



Zeminle temas eden yapı kabuğunun ısı yalıtım kalınlığı için bir model önerisi

İsmail Ağa GÖNÜL*

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır
ismail@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0002-9833-7140, Tel: (412) 241 10 00 (3720)

Hatice ÇİÇEK

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır
htcgnl@gmail.com ORCID: 0000-0003-3271-1854, Tel: (412) 241 10 00 (3716)

Geliş: 09.09.2019, Revizyon:16.10.2019, Kabul Tarihi: 23.10.2019

Öz

Bu çalışmada, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenmesinde kullanılacak ve (1) zeminle temas eden yapı kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunabilen esneklikte olacak, (2) zeminle temas eden yapı kabuğu için, sadece ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri içinden ekonomik yarar açısından en uygununun seçilebilmesine olanak tanıyacak, (3) pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç verecek bir optimizasyon modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, öncelikle geliştirilecek optimizasyon modelinde kullanılacak ne tür ısı yalıtım kalınlık seçenekleri, optimizasyon prosedürleri ve hesaplama yöntemleri (toplam ısıtma maliyeti ile yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferini hesaplamak için) bulunduğu araştırılmış, daha sonra, bunlardan amaçlanan özelliklere sahip olanları belirlenerek yeni bir optimizasyon modeli için bir araya getirilmiştir.

Geliştirilen optimizasyon modeli, hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunmaktadır. Optimizasyon modelinin kullanılması ile elde edilecek ısı yalıtım kalınlıkları (0.01 m aralıklı 0.01-0.20 m arası kalınlıklar), piyasada bulunan veya üretimi standardizasyon açısından kabul edilebilir kalınlıklardır. Bu özellik, daha önce geliştirilen hiçbir optimizasyon modelinde bulunmamaktadır. Doğrulaması (validation) yapılmış hesaplama yöntemleri olan optimizasyon modelinden geliştirilen bilgisayar programı versiyonu sayesinde pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede sonuç alınabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: zemin; yapı kabuğu; ısı yalıtım kalınlığı; optimizasyon modeli; ekonomik analiz;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Yapılar için kullanılan enerjinin önemli bir bölümü yapıların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Yapılarda kullanılan ısıtma enerjisini azaltma yollarından biri de yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığını arttırmaktır. Ancak, yüklenici ve yapı kullanıcıları ısı yalıtımını da bir yatırım olarak değerlendirdikleri için bu kalınlığın ekonomik yarar açısından da uygun olması gerekmektedir.

Bu durumda, yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığının, yapının toplam ısıtma maliyeti (toplam yakıt maliyeti + toplam ısı yalıtım maliyeti) ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Şöyle ki, yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığı arttıkça, iç ortamda belli bir iç sıcaklığı sağlamak için ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gereken ısı enerjisi düşeceği için “toplam yakıt maliyeti” de düşecektir. Ancak, yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığı arttığı için bu kez “toplam ısı yalıtım maliyeti” artacaktır. Bu nedenle, değişen koşullara göre yapının toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacak belirli bir ısı yalıtım kalınlığı bulunmaktadır. Yapı kabuğunda bu kalınlıktan daha az veya daha fazla ısı yalıtım kullanılması ekonomik yarar açısından uygun olmayacaktır. Ekonomik yarar açısından en uygun olacak bu ısı yalıtım kalınlığı ise ancak bir optimizasyon modeli ile belirlenebilmektedir.

Yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığının ekonomik yarar ile ilişkilendirildiği birçok çalışma yapılmıştır (Açıkkalp ve Kandemir, 2019; Al-Sanea, 2005; Bolattürk, 2006; Çomaklı ve Yüksel, 2003; Dylewski ve Adamczyk, 2011; Evin ve Ucar, 2019; Gönül, 2008; Jie vd., 2018; Kalema, 2001; Kaynaklı, 2012; Nematchoua, 2017; Sevindir vd., 2017; Simona vd., 2017). Bunların çoğu, hava ile temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Oysaki özellikle il merkezlerinde arsa fiyatlarının yüksek olması, arsadan daha fazla yararlanmayı zorunlu kılmakta, bunun sonucu yapılar daha yükseklere tırmanırken yeraltına

doğru gelişme eğilimi de artmaktadır. Günümüzde insanların sürekli buldukları çarşı, sinema gibi mekânların zemin yüzeyi altındaki yapı kesiminde yer aldığı sık görülmektedir. Zeminle temas eden ısıtılan mekân sayısı ise sürekli artmaktadır. Bu tür mekânların zeminle temas eden kabuğu için de ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğini etkileyen değişkenler ise şu ana başlıklar altında sınıflandırılabilir:

