

Hava sızdırmazlığının konvansiyonel pencerelerin ortalama ısı yalıtım performansındaki rolü

Erdem CÜCE*^{1,2}

¹ Department of Architecture and Built Environment, Faculty of Engineering, University of Nottingham, University Park, NG7 2RD Nottingham, UK

² Bayburt Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 69000 Bayburt, Türkiye

Makale Gönderme Tarihi: 06.06.2016

Makale Kabul Tarihi: 03.08.2016

Öz

Binalarda yapı elemanlarının ısı direnç yeteneklerinin iyileştirilmesi ve yapı elemanlarından gerçekleşen enerji kayıplarında ciddi bir role sahip olan hava sızdırmazlığının maliyet etkin yöntemlerle minimize edilmesi güncel düşük/sıfır karbon bina standartlarının yakalanabilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Bina yapı elemanları arasında pencereler infiltrasyon esaslı ısı kayıplarına hatırı sayılır ölçüde etki ederler. Cam yüzeylerden gerçekleşen infiltrasyon kaynaklı ısı kayıpları özellikle eski pencerelerde ve özensizce gerçekleştirilen montajlarda azımsanmayacak değerlere ulaşabilmektedir. Literatürde hava sızdırmazlığının konvansiyonel pencerelerden olan enerji kayıplarına etkisini belirlemeye yönelik bazı teşebbüsler olmasına rağmen, elde edilen sonuçlar arasında pek çok çelişkiler mevcuttur. Bu yüzden bu çalışmada, hava sızdırmazlığının konvansiyonel hava dolgulu çift camlı pencerelerin ortalama ısı transfer katsayısına (U-değeri) olan etkisi kapsamlı bir deneysel çalışma ile incelenmektedir. Testler Nottingham'da bulunan ve konvansiyonel hava dolgulu çift camlı pencerelerle restore edilmiş karakteristik Birleşik Krallık mimarisine sahip bir konutta gerçekleştirilmektedir. Konuttaki pencerelerden bir tanesi ısı yalıtım testlerine tabi tutulmaktadır. Test penceresinin bir kanadı mükemmel hava sızdırmazlığı temin eden özel saydam bir örtü ile ön yüzeyden kaplanırken, diğer pencere kanadı sıradan durumu temsil edecek şekilde olduğu gibi bırakılmaktadır. Ölçümler Nisan 2016'da yapılmakta ve dinamik co-heating test metodu ile hava sızdırmaz pencere kanadının U-değerindeki iyileşme miktarı değerlendirilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, hava sızdırmazlığı ve saydam örtü ile hava sızdırmaz pencere kanadının iç cam yüzeyi arasında oluşan sera etkisine bağlı olarak özellikle gündüz saatlerinde etkisi belirginleşen ters ısı akıları neticesinde, hava sızdırmaz pencere kanadının ortalama U-değeri sıradan pencere kanadına göre kayda değer ölçüde düşük çıkmaktadır. Sıradan pencere kanadının ortalama U-değeri 2.67 W/m²K iken, hava sızdırmaz pencere kanadının ortalama U-değeri 1.79 W/m²K olarak belirlenmektedir. Buradan hareketle, hava sızdırmazlığı temin edilen konvansiyonel pencerelerde enerji kayıplarının %33 mertebesinde azaltılabileceği sonucuna varılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çift camlı pencereler; hava kaçağı; hava sızdırmazlığı; U-değeri; enerji kazancı.

Giriş

Dünyadaki enerji tüketimi; küresel ölçekte alınan önlemler, mevcut fosil yakıtların sınırlı bir ömre sahip olduğu üzerindeki fikir birliği ve çeşitli çevre odaklı problemlere rağmen düzenli olarak artan bir trende sahiptir (Cuce, 2014; Perez-Lombard vd., 2008). Güncel raporlardan anlaşıldığı üzere binaların kayda değer ölçüde artan küresel enerji tüketimine olan etkisi aşikârdır (Cuce vd., 2014a). Dünya toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'ı bina sektörüne atfedilmektedir (Cuce, 2015). Binaların enerji tüketimine olan bu hatırı sayılır etkisi, mevcut yapı elemanlarının özellikle de pencerelerin yetersiz ısı yalıtım özelliklerinin ve zayıf konstrüksiyon detaylarının bir sonucudur (Cuce ve Riffat, 2015a). Bina kabuğundan gerçekleşen toplam ısı kaybının en büyük bölümü camlı alanlara aittir (Cuce ve Riffat, 2015b). Pencereler diğer yapı elemanlarına kıyasla daha yüksek U-değerlerine sahip olmalarından ötürü, bina kabuğundan olan toplam enerji kaybının yaklaşık %47'sinden sorumludurlar (Cuce vd., 2015a; Cuce vd., 2015b; Cuce vd., 2014b). Tablo 1'de mevcut pencere pazarındaki en yaygın üç ticari ürünün ısı yalıtım performans değerleri verilmektedir (Cuce vd., 2016; Pilkington, 2016). Verilerden açıkça görüldüğü gibi düşük ışıma katsayılı kaplamalarla (low-e) donatılan Argon dolgulu çift camlı pencereler dahi bina kabuğundan hatırı sayılır bir enerji kaybına sebebiyet vermektedirler (Cuce ve Cuce, 2016a). Bu sebeple, binalarda pencere esaslı enerji kayıplarını azaltabilmek için maliyet etkin ve çevre dostu çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Pencerelerden olan ısı kaybı Şekil 1'de gösterildiği gibi birkaç farklı mekanizma ile açıklanır. İnfiltrasyon kaynaklı ısı kayıpları özellikle eski pencerelerde ve özensizce gerçekleştirilen montajlarda pencerelerden gerçekleşen toplam ısı kaybı içerisinde ciddi bir orana sahiptir. İnfiltrasyon esaslı kayıplar ılıman iklim bölgelerinde dahi toplam ısı kaybının yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır (Bossche vd.,

