


## Determination of Optimum Insulation Thickness of Building Exterior Wall for Gumushane Province Based on Life Cycle Cost Analysis

<sup>1</sup>Meryem Terhan 

<sup>1</sup>Gumushane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechanical Engineering, Gumushane, Turkey.

Corresponding author, e-mail: meryem.terhan@gumushane.edu.tr

Submission Date: 23.09.2021

Acceptation Date: 06.11.2021

**Abstract** - This study is aimed to determine the optimum insulation thickness for the exterior wall in buildings for Gümüşhane Province depending on different fuel types and insulation materials. XPS, EPS, rock wool, glass wool as an insulation material on the outer wall and natural gas, coal and fuel oil as fuel are considered in the study. IZODER TS825 calculation program and Life-Cycle Cost Analysis was used for specific heat loss, annual energy requirement calculations and economic analysis. Fuel costs, energy savings values, payback periods and optimum insulation thicknesses have been calculated depending on the various insulation materials and fuel types. According to the results of the study, the optimum insulation thickness for the exterior wall in buildings, annual energy saving and payback periods have respectively calculated as 0.03-0.09 m, 7.21-22.93 \$/m<sup>2</sup>. year and 0.29-0.75.

**Keywords:** Energy Efficiency in Buildings, Energy savings, Optimum insulation thickness, Life-Cycle Cost Analysis, Exterior Wall

### Gümüşhane İli İçin Bina Dış Duvarı Optimum Yalıtım Kalınlığının Yaşam Döngüsü Maliyet Analizine Göre Belirlenmesi

**Öz** - Bu çalışma Gümüşhane ilindeki bina dış duvarı için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Dış duvarda yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS, taşyünü, cam yünü ve yakıt olarak doğalgaz, kömür ve fuel-oil ele alınmıştır. Özgül ısı kaybı ve yıllık enerji ihtiyacı hesaplamalarında İZODER TS825 hesap programı ve ekonomik analiz için Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi kullanılmıştır. Çeşitli yalıtım malzemeleri ve yakıt tipleri ile farklı dış duvar konfigürasyonları için yakıt maliyetleri, enerji tasarruf değerleri, geri ödeme süreleri ve optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre binalarda dış duvar optimum yalıtım kalınlıkları, yıllık enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri sırasıyla 0,03-0,10 m, 7,20-39,80 \$/m<sup>2</sup>. yıl ve 0,18-0,75 yıl arasında hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Binalarda Enerji Verimliliği, Enerji tasarrufu, Optimum Yalıtım Kalınlığı, Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi, Dış Duvar

## 1. Giriş

Hızlı nüfus artışı ve sanayideki gelişmelerle bağlantılı olarak dünyada ve ülkemizde enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve enerji ihtiyacının sürekli artışı enerji verimliliği kavramını ortaya çıkarmıştır [1]. Ülkemizde binalarda kullanılan enerji, toplam tüketilen enerji miktarının %33'üne karşılık gelmektedir. Enerji tüketiminin önemli bir payını oluşturan konut sektörü, enerjinin daha verimli kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi önemlidir. Enerji verimliliği ise konutlarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin düşüşüne neden olmadan enerji tüketiminin azaltılmasıdır [2-3]. TÜİK'in (Türkiye İstatistik Kurumu) 2000 yılı bina sayımına göre, konut, ticari ve kamu binalarının alanı 913 milyon m<sup>2</sup> olup, bunun yaklaşık 400 milyon m<sup>2</sup>'si ısıtılmaktadır [4]. Türkiye'de konutlarda tüketilen enerjinin %80'i ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle ısı yalıtım uygulamalarıyla tüketilen yüksek miktarda enerjiden büyük bir oranda tasarruf sağlanabilir [5]. Bina tipine ve çevre koşullarına göre değişmekle birlikte genellikle binalarda zemin döşemesinden % 15, pencerelerden % 25, tavandan % 20, bina girişindeki alanlardan % 25, çatıdan % 25, tavan arasından % 20 oranında ısı kayıpları meydana gelmektedir [6]. Binalarda uygun ısı yalıtımı ile harcanan yakıt ihtiyacı %25 ile % 50 oranında azaltılabilir [7].

Binalarda toplam ısı kaybının ortalama % 25-40'ı dış duvar yüzeyinden kaynaklanmaktadır.. Yapı fiziği bakımından en ideal yöntem olan dıştan yalıtım uygulamalarında özellikle sert özellik gösteren XPS, EPS, poliüretan, taş yünü ve cam köpüğü gibi ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır [8].

Binalarda yalıtım, ısı kayıplarını azaltır, yakıt tasarrufuna neden olur ve çevre kirliliğinin azalmasına katkı sağlar. Uygun yalıtım malzemesinin seçimi, yalıtım malzemesinin kalınlığına, maliyetine ve ısıl iletkenlik katsayısına olduğu kadar bölgenin iklim koşullarına da bağlıdır. Yalıtım malzemesinin kalınlığının artması ile elde edilecek yakıt tasarrufu ile yalıtım malzemesinin maliyetini arasında bir optimum nokta belirlenmesi gerekir. Bu nokta optimum yalıtım kalınlığını göstermektedir [9-15].