- Yapının zeminle temas eden kabuğunun geometrik özellikleri,
- Yapının bulunduğu yerin iklimsel koşulları,
- Yapıda kullanılacak yakıt ile ilgili özellikler,
- Yapının temas ettiği zeminin ısı özellikleri,
- Yapının zeminle temas eden kabuk bileşenlerinin ısı özellikleri ve
- Yapıda kullanılacak ısı yalıtımının birim maliyeti

Değişken sayısının çokluğu, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi amacı ile kullanılacak optimizasyon modellerinin daha kompleks bir yapıda olmalarını gerektirmektedir. Bu amaçla geliştirilen optimizasyon modellerinin (Oak Ridge National Laboratory, 2002; Carmody vd., 1999) ise şu olumsuz özellikleri olduğu tespit edilmiştir: (1) İncelenen modeller, sadece belirli sayıda zeminle temas eden yapı kabuğu geometrisi konfigürasyonu için kullanılacak modellerdir. (2) İncelenen modellerin hiçbirisi, ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlıklarını dikkate almamaktadır. Bu nedenle, bu modellerin kullanılması ile elde edilecek ısı yalıtım kalınlıkları, sektörde hiçbir üretici firma tarafından üretilmeyen veya üretilmesi standardizasyon açısından uygun olmayan kalınlıklar olabilecektir. (3) İncelenen modellerde kullanılan optimizasyon prosedürleri olası tüm ısı yalıtım kalınlık seçeneklerini dikkate almadıklarından, optimum ısı yalıtım

kalınlık seçeneği belirlenmemektedir. İncelenen bu modellerde kullanılan hesaplama yöntemleri ile bu modellerin pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede sonuç alınabilmektedir. Ancak, yapının temas ettiği zeminin ısı özellikleri ile yapının zeminle temas eden kabuk bileşenlerinin ısı özellikleri kapsamındaki değişkenleri hesaplama yöntemlerinde doğru bir şekilde modellenememiştir. Bu durum modellerin kullanılması ile elde edilecek sonuçların doğruluk ve güvenilirliğini önemli ölçüde düşürmektedir.

Bu bağlamda;

- zeminle temas eden yapı kabuğunun (zeminle temas eden döşemesinin alanı, çevre uzunluğu ve zemin yüzeyine göre derinlik değerine bağlı) tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunabilen esneklikte olacak,
- zeminle temas eden yapı kabuğu için, sadece ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri içinden ekonomik yarar açısından en uygununun seçilebilmesine olanak tanıyacak ve
- pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınacak

bir optimizasyon modeline gereksinim duyulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı da, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi için belirtilen tüm bu özelliklere sahip bir optimizasyon modeli geliştirmektir.

Yöntem

Bir optimizasyon modelinin çalışma kapsamında amaçlanan özelliklere sahip olabilmesi için şu özelliklerde dört bileşeni olmalıdır:

1) Isı yalıtım kalınlık seçenekleri: Modelin, ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlıklarının,

zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenleri için tüm olası eşleşmelerini kapsayacak “ısı yalıtım kalınlık seçenekleri” olmalıdır.

2) Optimizasyon prosedürü: Modelin, modele özgü olan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri içinden hangisinin, bir yapının yaşam dönemi süresince zeminden kaynaklanan toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacağını hızlı ve doğru bir şekilde belirleyecek bir optimizasyon prosedürü olmalıdır.

3) Toplam ısıtma maliyetini hesaplama yöntemi: Gerekli olan toplam ısıtma maliyeti hesaplarında kullanılmak üzere, modelin pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınabilecek bir hesaplama yöntemi olmalıdır.

4) Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferini hesaplama yöntemi: Toplam ısıtma maliyeti, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferine de bağlıdır. Bu nedenle, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında kullanılacak bir hesaplama yöntemi de gerekmektedir. Bu bağlamda, modelin; yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında kullanılmak üzere;

- zeminle temas eden yapı kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunabilen esneklikte olacak ve
 - modelin pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınacak
- bir hesaplama yöntemi olmalıdır.

Bu nedenle, öncelikle geliştirilecek optimizasyon modelinde kullanılacak ne tür ısı yalıtım kalınlık seçenekleri, optimizasyon prosedürleri ve hesaplama yöntemleri bulunduğu araştırılmış ve bunlardan yukarıda belirtilen özelliklere sahip olanları belirlenerek yeni bir optimizasyon modeli için bir araya getirilmiştir.