2012). Soğuk iklim bölgelerinde hava sızdırmazlığının pencerelerin ortalama ısı yalıtım performansına etkisi çok daha belirgin hâle gelmektedir (Sherman ve Chan, 2004). Bu bakış açısından hareketle, makul bir hava sızdırmazlığının temini sadece binaların ortalama enerji verimliliği için değil, aynı zamanda konut sakinlerinin ısı konforu için de son derece önemlidir (NHBC Foundation, 2009). Yetersiz hava sızdırmazlığı, bina kabuğundan olan toplam enerji kaybının %40'ından sorumlu olabilmektedir (Webb ve Barton, 2002). Gelişmiş ülkelerde elde edilmesi gereken asgari hava sızdırmazlık dereceleri ile ilgili farklı bina standartları mevcuttur. Literatürde hava sızdırmazlığı, 50 Pa'lık bir basınç farkında bina kabuğuna birim yüzey alanından birim saatte dış ortama sızan veya dış ortamdan binaya nüfuz eden hava hacmi olarak tanımlanmaktadır. Birleşik Krallık'ta hava infiltrasyonu için bina standartlarının öngördüğü azami değer $3 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ iken bu değer Hollanda'da $6 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, Kanada'da $1.5 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ve Almanya'da $1.8-3.8 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 'dir (Energy Saving Trust, 2007). Bir pencerede hava infiltrasyonu, konstrüksiyonun tasarımı ve kalitesi, rüzgârın şiddeti ve yönü gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. Pencere kanatlarında ve contalarda oluşan mikro boyuttaki aralıklar hava infiltrasyonuna önemli ölçüde etki ederler. Ayrıca, pencere iskeleti ile duvar arasında özensiz montajdan kaynaklanan çok küçük aralıklar da havanın kolaylıkla iç ortamdaki dış ortama veya dış ortamdaki iç ortama hareketine imkân vermektedir.

Hava sızdırmazlığının pencerelerin ortalama ısı yalıtım performansındaki rolü oldukça net olmasına rağmen, literatürde bu parametrenin toplam enerji kaybındaki etkisini belirlemeye yönelik yürütülen deneysel çalışmaların sayısı oldukça azdır. Hilliaho ve diğerleri (2015) duyarlılık analizi ile kuzey iklim bölgelerinde camlı balkonların hava sızdırmazlığını da içeren beş temel performans parametresi için enerji kazancı potansiyelini incelemektedir. Elde ettikleri sonuçlar, hava sızdırmaz pencerelerin

U-değerlerindeki kayda değer iyileşmelerin bir sonucu olarak yaklaşık %15 enerji kazancı elde edildiğini göstermektedir. Sadauskiene ve diğerleri (2016) Litvanya’da gerçekleştirilen bir durum çalışması ile hava sızdırmazlığının binaların ortalama enerji performansındaki rolünü araştırmaktadır. Hava sızdırmazlığının potansiyel etkisi 2007-2011 yılları arasında inşa edilmiş 27 konut üzerinde analiz edilmektedir. Test binaları, bina enerji performans değerlerine göre A, B ve C sınıfı olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, hava değişim oranı 0.6’dan az olan A sınıfı test binaları, B ve C sınıfı test binalarına göre hatırı sayılır ölçüde daha düşük ısıtma yüküne sahiptirler. Hava değişim oranı 0.55 olan A sınıfı bir test binasının ısıtma yükü 130.50 kWh/m²-year iken, hava değişim oranı 2.99 olan C sınıfı bir test binasının ısıtma yükü 255.41 kWh/m²-year olarak tespit edilmektedir. Alfano ve diğerleri (2012) Akdeniz’e özgü binaların hava sızdırmazlığını fan basınçlandırma (blower door) yöntemi ile incelemektedir. Hava sızdırmazlığının enerji tüketimi ve ısı konfora olan etkileri farklı mimari parametreler için değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgulara göre, uygun sızdırmazlık contalarıyla restore edilen ahşap iskeletten yapılmış pencerelerde hava infiltrasyonu %25; ısıtma yükü ise %50 oranında azaltılabilmektedir. Kalamees (2007) Estonya’da gerçekleştirdiği arazi çalışmasında 32 adet hafif konstrüksiyon binayı hava sızdırmazlığı açısından incelemektedir. Her bir konuttan olan hava infiltrasyonu standart blower door yöntemi ile belirlenmektedir. Çalışmada, Estonya’daki binalarda pencerelerin ortalama U-değerlerinin güncel bina standartlarına göre 2.1 W/m²K’i geçmemesi gerektiği belirtilmektedir. Ancak elde edilen sonuçlar test edilen binaların sadece %41’inin gereksinim duyulan hava sızdırmazlık koşullarını sağlayabildiğini; bu durumun sert iklim koşullarından ötürü Estonya’da pencerelerden önemli bir ısı kaybına sebebiyet verdiğini göstermektedir. Sfakianaki ve diğerleri (2008) Atina’da 20 binada hava sızdırmazlık ve infiltrasyon ölçümleri yapmakta

ve analizlerde iki farklı yaklaşım (tracer gas decay ve blower door) kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlardan hareketle, pencerelerde toplam iskelet uzunluğunun sızdırmazlığı önemli ölçüde etkilediği vurgulanmaktadır. Bu anlamda, pencere iskelet sistemlerinin tasarımı, malzemesi ve konstrüksiyon detaylarının bina kabuğundan olan enerji kaybına doğrudan etki ettiği belirtilmektedir. Sinnott ve Dyer (2012) İrlanda’da eski ve yeni binaların infiltrasyon analizleri ile ilgili birtakım arazi çalışmaları yürütmektedir. Yapılan testler; 1975 öncesi, 1980 ve 2008 yıllarına ait binaların infiltrasyon değerlerinin sırasıyla 7.5, 9.4 ve 10.4 m³/h-m² olduğunu göstermektedir. Hava sızdırmazlığı en iyi olan binanın 5.1 m³/h-m² ile 1961’de inşa edilen bir yapı olduğu tespit edilmektedir. Bu bulgudan hareketle yeni konutların her koşulda eski yapılara göre daha iyi hava sızdırmaz olduğu sonucuna varılamayacağına altı çizilmektedir. Çalışmada ayrıca, uygun bir restorasyon ile konutlarda hava infiltrasyonunun %35 oranında azaltılabileceği ve bu sayede bina kabuğundan olan enerji kayıplarının önemli ölçüde önüne geçebileceği ifade edilmektedir.

Literatür analizinden açıkça anlaşıldığı gibi, hava sızdırmazlığı pencereler için önemli bir performans parametresidir ve konutların ortalama enerji verimi ile iç ortam konfor koşulları pencerelerin sahip olduğu sızdırmazlık derecesinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Pencerelerde hava sızdırmazlığını iyileştirmenin çeşitli yöntemleri mevcuttur ve bu yöntemlerden bir tanesi de pencerelerin özel saydam örtülerle içerden kaplanmasıdır. Literatür taramasından elde edilen sonuçlar, bugüne kadar bu tarz saydam örtüler kullanılarak gerçek işletme koşullarında konvansiyonel pencerelerin ortalama ısı yalıtım performansındaki iyileşmeleri belirlemeye yönelik kapsamlı bir deneysel çalışma yapılmadığını göstermektedir. Bu yüzden bu araştırmada konvansiyonel hava dolgulu çift camlı pencerelerin ortalama U-değerine hava sızdırmazlığının potansiyel etkileri deneysel olarak incelenmektedir



Şekil 1. Konvansiyonel pencerelerde ısı kaybına sebebiyet veren mekanizmalar.