Literatürde, binalarda dış duvarda optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için bir çok çalışma mevcuttur. Yu vd. [16] yaptıkları çalışmada, Çin'deki dört şehir (Shanghai, Changsha, Shaoguan and Chengdu) ve beş farklı yalıtım malzemesi (ekspande polistiren, ekstrüde polistiren, poliüretan köpük, perlit ve polivinil klorür) için yaşam döngüsü maliyet analizi ile soğutma ve ısıtma derece gün analizi kullanılarak tipik konutların duvarları için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Optimum yalıtım kalınlığı 0,053-0,236 m ve geri ödeme süresi 1,9-4,7 yıl, enerji tasarrufu ise 32,0-54,80 \$/m<sup>2</sup> arasında bulunmuştur. Uçar vd. [17], Adana, İstanbul, Elazığ ve Van illeri için bina dış duvarlarında ekstrüde polistiren yalıtım malzemesinin kömür yakıt için optimum kalınlığını belirlenmesi üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, optimum yalıtım kalınlıkları 3,2 ile 12 cm arasında, enerji tasarrufu 2,63 ile 4,35 \$/m<sup>2</sup> arasında, geri ödeme süresi 1,7 ile 2,7 yıl arasında hesaplanmıştır. Kaynaklı vd. [18], Antalya ili için, yalıtım malzemesinin 10 yıllık ekonomik ömrü boyunca enerji maliyetini minimize eden optimum ısı yalıtım kalınlığını belirlemişlerdir. Hesaplamalar, ısıtma ve soğutma derece-gün sayılarına ve yıllık ısıtma, soğutma enerji ihtiyaçlarına göre yapılmıştır. Dış duvar için optimum yalıtım kalınlığı, ısıtma ve soğutma sezonu için sırasıyla 2,6 cm ve 1,2 cm olarak hesaplanırken yıllık toplam enerji ihtiyacı dikkate alındığında ise 3,7 cm olarak bulunmuştur. Yakıt olarak doğal gaz ve elektrik, yalıtım malzemesi olarak polistiren kullanılmış olup analizler farklı derece-gün sayıları için genişletilmiştir. Dongmei vd. [19], Çin'de farklı iklimlerdeki binalarda kullanılan yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı üzerine dış duvar yalıtım kalınlığını incelemişlerdir. Çin'deki üç farklı iklimdeki Guangzhou, Shangay ve Pekin şehirleri için dış duvar

farklı yalıtım kalınlıklarında dört farklı yön için yıllık ısıtma ve soğutma enerji kullanımı hesaplanmıştır. Yıllık ısıtma ve soğutma enerji kullanımının enerji kazanç oranı ile enerji tasarruf potansiyeli üzerine dış duvar yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Çay ve Gürel [20], Türkiye’de dört farklı iklim bölgesindeki dört farklı şehir; İzmir, Zonguldak, Konya ve Sivas için dış duvarların on yıllık ömürde; ömür maliyet analizine dayanan optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresini araştırmışlardır. Ek olarak CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları üzerine yalıtım kalınlığının etkisi analiz etmişlerdir. Ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi kullanıldığı zaman; yalıtım kalınlığı 0,045 ile 0,195 m, enerji tasarrufu 13,26 ile 248,9 \$/m<sup>2</sup>, geri dönüş periyodu 1.19 ile 1.97 yıl hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığı zaman, farklı şehir, yakıt tipi ve yalıtım malzemesine bağlı olarak % 62 ile % 92 azalmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılırken derece gün yöntemi kullanılmıştır. Yakıt olarak kömür, doğal gaz, fuel-oil, LPG ve elektrik, yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren, taş yünü, ekspande polistiren ve poliüretan köpük kullanılmıştır. Kürekçi [21], Türkiye’de bulunan 81 farklı il için dış duvar optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Ayrıca optimum yalıtım kalınlığına etki eden dört ayrı yakıt (doğalgaz, kömür, sıvılaştırılmış petrol gazı ve fuel-oil) ve beş ayrı yalıtım malzemesi (genleştirilmiş polistiren, cam yünü, taş yünü, poliüretan ve ekstrüde polistiren) farklı şehirlere göre incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Gümüşhane ilindeki dört katlı yaklaşık 400 m<sup>2</sup> oturma alanlı bir kamu binasının dış duvarında farklı yalıtım malzemelerine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıkları doğalgaz, kömür ve fuel-oil yakıt için incelenmiştir. Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı ve özgül ısı kaybı hesapları İZODER TS825 programı yardımıyla yapılmıştır.

Yalıtım malzemesi olarak bina dış duvarı için cam yünü, taş yünü, XPS ve EPS seçilmiştir. Farklı dış duvar konfigürasyonları (20 cm’lik gaz beton, 20 cm ve 13,5 cm tuğlalı dış duvar ) ve dıştan yalıtım analiz edilmiştir. Farklı kalınlıklardaki yalıtım malzemeleri için ısı kayıp oranları, yakıt tüketim miktarları, yalıtım malzemesinin ve yakıt maliyetleri hesaplanarak optimum yalıtım kalınlıkları elde edilmiştir. Ekonomik analiz metodu olarak Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi kullanılmıştır.

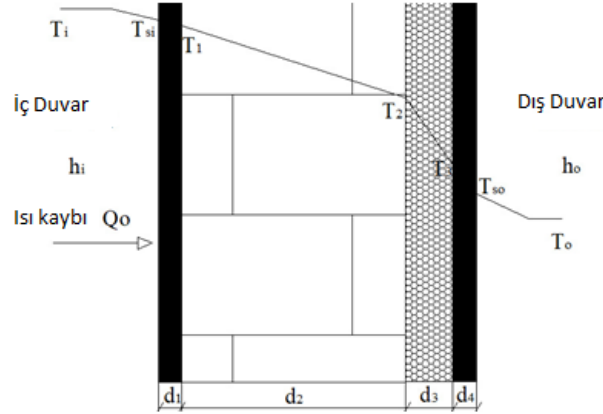
## 2. Araştırma Bulguları

Binalarda ısı kayıpları genellikle taban, tavan, dış duvar yüzeyi, dış yüzey üzerindeki pencere ve kapılarda oluşmaktadır. Yapılan çalışmalarda en fazla kayıp dış duvarda meydana geldiği belirlenmiştir. Binalarda dış duvar yapı malzemeleri ve kalınlıklarında oluşan ısı geçişi Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu çalışmada üç farklı duvar konfigürasyonu incelenmiştir. Dıştan yalıtımlı ve iki farklı tuğla kalınlığı (13,5 cm ve 20 cm) ile gaz betonlu (20 cm) dış duvar için optimum yalıtım kalınlığı araştırılmıştır.