Isı yalıtım kalınlık seçeneklerinin belirlenmesi

Hava ile temas eden yapı kabuğunda, ısı yalıtım, kabuk yüzeyi boyunca sabit kalınlıkta

uygulanmaktadır. Zeminle temas eden yapı kabuğunda ise, zemindeki sıcaklık dağılımının farklı olması, ısı kaybının en az olması için ısı yalıtımın zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca nasıl uygulanması gerektiğini belirleme sürecini daha kompleks hale getirmektedir (Choi ve Krarti, 2000). Şekil 1’de, zeminle temas eden yapı kabuğu için kullanılabilecek ısı yalıtım konfigürasyonları verilmiştir.



Şekil 1. Isı yalıtım konfigürasyonları

Isı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca sürekli değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonlarında, zemin sıcaklığının derinlik artışına bağlı olarak artması dolayısıyla, zeminle temas eden duvarda kullanılan ısı yalıtım kalınlığı derinlik arttıkça

sürekli azalmaktadır. Zeminle temas eden döşemede ise, köşeler zemin yüzeyine daha yakın olduğu için, döşemede kullanılan ısı yalıtım kalınlığı köşelerden ortaya doğru gidildikçe sürekli azalmaktadır.

Isı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca kademeli olarak değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonları, ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca sürekli değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonlarının uygulama zorluğu ve yüksek maliyeti nedeni ile kullanılabilecek alternatif bir yaklaşımdır. Labs tarafından önerilen bu tür konfigürasyonlarda, zemin sıcaklığına bağlı olarak ısı yalıtım kalınlığında sürekli değil de kademeli bir değişim gerçekleşmektedir (Choi ve Krarti, 2000).

Isı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonları ise, uygulamada en fazla kullanılan konfigürasyonlardır. Bu tür konfigürasyonlarda, zeminle temas eden duvar ve döşemede farklı ısı yalıtım kalınlıkları kullanılabilen ve zemin yüzeyine göre derinlik ile döşeme alanı arttıkça ısı yalıtım kalınlıkları azaltılabilmektedir.

Isı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca sürekli değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonları ile yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinde daha büyük oranlarda azalma sağlanabilir. Ancak, bu tür konfigürasyonlar, ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlık seçeneklerine sahip olan konfigürasyonlar değildir. Ayrıca, özel üretimden dolayı ısı yalıtım maliyetleri çok yüksek olacağı için ekonomik açıdan da uygun olmayacaklardır. Isı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca kademeli olarak değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonları ise oldukça kompleks hesaplama yöntemleri gerektirdikleri ve oldukça kompleks bu hesaplama yöntemlerinin modelde kullanılması durumunda, modelde bulunması amaçlanan özellikler elde edilemeyeceği için bu konfigürasyonlar kapsam dışı tutulmuştur. Bu

nedenle, model için sadece ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonları seçilmiştir.

Üretici firmaların genellikle 0.01 m aralıklı kalınlıklarda ısı yalıtım ürettiği belirlenmiştir. Çok olumsuz koşullar düşünülerek üst kalınlık sınırı da 0.20 m seçilmiştir. Bu durumda, model için, 0.01 m aralıklı 0.01-0.20 m arası tüm ısı yalıtım kalınlıkları dikkate alınmıştır.

Optimizasyon prosedürünün belirlenmesi

Toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenmesinde kullanılabilir çeşitli optimizasyon prosedürleri bulunmaktadır. Stoecker, bu prosedürleri beş ana başlık altında sınıflandırmıştır: (1) Hesap yöntemleri, (2) Arama yöntemleri, (3) Dinamik programlama, (4) Geometrik programlama, (5) Doğrusal programlama (Stoecker, 1989).