Tablo 1. Konvansiyonel pencere teknolojilerine ait U-değerleri

U-değeri (W/m ² K)	(Pilkington, 2016)	(Cuce vd., 2014b)
Hava dolgulu çift camlı pencere	2.70	2.53
Hava dolgulu ve low-e katkılı çift camlı pencere	2.00	2.10
Argon dolgulu ve low-e katkılı çift camlı pencere	1.80	1.90

Metot

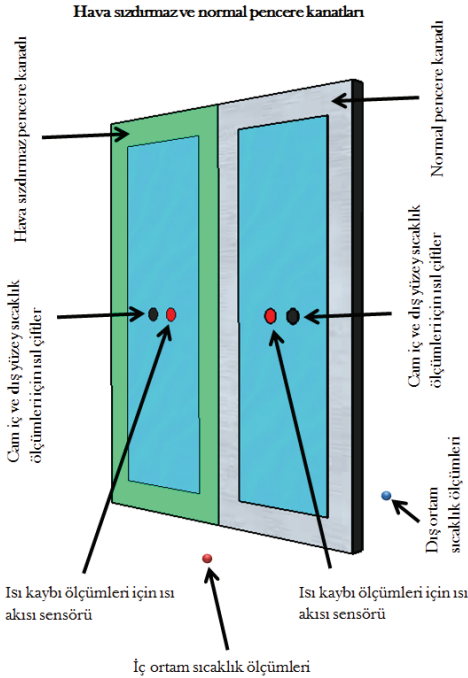
Hava ve Argon dolgulu çift camlı pencereler, iyi bilinen üretim teknikleri ve tek camlı pencerelere kıyasla hatırı sayılır ölçüde daha düşük U-değerlerinden ötürü mevcut piyasadaki en yaygın cam esaslı yapı elemanlarıdır (Cuce, 2016a). Ancak bu pencerelerin U-değeri aralığı; birtakım tasarım, malzeme ve konstrüksiyon esaslı performans parametreleri ile yeterli olmayan hava sızdırmazlık dereceleri yüzünden istenilen mertebede değildir. Bu yüzden bu çalışmada, hava dolgulu çift camlı pencereler ele alınmakta ve hava sızdırmazlığının ortalama ısı yalıtım performansına etkisi deneysel olarak incelenmektedir. Şekil 2’de gösterilen ve Nottingham’da bulunan karakteristik Birleşik Krallık mimarisine sahip iki katlı bir konut iç ortam testleri için seçilmektedir. Konuttaki test penceresi iki kanada sahiptir. Birinci kanat

içerden 1 mm kalınlığında saydam örtü ile restore edilerek mükemmel bir hava sızdırmazlığı temin edilmekte; ikinci kanat ise restorasyon öncesi durumu karakterize etmek amacıyla boş bırakılmaktadır. Söz konusu saydam örtü %72 görünür ışık geçirgenlik oranına sahiptir ve ısı iletim katsayısı 0.33 W/mK’dir. Saydam örtü için öngörülen çalışma sıcaklığı -60 ile 90 °C arasındadır. Saydam örtünün özgül ısı kapasitesi ise yaklaşık 1.9 kJ/kgK’dir. Dinamik co-heating test yöntemi ile konvansiyonel hava dolgulu çift camlı test penceresinin restorasyon öncesi ve sonrasında ısı yalıtım karakteristikleri belirlenmektedir. Sistematik bir deneysel analiz ile hava sızdırmazlığının test penceresinin ortalama U-değerine olan potansiyel etkileri incelenmektedir. Hava sızdırmaz ve normal pencere kanadının şematik görünümü ve ölçüm detayları Şekil 3’te verilmektedir.

Deneyel Çalışma

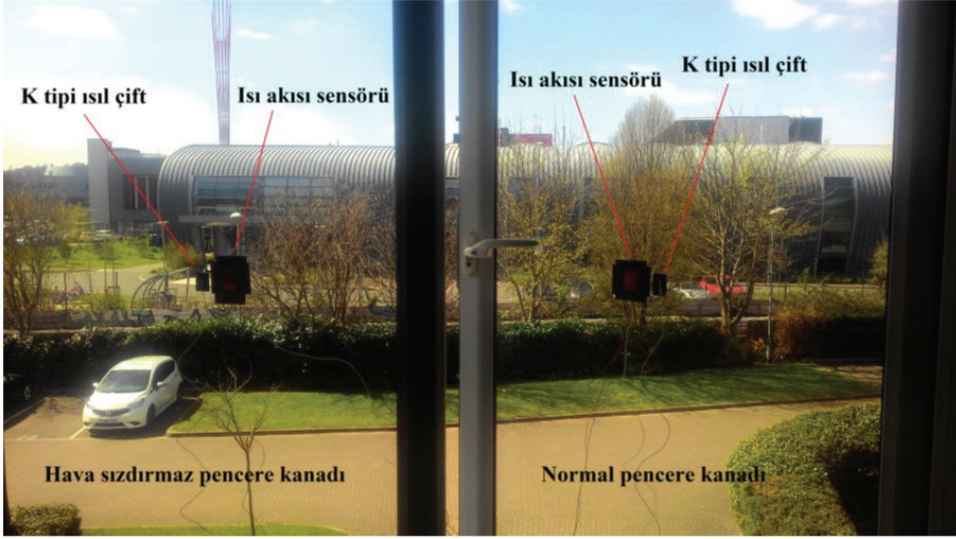


Şekil 2. Nottingham'da iç ortam testlerinin gerçekleştirildiği bina.