Dış duvar içerisindeki yalıtım malzemesi haricindeki malzemelerin kalınlıkları ve ısıl iletkenlik değerleri gibi fiziksel özellikleri verilmiştir (Tablo 1). Yalıtımsız dış duvarın direnç değerleri R<sub>dd-ün</sub> 13,5 cm kalınlığındaki tuğlalı dıştan yalıtımlı duvar (Tip 1) için 0,6363 m<sup>2</sup>.K/W; 20 cm kalınlığındaki tuğlalı dıştan yalıtımlı duvar (Tip 2) için ise 0,8332 m<sup>2</sup>.K/W ve 20 cm gaz betonlu dıştan yalıtımlı duvar (Tip 3) için ise 2,021 m<sup>2</sup>.K/W olarak hesaplanmıştır.

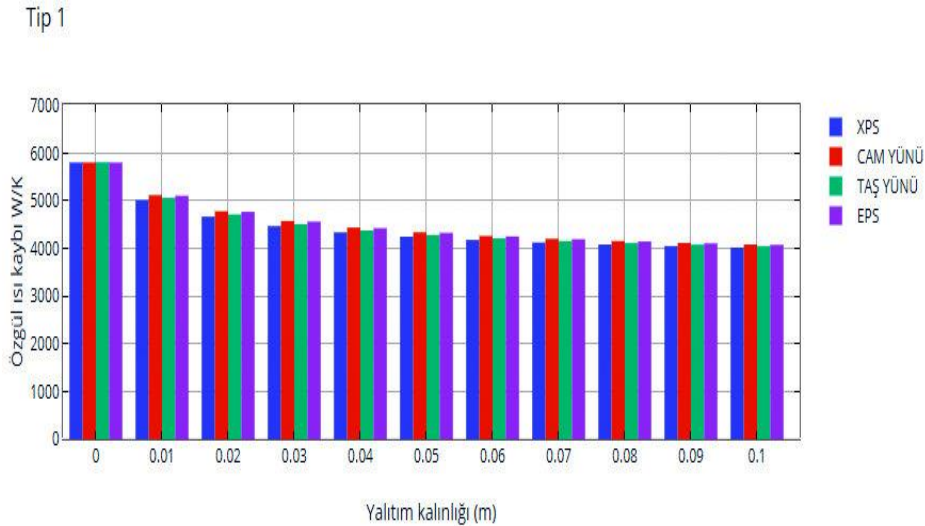
Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı ve özgül ısı kaybı hesapları İZODER TS825 programı yardımıyla yapılmıştır. Ele alınan binanın Tip 1 dış duvarında yalıtım kullanılmadan toplam özgül ısı kaybı

5802,89 W/K iken Tip 2 dış duvarda yalıtımsız özgül ısı kaybı 5.564,71 W/K ve Tip 3 dış duvarda yalıtımsız ısı kaybı 5.174,13 W/K olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Dış duvardan iletim ve taşınım yoluyla ısı geçişi

Tip 1 için yalıtımsız dış duvardan ısı kaybı oranı % 36, tavadan ısı kaybı % 4, tabandan ısı kaybı % 3, pencere ve kapılardan ısı kaybı % 7 ve havalandırma yoluyla ısı kaybı ise % 50'dir. Tip 2 dış duvar tipi için diğer kayıplar değişmemekle birlikte yalıtımsız dış duvardan ısı kaybı oranı % 33 ve havalandırma yoluyla ısı kaybı oranı ise % 53'tür. Tip 3 için yalıtımsız dış duvar ısı kaybı oranı % , havalandırma ve sızıntı yoluyla ısı kaybı % 57, pencere ve kapılardan ısı kaybı % 8, tabandan ısı kaybı % 3 ve tavadan ısı kaybı oranı ise % 5 olarak bulunmuştur. Tip 1 dış duvarlı bina için farklı yalıtım malzemeleri kalınlıklarına bağlı olarak binadan olan toplam özgül ısı kaybı değerlerin değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Tip 1 için yalıtım kalınlığına bağlı olarak özgül ısı kaybı değerleri