Geliştirilen modelde kullanılan amaç fonksiyonundaki (toplam ısıtma maliyeti fonksiyonu) eşitlikler, sürekli ve doğrusal olmadığı için bazı optimizasyon yöntemleri uygun olmamıştır. Örneğin, optimize edilecek toplam ısıtma maliyeti fonksiyonu sürekli olmadığı için süreksizlik noktalarında fonksiyonun türevi de olmayacağından, optimizasyon yöntemlerinden “hesap yöntemleri” kullanılamamıştır. Benzer şekilde, toplam ısıtma maliyeti fonksiyonundaki eşitlikler doğrusal olmadığı için, “doğrusal programlama” yöntemi de uygun olmamıştır. Dinamik programlama yönteminden elde edilecek sonuç ise optimum bir değer değil, optimum bir fonksiyon olacağı için değerlendirmeye alınmamıştır. Bu durumda, “arama yöntemleri” ve “geometrik programlama” arasından bir tercih yapılmak zorunda kalınmıştır. Modelde sadece sonlu ve belirli sayıda ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin sınanması amaçlanmıştır. Bu nedenle, arama yöntemlerine özgü bir tekniğin kullanılması daha pratik bulunduğundan, model için bu optimizasyon prosedürü seçilmiştir.

Toplam ısıtma maliyetini hesaplama yönteminin belirlenmesi

Amaç, toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenmesi olduğu için, modelde toplam ısıtma maliyetinin hesaplanmasında kullanılacak bir hesaplama yöntemi gerekmektedir. Literatür taraması sonucu elde edilen bilgilere göre, yaşam dönemi maliyeti (life cycle costing) adı verilen hesaplama yöntemi, bu amaçla kullanılabilir tek hesaplama yöntemidir. Bu nedenle, model için toplam ısıtma maliyeti hesaplarında kullanılmak üzere bu hesaplama yöntemi seçilmiştir.

Yaşam dönemi maliyetinde iki temel maliyet dikkate alınmaktadır: (1) Yatırım maliyeti (2) İşletme maliyeti. Toplam maliyet, yatırım maliyeti ve işletme maliyetinin toplamından oluşmaktadır. Ancak, gelecekte farklı dönemlerde farklı miktarlarda maliyet değerleri oluşacaktır. Yaşam dönemi maliyeti hesaplama yönteminde, bu maliyetlerin parasal değerlerinde zaman bakımından oluşan farkları ortadan kaldırmak ve bu değerleri eşdeğer hale getirmek için, genellikle eşdeğerlik kavramına dayalı yöntemlerden bugünkü değer yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ile bu tür maliyetlerin bugünkü değerde karşılığı bulunarak toplam maliyete etkisi belirlenebilmektedir.

Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferini hesaplama yönteminin belirlenmesi

Toplam ısıtma maliyeti, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferine bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Bu nedenle, modelde, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında kullanılabilir bir hesaplama yöntemi de gerekmektedir. Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinin belirlenebilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler üç ana başlık altında sınıflandırılabilir: (1) Analitik ve yarı analitik yöntemler, (2) Nümerik yöntemler, (3) Basitleştirilmiş yöntemler.

Model için, yapılardan zemin yolu ile

gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında, “ISO 13370: Thermal performance of buildings- Heat transfer via the ground- Calculation Methods” (ISO 13370, 1998) adlı standartta verilen hesaplama yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem, model için uygun özellikleri olan basitleştirilmiş hesap yöntemlerinden biridir.

Bulgular ve tartışma

Modelin esnekliği

Zeminin ısı ortamı havadan farklıdır. Zemin yüzeyi, ısı olarak hava sıcaklığı ve güneş ışınımından etkilenmekte ve bu etki zeminin belirli bir derinliğine kadar görülebilmektedir. Zemin yüzeyi sıcaklığının, hava ve güneşten etkilenmesi ve bu sıcaklığın zemin içine transfer edilmesine rağmen, zeminin ısı depolama özelliği zemin içindeki bu sıcaklık transferinin gecikmesine neden olmaktadır. Bu olaya, zaman gecikmesi etkisi (time lag effect) denmektedir. Bu nedenle, zemin sıcaklığı yaz aylarında derinlik arttıkça azalmakta, kış aylarında ise artmaktadır. Hem yaz hem de kış aylarında, belirli bir derinlikten sonra zemin sıcaklığı sabit kalmaktadır (Kim ve Kim, 2004). Zeminin bu özelliğinden dolayı, zeminle temas eden yapı kabuğu üzerinden gerçekleşen ısı transferi miktarı, zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik (boyut ve biçim) özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu durum, bir modelin zeminle temas eden yapı kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunabilmesi için zeminle temas eden yapı kabuğunun hem duvar hem de döşeme bileşenleri için aynı anda hesaplama yapabilecek kompleks yapıda bir hesaplama yöntemine sahip olmasını gerektirir.