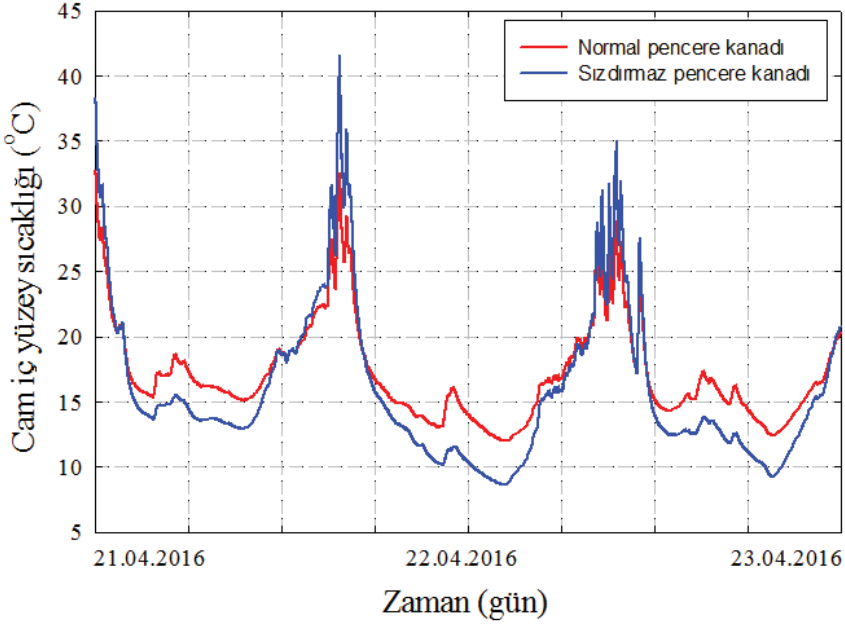


Şekil 3. Hava sızdırmaz ve normal pencere kanadının şematik görünümü ve ölçüm detayları.

Hava sızdırmazlık testleri; Nottingham'da bulunan, Birleşik Krallık mimarisine sahip ve konvansiyonel çift camlı hava dolgulu pencerelerle restore edilmiş iki katlı bir konutta gerçekleştirilmektedir. Test penceresi toplam 24 mm et kalınlığına sahiptir ve pencere iskeleti PVC'den (polyvinyl chloride) üretilmektedir. Pencere kanatlarından biri gereksinim duyulan hava sızdırmazlığını temin etmek için 1 mm kalınlığında saydam örtü ile iç yüzeyden kaplanırken, diğer pencere kanadı sıradan durumu karakterize edecek şekilde boş bırakılmaktadır. Ölçümler Nisan 2016'da yapılmakta ve hava sızdırmaz pencerelerin ortalama ısı yalıtım performansındaki iyileşme co-heating test yöntemiyle incelenmektedir. Dinamik co-heating test metodolojisi, iç ortam ve dış ortam arasında fark edilebilir sıcaklık farkı oluşturmak suretiyle, bir pencerenin ortalama ısı transfer katsayısını şartlandırılmış iç ve dış ortamların aksine dinamik gündüz ve gece sıcaklıklarını referans olarak belirlemeye çalışan bir yöntemdir. Deneyel çalışmada kullanılan Şekil 4'te verilmektedir. Cam esaslı testler için özel olarak üretilen HFS-4 ince film ısı akısı sensörleri ve standart K tipi ısı çiftleri test penceresinin kanatlarına merkezi olarak yerleştirilmektedir. HFS-4 ince film ısı akısı sensörleri, ısı akısının yanında cam iç yüzey sıcaklığını belirleyebilmek için hâli hazırda K tipi ısı çifti içermektedir. Bununla birlikte ısı akısı sensörlerinden alınan sıcaklık değerlerinin hassasiyet kontrolü için her iki sensörün yanına Şekil 4'te verildiği gibi ilave ısı çiftleri yerleştirilmektedir. Cam dış yüzey sıcaklıkları da K tipi ısı çiftleri ile belirlenmekte ve her iki pencere kanadı için cam iç ve dış yüzey sıcaklık farkı zamana bağlı olarak elde edilmektedir. İç ve dış ortam hava sıcaklıkları eş zamanlı olarak ölçülmekte, bulgular sonuçların daha kolay yorumlanabilmesi için analiz edilmektedir.

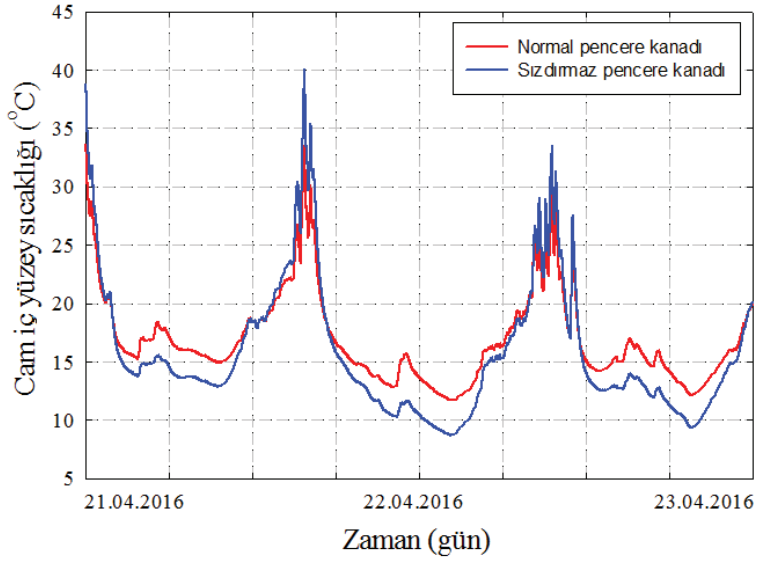


Şekil 4. Deneysel çalışmada kullanılan sensörler ve pencerelere monte edilmesi.

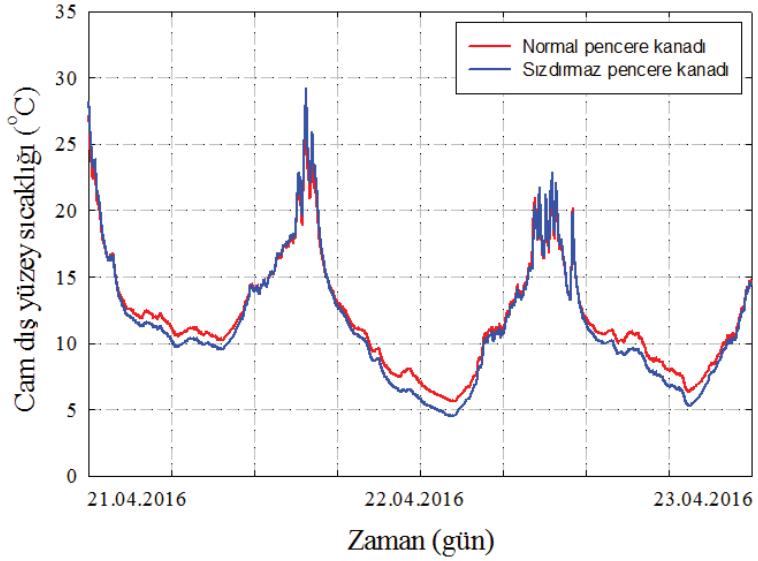


Şekil 5. Sıradan ve hava sızdırmaz pencere kanadının cam iç yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi.