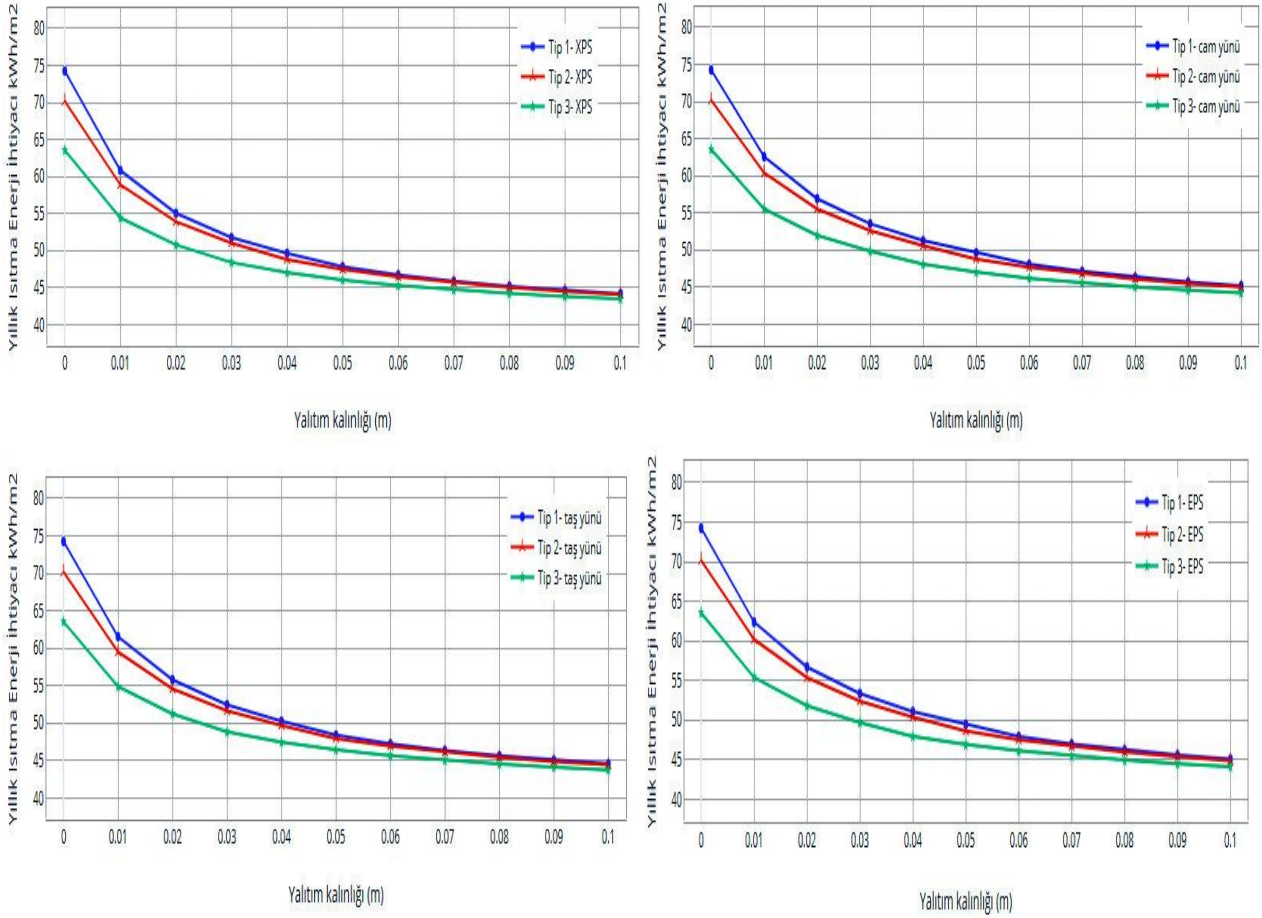
**Tablo 1.** Yalıtımsız dış duvardaki malzemelerin kalınlıkları ve fiziksel özellikleri

Duvar Tipi	Duvar yapısı	Kalınlık d (m)	Isıl iletkenliği k (W/m.K)	R=1/U (m <sup>2</sup> .K/W)
Tip 1	İç sıva	0,02	0,7	0,0286
	Tuğla	0,135	0,33	0,4091
	Dış sıva	0,02	0,7	0,0286
	R <sub>dd-un</sub>			0,6363
Tip 2	İç sıva	0,02	0,7	0,0286
	Tuğla	0,20	0,33	0,6061
	Dış sıva	0,02	0,7	0,0286
	R <sub>dd-un</sub>			0,8332
Tip 3	Alçı sıva	0,02	0,7	0,0286
	Gaz beton	0,20	0,11	1,8181
	Dış cephe kaplaması	0,01	2,3	0,0043
	R <sub>dd-un</sub>			2,021

Tip 1 dış duvar için özgül ısı kayıp değeri, Tip 2'den daha yüksek değerde olup bunun sebebi tuğla kalınlığının ve dolayısıyla toplam ısıl direncin daha küçük değerde olmasıdır. Ayrıca, XPS yalıtım malzemeli dış duvarın özgül ısı kaybı değeri diğer yalıtım malzemelerine göre düşük ısıl iletkenliği nedeniyle en düşük değerdedir. Cam yünü malzemeli dış duvar için ısı kayıp değerleri ise en yüksektir. Dış duvardan olan ısı kayıp oranları farklı ısı yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak her üç duvar tipi için % 7-27 arasında değişmektedir. Gümüşhane ili için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları ise yalıtımsız Tip 1 dış duvarlı bina için 74,26 kWh/m<sup>2</sup>, yalıtımsız Tip 2 dış duvarlı bina için ise 70,18 kWh/m<sup>2</sup> ve yalıtımsız Tip 3 dış duvarlı bina için ise 63,54 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. 0,05 m kalınlığında yalıtımlı tüm duvar tipleri için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı yalıtım malzemesi XPS ise 47,08 kWh/m<sup>2</sup>, cam yünü 48,47 kWh/m<sup>2</sup>, taş yünü 47,58 kWh/m<sup>2</sup> ve EPS ise 48,31 kWh/m<sup>2</sup> olup tüm yalıtım malzemeleri ve duvar tipleri için dış duvardan kaynaklanan ısı kayıp oranı ise % 10-15 arasında değişmektedir.

Farklı yalıtım malzemeleri ve tüm dış duvar konfigürasyonları için artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı azalırken, belli bir kalınlıktan sonra ısıtma enerjisi ihtiyacı birbirine oldukça yakın değerde bulunmaktadır. Bu kalınlık değerinden sonra yalıtım kalınlığının artması, ısıtma enerjisi ihtiyacına katkı sağlamamakla birlikte yalıtım maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca tuğlalı dış duvar konfigürasyonları için 0,03 m yalıtım kalınlığına kadar enerji ihtiyacı hızlı bir şekilde azalırken daha sonraki yalıtım kalınlık değerlerinde azalma düşmektedir. 0,03 m yalıtım kalınlığı için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, Tip 1'de farklı yalıtım malzemelerine göre % 23,35-25,88; Tip 2'de % 20,86-23,19 ve Tip 3'de ise % 21,59-23,85 oranında azalmaktadır.

