yayınım katsayısı [m^2/s]
c Özgül ısı [kJ/kg K]
C Isıl kapasite [kJ/m^3 K]
h_i İç yüzey ile ortam arasındaki birleşik ısı transfer katsayısı [W/m^2 K]
h_o Dış yüzey ile ortam arasındaki birleşik ısı transfer katsayısı [W/m^2 K]
I_T Güneş ışınımı akısı [W/m^2]
I_{bT} Doğrusal ışınım [W/m^2]
I_{dT} Yaygın ışınım [W/m^2]
I_{rT} Yansıtılan ışınımın [W/m^2]
L Kalınlık [m]
R_b Doğrudan güneş ışınımı eğim faktörü
t Zaman [s]
T_o Dış hava sıcaklığı [°C]
T_e Güneş-hava sıcaklığı [°C]
T_r İç hava dizayn sıcaklığı [°C]

Yunanca Semboller

λ Isıl iletkenlik katsayısı [W/m K]
α_s Güneş ışınımı yutma katsayısı
β Eğim açısı
ρ Yoğunluk [kg/m^3]
ρ_g Yeryüzü yansıma katsayısı
ϕ Enlem açısı
ω Saat açısı
θ_z Zenit açısı
γ Yüzey azimut açısı
γ_s Güneş azimut açısı
δ Sapma açısı
τ Boyutsuz zaman

Kısaltmalar

i İç
j Terim sayısı
n Katman sayısı
N Son katman sayısı
o Dış

Kaynaklar

ACI Committee 122 (2002). Guide to Thermal Properties of Concrete and Masonry Systems, Ame Concr Inst, ISBN 9780870310850.

Asan, H. (1998). Effect of Wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor, Energy and Buildings, 28, 299-305.

Asan, H., Sancaktar, Y.S. (1998). Effects of Wall's thermophysical properties on the time lag and decrement factor, Energy and Buildings, 28, 159-166.

ASHRAE (1993). Handbook-fundamentals, Atlanta: ASHRAE.

Canakci, H., Demirboga, R., Karakoc, B., Sirin, O. (2007). Thermal conductivity of limestone from Gaziantep (Turkey). Building and Environment, 42, 1777–1782.

Dilmaç, Ş., Eğrican, N. (1994). Binalarda ısı konforu amaçlı enerji tüketimi üzerine malzeme seçiminin etkisi, Energy with All Aspects in 21st. Century Symposium, Bildiri Kitapçığı, İstanbul, 674-682.

Duffie, J. A, Beckman, W.A. (1991). Solar engineering of thermal process, Wiley New York.

Eğrican, N., Onbaşıoğlu, H. (1993). Sinüzoidal dış etkiye maruz homojen bir duvarın ısıl analizi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 16, 13-22.

Gagliano, A., Patania, F., Nocera, F., Signorello, C. (2014). Assessment of the dynamic thermal performance of massive buildings, Energy and Buildings, 72. 361–370.

Jin, X., Zhang, X., Cao, Y., Wang, G. (2012). Thermal performance evaluation of the wall using heat flux time lag and decrement factor, Energy and Buildings, 47, 369–374.

Khan, M. I. (2002). Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models, Building and Environment, 37, 607–614.

Mc Quiston, F.C., Parker, J.D. (1994). Heating, ventilating, and air conditioning, 4th ed. New York: Wiley.

McQuistion, F.C., Spitler, J.D. (1992). Cooling and heating load calculation manual, Second Edition, ASHRAE Inc., USA.

Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ghafar, N.A., Ismail, M.A. (2014). Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs,

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 654–670.
Oktay, H., Yumrutas, R., Akpolat, A. (2015). Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate concretes, Construction and Building Materials, 96, 217–25.
Threlkeld, J.L. (1998).Thermal Environmental Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
Ülgen, K. (2002). Experimental and theoretical investigation of effects of wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor. Energy and Buildings, 34, 273-278.
Unal, O., Uygunoglu, T., Yildiz, A. (2007). Investigation of properties of low-strength lightweight concrete for thermal insulation, Building and Environment, 42, 584–590.
Yumrutas, R., Unsal, M., Kanoglu, M. (2005). Periodic solution of transient heat flow through multilayer walls and flat roofs by complex finite Fourier transform technique, Building and Environment, 40, 1117–25.
Zhang, Y., Lin, K., Zhang, Q., Di, H. (2006). Ideal thermophysical properties for free-cooling (or heating) buildings with constant thermal physical property material, Energy and Buildings, 38, 1164–1170.

Investigation on effect of thermophysical properties of building outside walls on heat gain

Extended abstract

The growing of energy consumption of heating and cooling of buildings has led to a demand for improved thermal performances of building materials. Studies in literature indicated that the dynamic thermal characteristics of the building components depend on many factors, such as the outdoor climate condition, building configuration, etc. for a given building locating in a specific region. Many investigations declared that these characteristics strongly depend on the thermophysical properties of the building's layer materials. For building heat transfer, the important thermophysical properties of a building component are thermal conductivity, specific heat, density, thickness and thermal diffusivity. In particular, a high value of specific heat is desirable due to the associated ability to retain heat. Moreover, a low value of thermal conductivity is desirable because of the associated ability to provide thermal insulation.

The thermophysical properties of a building wall or roof material are strongly affected by microstructure, mineralogical composition, proportion, supplementary materials, moisture content, and porosity. Besides, many investigations have indicated that there is a direct relationship among the specific heat, thermal conductivity, and thermal diffusivity of the building materials.

Although many studies have been conducted to investigate the effect of the thermophysical properties of opaque components on their dynamic thermal characteristics, the current practices ignore the relationship between these properties. The experimental study indicates that thermophysical properties depend on each other. Since there have not been conducted any research in literature, there is still lack of information.

In this study, the effect of each thermophysical property on the heat gain through the wall or roof has been investigated by taking account the relationships between these properties. In previous study, 102 new concrete wall samples were produced, and their thermophysical properties were tested in accordance with ASTM and EN standards. Then, multivariate regression analyzes were performed to evaluate possible correlations among the tested properties and expressions among these properties were obtained using the measurement data. Analytical periodic solution obtained by applying Complex Finite Fourier Transform (CFFT) technique has been used for calculation of space heat gain through the walls or roofs by using the expressions obtained from experimental study. Finally, the heat gain values are calculated using both the obtained expressions and the assumptions proposed from the literature, and comparisons have been discussed. Both experimental and theoretical procedures, and also their results are presented in the following sections.

Both experimental and theoretical investigations were carried out to establish the effect of each thermophysical properties on heat gain through building wall. The results show that the assumptions proposed in the literature are not realistic in a significant number of cases: the authors ignored the relationships among the thermophysical properties in the calculations of dynamic thermal characteristics of building components. Thermophysical properties of a wall or roof are very effective in terms of heat transfer of a building wherein each property alone (without considering other properties) is not adequate to characterize the thermal inertia and thermal performance of a building structure.

This result reveals that thermal conductivity and density have a very profound effect on the heat gain where any type of structure with higher thermal conductivity and density has higher heat gain values in a building. On the contrary, the degree of the relationship between heat gain and heat capacity is weaker than the other properties.

Despite the thickness of the wall has superior effect on building heat gain, it is not effective parameter due to limitation of practical applications in passive or residential buildings.

Keywords: *Building walls, concrete, thermophysical properties, heat gain, Complex Finite Fourier Transform, CFFT.*