Hava sızdırmazlığının konvansiyonel pencerelerin ortalama ısıl yalıtım performansındaki rolü



Şekil 6. Sıradan ve hava sızdırmaz pencere kanadının cam iç yüzey sıcaklıklarının ikincil testlerle doğruluk tayini.



Şekil 7. Sıradan ve hava sızdırmaz pencere kanadının cam dış yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi.

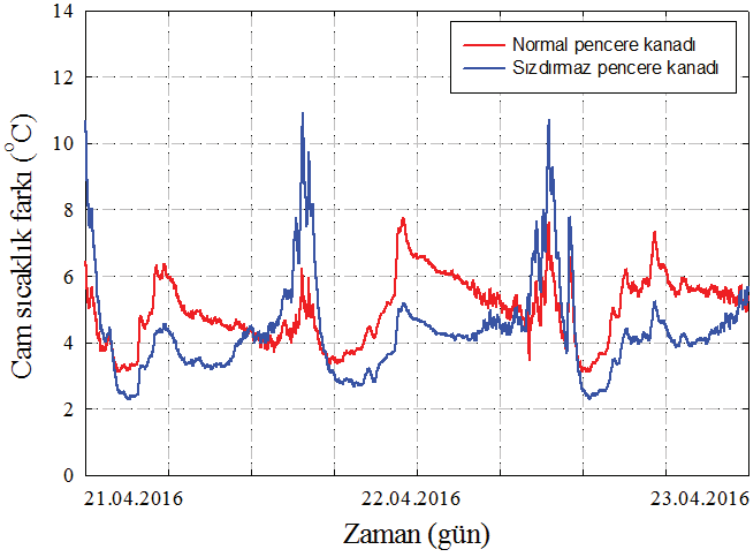
Kış aylarında pencerelerden infiltrasyon nedeni ile kaybolan enerjiyi minimize edebilmek için çeşitli teknikler kullanılabilir ve saydam örtülerle iç ortamdan yapılan kaplamalar bu anlamda anahtar çözümlerden biridir. Deneysel çalışmada kullanılan özel saydam örtü sadece hava sızdırmazlığı temin etmemekte, aynı zamanda cam iç yüzeyi ile saydam örtü arasında sera etkisi oluşumuna imkân vermektedir. Kış aylarının güneşli günlerinde söz konusu sera etkisi özellikle öğle saatlerinde ters ısı akışı oluşumuna neden olarak, pasif ısıtma ile pencerelerin ısı yalıtım performansına olumlu etki yapmaktadır. Isı akışı, cam iç ve dış yüzey sıcaklık farkına bölünerek her bir pencere kanadı için dinamik U-değerleri tespit edilmektedir. Bu sayede hava sızdırmazlığının konvansiyonel hava dolgululu çift camlı pencerelerin ortalama enerji performansına olan etkisi araştırılmaktadır. Testler Nisan 2016'da üç tam gün süre ile yapılmaktadır. Zamana bağlı veri eldesi için DT85 Datataker veri kaydedici kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan ölçüm cihazlarının hassasiyetleri dikkate alınarak hesaplanan U-değeri toplam belirsizliği %1'in altındadır. Bu değer bilimsel olarak kabul edilebilir mertebededir.

Bulgular ve Tartışma

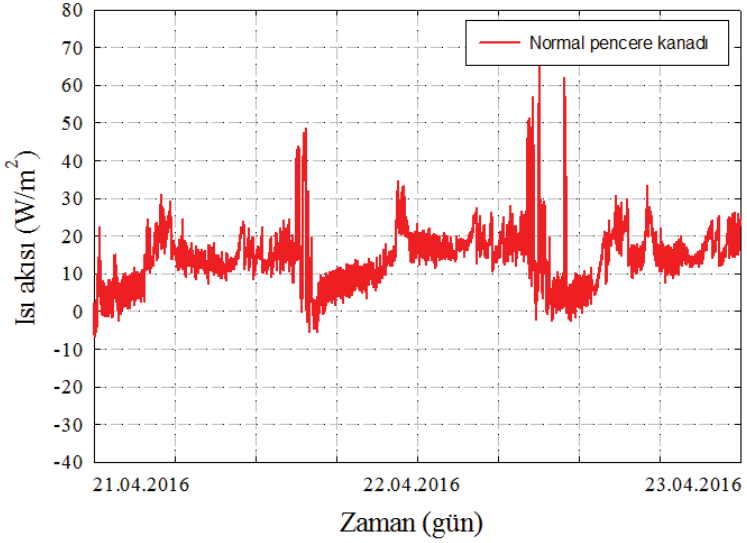
Sonuçların tanıtımı Şekil 5'te gösterildiği gibi her bir pencere kanadı için cam iç yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi ile başlamaktadır. İnce film ısı akışı sensörlerinin K tipi ısı çiftlerinden alınan veriler açıkça göstermektedir ki özel saydam örtü cam iç yüzey sıcaklıklarında kayda değer bir azalma temin etmektedir. Gece koşullarında cam iç yüzey sıcaklığında 4 °C'yi bulan düşüşler gözlemlenmektedir. Diğer taraftan gündüz koşullarında, saydam örtünün oluşturduğu sera etkisi sayesinde hava sızdırmaz pencere kanadının cam iç yüzey sıcaklığının sıradan pencere kanadına göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu ve bu durumun ters ısı akılarına imkân verdiği anlaşılmaktadır. Daha önceden ifade edildiği gibi, ısı akışı sensörlerinden elde

edilen cam iç yüzey sıcaklıkları ilave ısı çiftler ile doğruluk açısından test edilmekte ve Şekil 6'da görüldüğü gibi birincil ve ikincil ölçümler arasında mükemmel bir uyum olduğu anlaşılmaktadır.