Ekonomik analiz metodu olarak Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi kullanılmıştır. Analizde kullanılan veriler Tablo 2'de gösterilmiş olup üç farklı yakıt tipi ve 4 farklı yalıtım malzemesi için 10 yıllık ekonomik ömür süresince elde edilecek enerji tasarrufu, geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlıkları % 13 faiz oranı ve % 12 enflasyon oranı için incelenmiştir. Analizde yakıt olarak doğalgaz, fuel oil ve kömür kullanılmış olup alt ısıl değerleri sırasıyla 34485 kJ/m<sup>3</sup>, 40546 kJ/kg ve 25080 kJ/kg ve ısıtma sisteminde kullanılan yakıt tipine bağlı olarak ısıtma verimi sırasıyla % 90, % 80 ve % 65 alınmıştır.



Şekil 3. Tüm duvar konfigürasyonları için yalıtım kalınlığı ile yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının değişimi

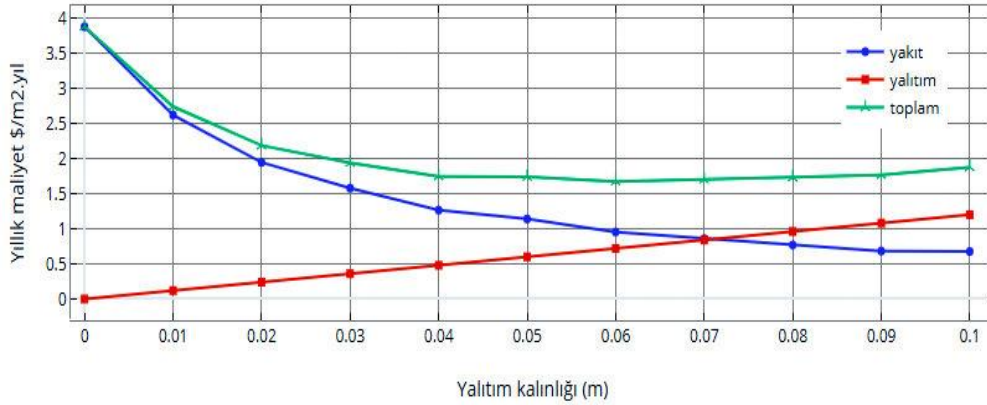
Artan yalıtım kalınlığıyla birlikte yalıtım malzemesinin maliyeti artarken, bina dış kabuğundan meydana gelen ısı kayıpları azalır. Bunun sonucunda istenilen mahal konfor şartlarına ulaşmak için daha az yakıt tüketilir. Yakıt tüketiminin azalmasıyla birlikte artan yalıtım maliyetine karşın yakıt maliyeti düşer. Yakıt maliyeti ve yalıtım maliyetinin toplamı olan toplam maliyet belli bir yalıtım kalınlığına kadar en düşük değerini alır ve bu noktadan sonra tekrar artmaya başlar. Bu noktaya denk gelen yalıtım kalınlığı optimum yalıtım kalınlığını gösterir. Şekil 4'te Tip 2 dış duvar tipi, kömür yakıtlı ısıtma sistemi ve EPS yalıtım malzemesi için yıllık yakıt maliyeti, yalıtım maliyeti ve toplam maliyetin yalıtım kalınlığına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi optimum yalıtım kalınlığı 0,06 m olduğu açıkça görülmektedir. Bu noktadan sonra yalıtım malzemesinin kalınlığının artması ekonomik olmamaktadır.

Tip 1 duvar tipinde optimum yalıtım kalınlıkları daha büyük, Tip 3'te ise en düşük değerdedir. Bunun sebebi Tip 1'deki tuğlanın kalınlığının düşük, iletkenlik katsayısının gaz betona göre yüksek olması ve dolayısıyla ısıl direncin düşük ve ısı kayıplarının yüksek olmasıdır. Ayrıca optimum yalıtım kalınlığı, XPS malzeme için en düşük, cam yününde en yüksek değeri almaktadır. Yakıt cinsine göre değerlendirsek fuel oil için optimum yalıtım kalınlıkları maksimum, doğalgaz için minimumdur. Doğalgazın en yüksek ısıtma verimine sahip yakıt olması, nispeten alt ısıl değerin yüksek olması bu durumda etkilidir. Kömür yakıt, diğerlerine göre ısıtma verimi düşük, alt ısıl değeri de en düşük olmasına rağmen yakıt maliyeti düşük olması nedeniyle ikinci sırada yer almaktadır.

**Tablo 2.** Ekonomik analizde kullanılan veriler

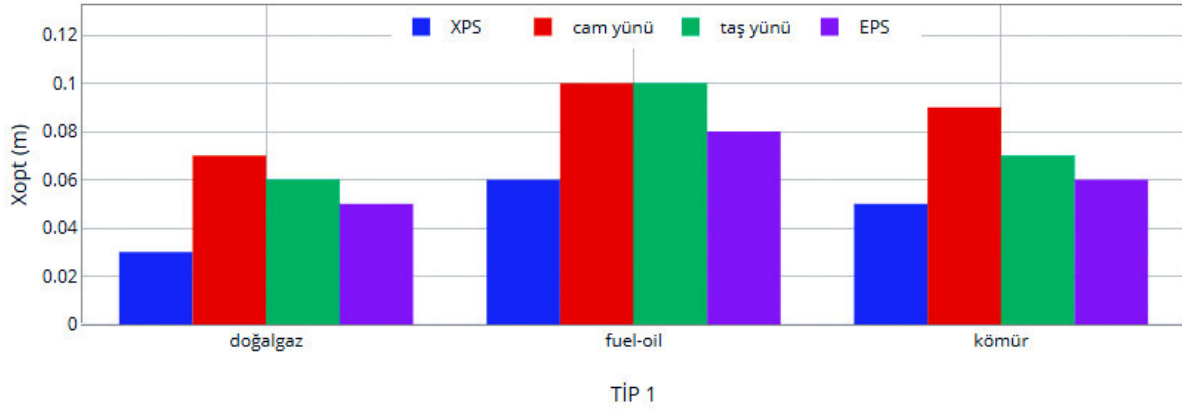
Isıtma derece gün (Gümüşhane) (HDD)	2790			
	XPS	EPS	Taş yünü	Cam yünü
Yalıtım malzemeleri	XPS	EPS	Taş yünü	Cam yünü
Birim fiyat (\$/m <sup>3</sup> )	180	120	95	75
k <sub>i</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	0,032	0,039	0,035	0,040
Yakıt	Doğalgaz	Fuel-oil	Kömür	
Yakıt birim fiyat (\$/m <sup>3</sup> )	0,385	0,766	0,273	
H <sub>u</sub> kJ/m <sup>3</sup> , kJ/kg	34.485	40.546	25.080	
Isıtma verimi (%)	90	80	65	
Faiz oranı, I, %	13			
Enflasyon oranı, d, %	12			
Ekonomik ömür, N, yıl	10			