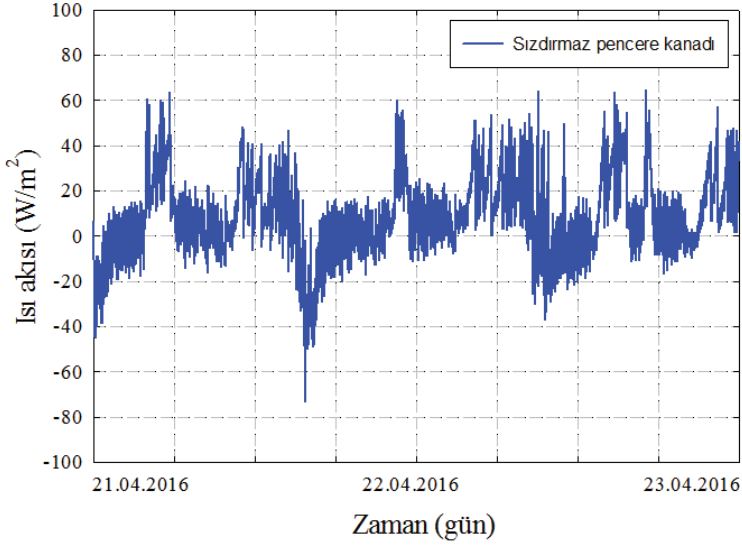
Cam iç yüzey sıcaklıklarının aksine, hava sızdırmaz ve sıradan pencere kanadının cam dış yüzey sıcaklıkları arasında önemsiz bir fark olduğu gözlemlenmektedir. Elde edilen azami fark, Şekil 7'den de anlaşıldığı gibi yaklaşık 1 °C civarındadır. Cam dış yüzey sıcaklıkları arasındaki benzer eğilimler iç ortam havasına göre çok daha baskın olan dış ortam havasının konveksiyon etkilerine atfedilebilir. Cam iç ve dış yüzey sıcaklık farkı her bir pencere kanadı için Şekil 8'de gösterildiği gibi zamana bağlı olarak çizilmektedir. Önceki literatürde açıkça belirtildiği üzere bir yapı elemanından kaybolan enerji, yapı elemanı boyunca ölçülen sıcaklık farkının bir fonksiyonudur (Cuce, 2016b; Cuce vd., 2014c; Cuce ve Riffat, 2015c; Riffat ve Cuce, 2012; Cuce ve Cuce, 2016b), ve gece koşullarında elde edilen sonuçlardan hareketle sıradan pencere kanadının hava sızdırmaz pencere kanadına kıyasla oldukça yüksek sıcaklık farkı değerleri gösterdiği tespit edilmektedir. En yüksek sıcaklık farkı 22 Nisan 2016'daki gece koşulu testlerinde 2.6 °C olarak ölçülmektedir. Gündüz koşullarında elde edilen verilerden hareketle, saydam örtünün, oluşturduğu sera etkisi sayesinde hava sızdırmaz pencere kanadının cam iç yüzey sıcaklığında hatırı sayılır artışlar temin ettiği görülmektedir. Söz konusu sera etkisinin oluşturduğu ters ısı akıları ile o bölgedeki sıcak havanın ısı enerji içeriği iç ortama transfer olarak pasif ısıtma ile pencerenin ortalama ısı yalıtım yeteneği iyileştirilmektedir. Sıradan ve hava sızdırmaz pencere kanadı için ısı akışı ölçümleri sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmektedir. Isı akışı ölçümlerinin ardından dinamik U-değerleri her bir pencere kanadı için tespit edilmektedir.



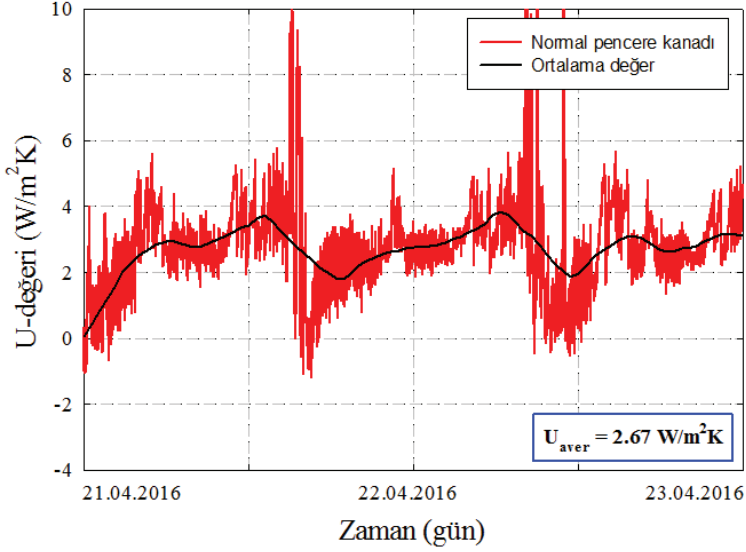
Şekil 8. Sıradan ve hava sızdırmaz pencere kanadının cam iç ve dış yüzey sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi.



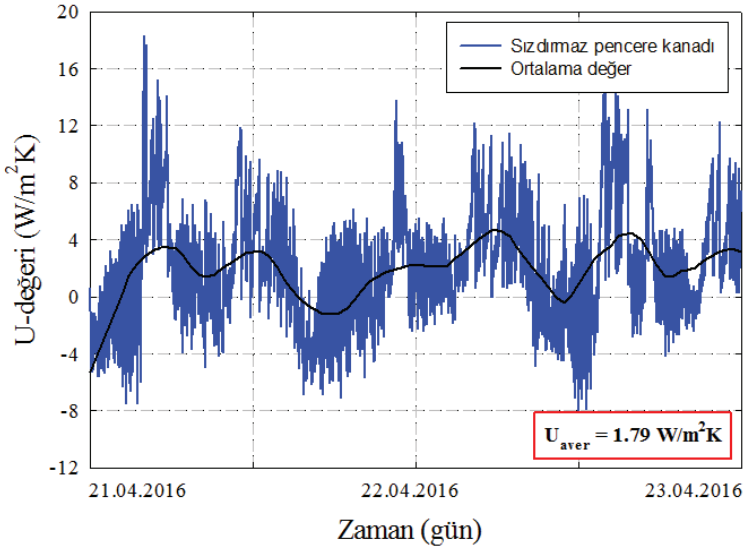
Şekil 9. Sıradan pencere kanadından olan ısı geçişinin zamana bağlı değişimi.