Gümüşhane ili için optimum yalıtım kalınlıkları, farklı yakıt ve duvar tipi ile çeşitli yalıtım malzemelerine göre 0,03-0,10 m arasında değişmektedir. Şekil 5’te Tip 1 dış duvar tipi için optimum yalıtım kalınlıkları yakıt tipi ve yalıtım malzeme çeşitlerine göre verilmiştir. Yıllık enerji tasarrufu değerleri ise artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak artış gösterirken optimum yalıtım kalınlığı değerinde maksimum olmaktadır. Sonraki kalınlık değerlerinde azalma eğilimi görülmektedir. En yüksek enerji tasarruf değerleri Tip 1 dış duvar ve fuel-oil yakıtta en düşük değerleri ise doğalgaz yakıt ve Tip 3 dış duvarda elde edilmiştir. Tip 1 dış duvarda ısı kaybı diğer dış duvar çeşitlerine göre yüksek değerde olduğundan yalıtımla elde edilen enerji tasarrufu en yüksek değerdedir.



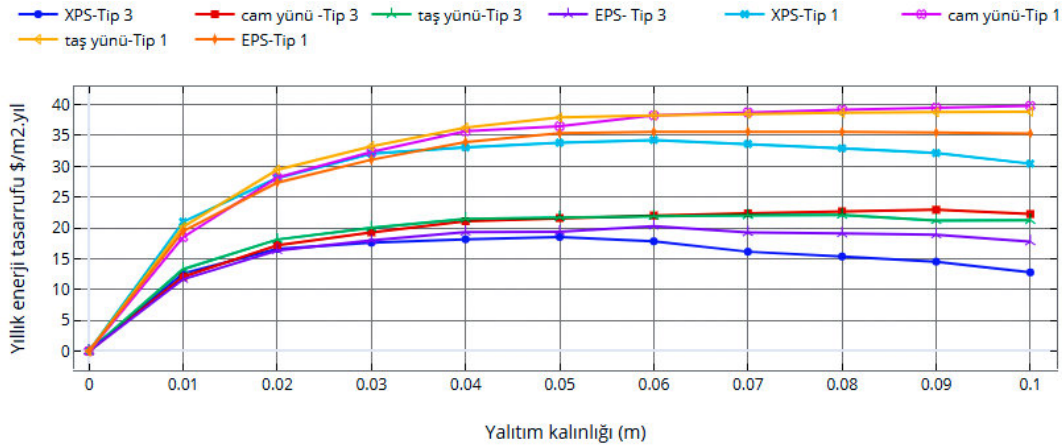
**Şekil 4.** Kömür, Tip 2 dış duvar ve EPS yalıtım malzemesi için yıllık maliyetlerin değişimi

Fuel-oil yakıtın alt ısıl değerinin diğer yakıtlara göre daha yüksek olması ve ısıtma veriminin de nispeten yüksek bir değerde olması enerji tasarrufu değerlerini artırmaktadır. Ayrıca en yüksek enerji tasarrufu değerleri tüm yakıt ve duvar tipleri için düşük maliyeti sebebiyle cam yünü ve taş yünü yalıtım malzemesinde, en düşük enerji tasarruf değerleri ise yüksek maliyeti nedeniyle XPS malzemesinde gözlenmiştir. Taş yünü ısı yalıtım malzemesi de EPS’ye göre daha yüksek enerji tasarruf değerlerine sahiptir. Şekil 6’da yıllık enerji tasarrufu değerlerinin Tip 1 ve Tip 3 dış duvar, fuel-oil yakıt tipi için yalıtım kalınlığı ve yalıtım malzemelerine göre değişimi verilmiştir.



Şekil 5. Tip 1 dış duvar tipi için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları

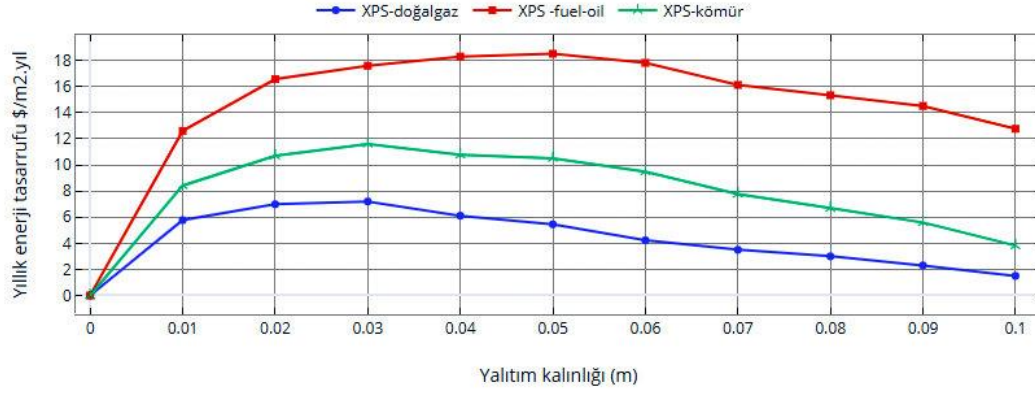
XPS ısı yalıtım malzemesi ve Tip 3 dış duvar tipi için yıllık enerji tasarruf değerlerinin yalıtım kalınlığına ve yakıt cinsine göre değişimi Şekil 7’de gösterilmiştir. Enerji tasarruf değerinin maksimum olduğu noktaya karşılık gelen yalıtım kalınlığı değeri optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Yakıt tipine göre en düşük enerji tasarrufu doğalgaz yakıtta, en yüksek enerji tasarrufu ise fuel-oil yakıtta elde edilmektedir. Tüm yakıt, duvar tipi ve yalıtım malzemelerine göre Gümüşhane ili için optimum yalıtım kalınlığında yıllık net enerji tasarruf değerleri 7,20-39,80 \$/m<sup>2</sup>.yıl arasında değişmektedir.