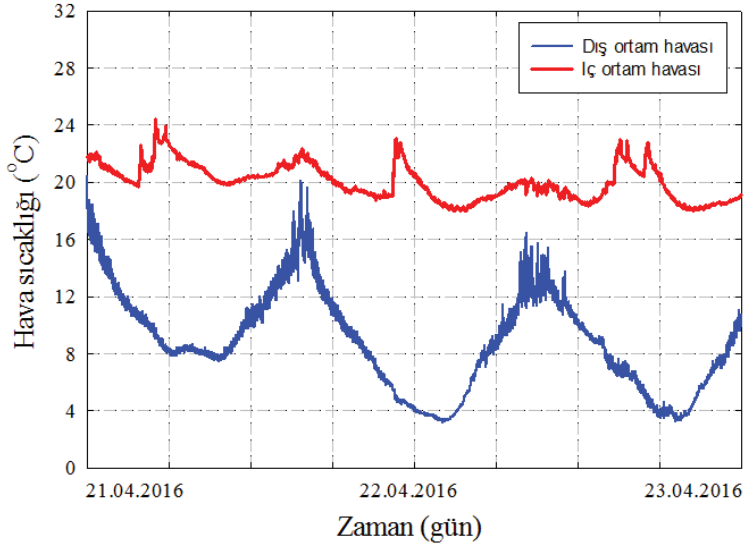
Şekil 10. Hava sızdırmaz pencere kanadından olan ısı geçişinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 11. Sıradan pencere kanadı için dinamik U-değeri.



Şekil 12. Hava sızdırmaz pencere kanadı için dinamik U-değeri.



Şekil 13. Test süresince ölçülen dinamik iç ve dış ortam hava sıcaklıkları.

Şekil 11'de sıradan pencere kanadının dinamik U-değeri değişimi verilmektedir. Sonuçların daha kolay anlaşılması ve yorumlanabilmesi için ortalama U-değerini belirlemeye yönelik bir regresyon analizi yapılmaktadır. Hesaplamalar

göstermektedir ki sıradan pencere kanadının ortalama U-değeri $2.67 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir ve bu değer literatür verileriyle uyum içerisindedir. Pilkington (2016) aynı cam ve iskelet özellikleri için $2.80 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'lik bir teorik değer beyan

etmektedir. Cuce (2014) ayrıca benzer bir pencere profili için $2.53 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'lik deneysel bir sonuca ulaşmaktadır. Restorasyon sonrasında söz konusu U-değeri önemli ölçüde iyileştirilmektedir. Özel saydam örtünün temin ettiği mükemmel hava sızdırmazlığı ve sera etkisi sayesinde, hava sızdırmaz pencere kanadının ortalama U-değeri Şekil 12'de gösterildiği gibi $1.79 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak tespit edilmektedir. Bir diğer ifadeyle hava sızdırmaz pencereler Şekil 13'te verilen olağan iç ve dış ortam sıcaklık farklarında bina kabuğundan olan enerji kayıplarında %33 mertebesinde azalma temin edebilmektedir.

İç ortam testlerinden açıkça anlaşıldığı üzere, hava sızdırmazlığı bina kabuğundan olan enerji kayıplarını azaltmak için son derece önemlidir. Kış aylarında pencerelerden gerçekleşen enerji kayıplarını azaltmak için kullanılacak saydam örtüler, konvansiyonel hava dolgulu çift camlı pencerelerin ortalama U-değerlerine önemli ölçüde iyileştirme yapabilmektedir. Söz konusu saydam örtülerin maliyeti oldukça düşük olup, restorasyon sonrasında belirli dönemlerde oluşabilecek yoğuşma durumlarında dahi Şekil 14'te gösterildiği gibi görsel kalite ve estetiği temin edebilmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, sızdırmazlığın konvansiyonel hava dolgulu çift camlı pencerelerin ortalama ısı transfer katsayısına olan etkisi Nottingham'da iki katlı bir konutta yürütülen kapsamlı bir deneysel çalışma ile incelenmektedir. Konuttaki test penceresinin bir kanadı içerden 1 mm kalınlığında saydam örtü ile restore edilerek mükemmel bir hava sızdırmazlığı temin edilmekte; ikinci kanat ise restorasyon öncesi durumu karakterize etmek amacıyla boş bırakılmaktadır. Dinamik co-heating test yöntemi ile U-değerindeki iyileşme tespit edilmektedir. Elde edilen sonuçlardan hareketle sıradan pencere kanadının ortalama U-değeri $2.67 \text{ W/m}^2\text{K}$; hava sızdırmaz pencere kanadının

U-değeri ise $1.79 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak bulunmaktadır. Özel saydam örtüler kullanılarak restore edilen konvansiyonel çift camlı pencerelerin, temin ettiği hava sızdırmazlığı ve sera etkisi sayesinde kış aylarında %33 oranında enerji tasarrufu sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 14. Sıradan ve hava sızdırmaz pencere kanadının temin ettiği görsel kalitenin karşılaştırılması.

Teşekkür

Dr. Erdem Cüce, bu çalışmanın oluşmasına BİDEB 2219, 2015/1 programı vasıtasıyla verdiği finansal destekten ötürü TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürlerini iletmektedir.

Kaynaklar

- Alfano, F.R.D., Dell'Isola, M., Ficco, G., (2012). Tassini F. Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method. *Building and Environment*, 53, 16-25.
- Bossche, N.V.D., Huyghe, W., Moens, J., Janssens, A., Depaep, M., (2012). Airtightness of the window-wall interface in cavity brick walls. *Energy and Buildings*, 45, 32-42.
- Cuce, E., (2014). Cuce E. Development of innovative window and fabric technologies for low-carbon buildings. Ph.D. Thesis, *The University of Nottingham*.
- Cuce, E., Cuce, P.M., Wood, C.J., Riffat, S.B., (2014a). Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 273-299.
- Cuce, E., Young, C.H., Riffat, S.B., (2014b). Performance investigation of heat insulation solar glass for low-carbon buildings. *Energy Conversion and Management*, 88, 834-841.
- Cuce, E., Cuce, P.M., Wood, C.J., Riffat, S.B., (2014c). Optimizing insulation thickness and analysing environmental impacts of aerogel-based thermal superinsulation in buildings. *Energy and Buildings*, 77, 28-39.
- Cuce, E., (2015). Toward thermal superinsulation technologies in buildings: Latest developments in glazing and building fabric. *LAP Lambert Academic Publishing*, Saarbrücken, Germany.
- Cuce, E., Riffat, S.B., (2015a). A state-of-the-art review on innovative glazing technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 695-714.
- Cuce, E., Riffat, S.B., (2015b). Vacuum tube window technology for highly insulating building fabric: An experimental and numerical investigation. *Vacuum*, 111, 83-91.
- Cuce, E., Riffat, S.B., (2015c). Aerogel-assisted support pillars for thermal performance enhancement of vacuum glazing: A CFD research for a commercial product. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(8), 2233-2238.
- Cuce, E., Young, C.H., Riffat, S.B., (2015a). Thermal insulation, power generation, lighting and energy saving performance of heat insulation solar glass as a curtain wall application in Taiwan: A comparative experimental study. *Energy Conversion and Management*, 96, 31-38.
- Cuce, E., Young, C.H., Riffat, S.B., (2015b). Thermal performance investigation of heat insulation solar glass: A comparative experimental study. *Energy and Buildings*, 86, 595-600.
- Cuce, E., (2016a). Toward multi-functional PV glazing technologies in low/zero carbon buildings: Heat insulation solar glass - Latest developments and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60, 1286-1301.
- Cuce, E., (2016b). Experimental and numerical investigation of a novel energy-efficient window technology for low-carbon buildings: Vacuum tube window. *Indoor and Built Environment*, (In Press). Doi: 10.1177/1420326X15599188.
- Cuce, E., Cuce, P.M., (2016a). Vacuum glazing for highly insulating windows: Recent developments and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1345-1357.
- Cuce, E., Cuce, P.M., (2016b). The impact of internal aerogel retrofitting on the thermal bridges of residential buildings: An experimental and statistical research. *Energy and Buildings*, 116, 449-454.
- Cuce, E., Cuce, P.M., Riffat, S.B., (2016). Novel glazing technologies to mitigate energy consumption in low-carbon buildings: A comparative experimental investigation. *International Journal of Energy Research*, 40, 537-549.
- Energy Saving Trust, (2007). CE248 Achieving airtightness in new dwellings: case studies.
- Hilliaho, K., Makitalo, E., Lahdensivu, J., (2015). Energy saving potential of glazed space: Sensitivity analysis. *Energy and Buildings*, 99, 87-97.
- Kalamees, T., (2007). Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia. *Building and Environment*, 42, 2369-2377.
- NHBC Foundation, (2009). A practical guide to building airtight dwellings. *Published by IHS BRE Press on behalf of the NHBC Foundation*, ISBN 978-1-84806-095-1.
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C., (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394-398.
- Pilkington, (2016). Understanding the Government's data on U-values. <http://www.pilkington.com>. (Last access is on 30.05.2016).