Şekil 6. Tip 1, Tip 3 ve fuel-oil yakıt için yıllık enerji tasarruf değerlerinin yalıtım kalınlığı ve yalıtım malzemesine göre değişimi

Geri ödeme süreleri, optimum yalıtım kalınlıkları ve net yıllık enerji tasarruf değerleri yakıt tipi, yalıtım malzemesi çeşidi ve farklı dış duvar konfigürasyonları için Tablo 3’te verilmiştir. Geri ödeme süreleri Tip 1 duvar tipinde en düşük, Tip 3 duvar tipi için en yüksek değerdedir. Ayrıca, XPS ve EPS yalıtım malzemeleri için maksimum, cam yünü ve taş yünü için minimumdur. XPS malzeme için daha düşük yalıtım kalınlıkları optimumken, cam yünü için yüksek ısı iletkenlik nedeniyle optimum yalıtım kalınlık değerleri artmaktadır. Farklı yalıtım malzemeleri ve yakıt ile duvar tipleri için geri ödeme süreleri 0,18-0,75 yıl arasında olup oldukça kısadır. Bu da binalara optimum yalıtım kalınlığında yalıtım yapılmasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Araştırma sonuçları, Kürekçi [21] çalışmasındaki sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu gözlenmiştir.





Şekil 7. XPS ve Tip 3 dış duvar için yakıt tiplerine göre yıllık enerji tasarruf değerleri

Tablo 3. Duvar ve yakıt tipleri için farklı yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri ve yıllık net enerji tasarruf değerleri

		XPS	Cam yünü	Taş yünü	EPS	
Tip 1	Xopt (m)	0,03	0,07	0,06	0,05	Doğalgaz
	GÖS (yıl)	0,37	0,25	0,24	0,38	
	NET (\$/m².yıl)	14,26	17,84	23,54	15,72	
	Xopt (m)	0,06	0,10	0,10	0,08	Fuel-oil
	GÖS (yıl)	0,32	0,19	0,24	0,30	
	NET (\$/m².yıl)	34,26	39,80	38,85	35,58	
	Xopt (m)	0,05	0,09	0,07	0,06	Kömür
	GÖS (yıl)	0,51	0,26	0,26	0,26	
	NET (\$/m².yıl)	21,36	26,05	25,36	23,32	
Tip 2	Xopt (m)	0,03	0,07	0,05	0,04	Doğalgaz
	GÖS (yıl)	0,49	0,36	0,34	0,39	
	NET (\$/m².yıl)	11,04	14,95	13,80	12,30	
	Xopt (m)	0,05	0,08	0,08	0,06	Fuel-oil
	GÖS (yıl)	0,33	0,18	0,21	0,25	
	NET (\$/m².yıl)	27,45	32,71	30,88	29,23	
	Xopt (m)	0,04	0,08	0,07	0,06	Kömür
	GÖS (yıl)	0,42	0,28	0,32	0,39	
	NET (\$/m².yıl)	16,96	21,45	20,80	18,63	
Tip 3	Xopt (m)	0,03	0,05	0,04	0,04	Doğalgaz
	GÖS (yıl)	0,75	0,39	0,40	0,61	
	NET (\$/m².yıl)	7,20	9,56	9,46	7,86	
	Xopt (m)	0,05	0,08	0,08	0,06	Fuel-oil
	GÖS (yıl)	0,49	0,29	0,34	0,36	
	NET (\$/m².yıl)	18,52	22,93	22,09	20,30	
	Xopt (m)	0,03	0,08	0,05	0,06	Kömür
	GÖS (yıl)	0,46	0,47	0,34	0,59	
	NET (\$/m².yıl)	11,62	14,33	14,02	12,30	

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma, Gümüşhane ilindeki binaların dış duvarı için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Farklı dış duvar konfigürasyonları, 20 cm gaz betonlu, 20 cm ve 13,5 cm tuğlalı dıştan yalıtımlı dış duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Farklı dış duvar konfigürasyonlarının çalışma kapsamında birlikte değerlendirmesi ve optimum yalıtım kalınlığı hesabında sadece ısı kayıplarının değil aynı zamanda iç ısı kazançları ile güneş enerjisi kazançlarının da dahil edilmesi literatüre katkıları arasındadır. Dış duvarda yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS, taşyünü, cam yünü ve yakıt olarak doğalgaz, kömür ve fuel-oil ele alınmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, tüm dış duvar konfigürasyonları için yalıtımsız dış duvardan olan ısı kayıp oranı ortalama % 32'dir. Gümüşhane ili için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları ise yalıtımsız tüm dış duvar tipleri için ortalama 69,32 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Tip 1 duvar tipinde optimum yalıtım kalınlıkları daha büyük, Tip 3'te ise en düşük değerdedir. Bunun sebebi Tip 1'deki tuğlanın kalınlığının düşük, iletkenlik katsayısının gaz betona göre yüksek olması ve dolayısıyla ısıl direncin düşük ve ısı kayıplarının yüksek olmasıdır. Ayrıca optimum yalıtım kalınlığı, XPS malzeme için en düşük, cam yünü en yüksek değeri almaktadır. Yakıt cinsine göre ele alındığında fuel oil için optimum yalıtım kalınlıkları maksimum, doğalgaz için minimumdur. Gümüşhane ili için optimum yalıtım kalınlıkları, farklı yakıt ve duvar tipi ile çeşitli yalıtım malzemelerine göre 0,03-0,10 m arasında değişmektedir.

En yüksek enerji tasarruf değerleri Tip 1 dış duvar ve fuel-oil yakıtta en düşük değerleri ise doğalgaz yakıt ve Tip 3 dış duvarda elde edilmiştir. Ayrıca en yüksek enerji tasarrufu değerleri tüm yakıt ve duvar tipleri için düşük maliyeti sebebiyle cam yünü ve taş yünü yalıtım malzemesinde, en düşük enerji tasarruf değerleri ise yüksek maliyeti nedeniyle XPS malzemesinde gözlenmiştir. Taş yünü ısı yalıtım malzemesi de EPS'ye göre daha yüksek enerji tasarruf değerlerine sahiptir. Tüm yakıt, duvar tipi ve yalıtım malzemelerine göre Gümüşhane ili için optimum yalıtım kalınlığında yıllık net enerji tasarruf değerleri 7,20-39,80 \$/m<sup>2</sup>.yıl arasında değişmektedir. Geri ödeme süreleri Tip 1 duvar tipinde en düşük, Tip 3 duvar tipi için en yüksek değerdedir. Ayrıca, XPS ve EPS yalıtım malzemeleri için maksimum, cam yünü ve taş yünü için minimumdur. Farklı yalıtım malzemeleri ve yakıt ile duvar tipleri için geri ödeme süreleri 0,18-0,75 yıl arasında olup oldukça kısadır. Bunun nedeni, optimum yalıtım kalınlığı hesabında sadece ısı kayıplarının değil aynı zamanda iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançlarının da birlikte değerlendirilmesidir.

#### Referanslar

[1] Comakli, K. ve Terhan, M. (2011). Sıcak su üretimim için baca gazı atık enerjinin kullanımı. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 124, 43-51.

[2] Kon, O. ve Yüksel, B. (2016). Farklı amaçlarla kullanılan binaların çatı, döşeme ve dış duvarları için ölçülerek hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 36(1), 17-27.

[3] Comakli, K. ve Terhan, M. (2016). Energy and economic analysis of heat recovery from boiler exhaust flue gas. International Journal of Energy and Power Engineering, 10(4),450-458.

[4] Keskin, T. (2010). Türkiye'nin ulusal iklim değişikliği eylem planının geliştirilmesi projesi, Binalar sektörü mevcut durum değerlendirmesi raporu. Erişim adresi <http://docplayer.biz.tr/201403-Binalar-sektoru-mevcut-durum-degerlendirmesi-raporu.html>

[5] Gürel, A. E. ve Daşdemir, A. (2011). Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü Dergisi, 27 (4), 346-352.

[6] Uzun, İ. (2013). Yönetmelikler ışığında ısı yalıtımı ve uygulamaları. EPSDER, İstanbul.

[7] Kaya, D. ve Öztürk, H. (2014). Isı yalıtımı ile enerji tasarrufu, Sanayide enerji yönetimi ve enerji verimliliği. Umuttepe Yayınevi, Kocaeli.

[8] Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalikuş, O., Kara, İ., Erdem, Ş., ve Özgür, D. (2015). Binalarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri. İMO Yapı Malzemeleri Komisyonu, 487(4), 62-75.

[9] Başoğul, Y., Demircan, C. and Keçebaş, A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for environmental impact reduction of pipe insulation. Applied Thermal Engineering, 101, 121-130.

[10] Keçebaş, A. (2012). Determination of insulation thickness by means of exergy analysis in pipe insulation, Energy Conversion and Management, 58, 76-83.

[11] Kayfeci, M. (2014). Determination of energy saving and optimum insulation thicknesses of the heating piping systems for different insulation materials, Energy and Buildings, 69, 278-284.

[12] Keçebaş, A., Alkan, M. A. and Bayhan, M. (2011). Thermo-economic analysis of pipe insulation for district heating piping systems. Applied Thermal Engineering, 31, 3929-3937.

[13] Keçebaş, A. (2015). Determination of optimum insulation thickness in pipe for exergetic life cycle assessment, Energy Conversion and Management, 105, 826-835.

[14] İlhan, U. (2018). Optimum insulation thickness for pipes in district heating systems, Journal of Mechanical and Energy Engineering, 42, 225-232.

[15] Zhang, L., Wang, Z., Yang, X. Jin, L., Zhang, Q. and Hu, W. (2017). Thermo-economic analysis for directly-buried pipes insulation of district heating piping systems. Energy Procedia, 105, 3369-3376.

[16] Yu, J., Yang C., Tian L. and Liao, D. (2009). A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, Applied Energy, 86(11), 2520-2529.

[17] Uçar, A., İnalli, M. and Balo, F. (2011). Application of three different methods for determination of optimum insulation thickness in external walls, Environmental Progress and Sustainable Energy, 30(4), 709-719.

[18] Kaynaklı, Ö., Mutlu, M. ve Kılıç, M. (2012). Bina duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kalınlığının enerji maliyeti odaklı optimizasyonu, Tesisat Mühendisliği, 126, 48-54.

[19] Dongmei, P., Mingyin C., Shiming D. and Zhongping, L. (2012). The effects of external wall insulation thickness on annual cooling and heating energy uses under different climates, Applied Energy, 97(C), 313-318.

[20] Çay, Y. and Gürel, A. E. (2013). Determination of optimum insulation thickness, energy savings, and environmental impact for different climatic regions of Turkey, Environmental Progress and Sustainable Energy, 32, 365-372.

[21] Kurekci, N. A. (2016), Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers, Energy and Buildings, 118, 197-213.