- Riffat, S.B., Cuce, E., (2012). Aerogel with its outstanding features and building applications. *Eleventh International Conference on Sustainable Energy Technologies*, 2-5 September, Vancouver, Canada.
- Sadauskiene, J., Seduikyte, L., Paukstys, V., Banionis, K., Gailius, A., (2016). The role of air tightness in assessment of building energy performance: Case study of Lithuania. *Energy for Sustainable Development*, 32, 31-39.
- Sfakianaki, A., Pavlou, K., Santamouris, M., Livada, I., Assimakopoulos, M.N., Mantas, P., Christakopoulos, A., (2008). Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece. *Building and Environment* 43, 398-405.
- Sherman, M.H., Chan, R., (2004). Building airtightness: research and practice. Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBNL-53356. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, U.S.
- Sinnott, D., Dyer, M., (2012). Air-tightness field data for dwellings in Ireland. *Building and Environment*, 51, 269-275.
- Webb, B.C., Barton, R., (2002). BRE report BR448 Airtightness in commercial and public buildings, 978-1-86081-578-2.

Role of airtightness in overall thermal insulation performance of conventional windows

Extended abstract

Enhanced thermal resistance of building materials and as a consequence, relative importance of air tightness on heat loss from building envelope is of prime interest in order to meet the latest low/zero carbon building standards. Among the building elements, windows are considered as asignificant contributor to the air leakage-oriented energy losses. The rate of air leakage related energy loss from glazed areas is much more noticeable especially in older and poorly installed windows. Despite some attempts in literature to investigate the role of airtightness in heat loss from conventional windows, there are many discrepancies between the results obtained. Therefore in this work, a comprehensive experimental research is conducted to analyse the importance of air leakage on overall heat transfer coefficient (U-value) of conventional air filled double glazed windows. The tests are performed in a typical UK dwelling of Nottingham fitted with conventional air filled double glazed windows.

One sash of the test window is sealed internally with a special transparent cover to provide excellent airtightness whereas the second window sash is left as it is to represent the ordinary case. The experiments are carried out in April 2016, and dynamic co-heating test methodology is applied to evaluate the rate of enhancement in the U-value of airtight window sash. The results indicate that the airtight window sash has a notably lower U-value compared to the ordinary window sash due to the impact of airtightness and reverse heat flux during noon time owing to the greenhouse effect between transparent cover and internal glazing. The overall U-value of ordinary window sash is found to be 2.67 W/m²K, whereas it is 1.79 W/m²K for airtight window sash. It is observed that about 33% of reduction in heat losses can be achieved via airtight windows.

The airtightness tests are carried out in a typical two-storey UK dwelling of Nottingham having conventional air filled double glazed windows. The test window has an entire glazing thickness of 24 mm (6 mm pane + 12 mm air gap + 6 mm pane) and its frame is made of polyvinyl chloride (PVC). One sash of the test window is sealed internally with a 1 mm

thick special transparent cover to enable required airtightness while the second window sash is left as it is to characterise the ordinary case. The experiments are conducted in April 2016, and dynamic co-heating test approach is performed to evaluate the rate of enhancement in overall thermal insulation performance of airtight window sash.

Figure 11 indicates the overall dynamic U-value of ordinary window sash. A regression analysis is done to determine the average U-value for an easier understanding and interpretation of the results. It is observed from the calculations that the average U-value of the ordinary window sash is 2.67 W/m²K, which is in good accordance with the previous literature. Pilkington [11] presents a theoretical U-value of 2.80 W/m²K for the same frame and glazing features. Cuce [1] also finds an experimental U-value of 2.53 W/m²K for a similar window sample. At the post retrofit case, the U-value is considerably enhanced as a consequence of airtightness. The special transparent cover provides excellent airtightness as well as beneficial greenhouse influence resulting to an average U-value of 1.79 W/m²K as illustrated in Figure 12. In other words, it is observed that about 33% of reduction in heat losses can be achieved via airtight windows under reasonable differential temperatures given in Figure 13.

It can be achieved from the characteristic results of the in-situ tests that airtightness is of vital significance to mitigate energy losses from building envelope. Notable enhancements in the average U-value of conventional air filled double glazed windows can be achieved through transparent covers, which are ideal for internal retrofitting of glazed areas for winter season. The cost of such transparent covers is quite low, and the visual quality after retrofit is satisfactory even in case of condensation as shown in Figure 14.

The results indicate that conventional windows still play an important role in energy demand of buildings, and cost-effective solutions such as internal retrofitting of windows in winter season with transparent covers can greatly contribute in reducing the windows related energy losses in dwellings.

Keywords: Double glazed windows, air leak, air tightness, U-value, energy saving.