Geliştirilen model, hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunmaktadır. Bu amaçla, modelde, hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunan bir hesaplama yöntemi (ISO 13370) kullanılmaktadır. Model, bir kısmında bodrum kat, diğer kısmında bodrum kat

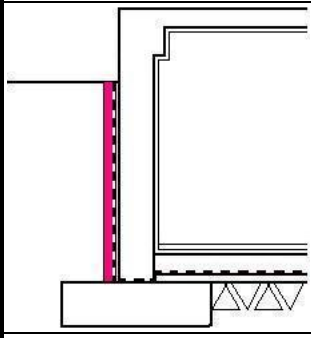
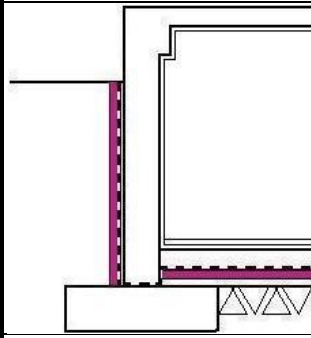
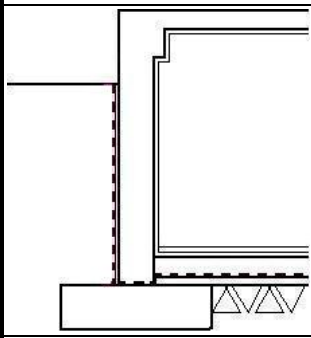
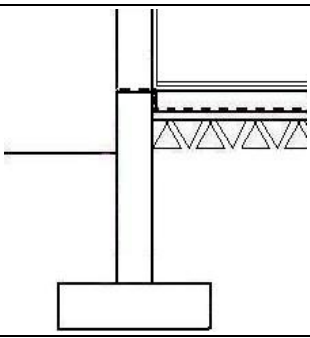
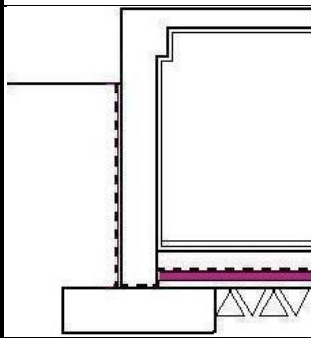
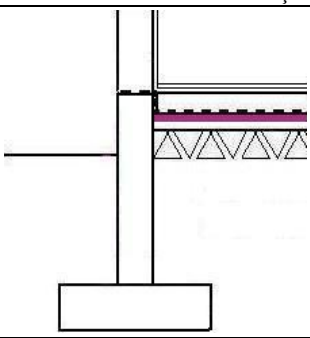
olmayan yapılar için ise yaklaşık bir değerlendirme olanağı sunmaktadır.

Modelin ısı yalıtım kalınlık seçenekleri

Model, zeminle temas eden yapı kabuğu için, sadece ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri içinden ekonomik yarar açısından en uygununun seçilebilmesine olanak tanımaktadır. Bu nedenle, modelin, ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlıklarının (0.01 m aralıklı 0.01-0.20 m arası tüm ısı yalıtım kalınlıklarının), zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenleri için, ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonları kapsamındaki tüm olası eşleşmelerini kapsayan “ısı yalıtım kalınlık seçenekleri” bulunmaktadır.

Modelin, bodrum katlı yapıların zeminle temas eden yapı kabuğu için, sadece duvar veya sadece döşemede ısı yalıtımın kullanılacağı konfigürasyonlar ile hem duvar hem de döşemede aynı anda ısı yalıtımın kullanılacağı veya kullanılmayacağı konfigürasyonlar kapsamında toplam 441 adet ısı yalıtım kalınlık seçeneği bulunmaktadır. Modelin, bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden yapı kabuğu için ise, sadece döşeme bileşeni olmasından dolayı döşemede ısı yalıtımın kullanılacağı veya kullanılmayacağı konfigürasyonlar kapsamında toplam 21 adet ısı yalıtım kalınlık seçeneği bulunmaktadır. (Şekil 2).

Modelde, zeminle temas eden yapı kabuğu için, bu ısı yalıtım kalınlık seçenekleri içinden ekonomik yarar açısından en uygununun seçilebilmesine olanak tanıyan bir optimizasyon prosedürü kullanılmaktadır. Bu nedenle, modelin kullanılması ile elde edilecek ısı yalıtım kalınlıkları, piyasada bulunan veya üretimi standardizasyon açısından kabul edilebilir kalınlıklardır. Bu özellik, daha önce geliştirilen hiçbir optimizasyon modelinde bulunmamaktadır.

KONFIGÜRASYON		ISIL YALITIM KALINLIK SEÇENEKLERİ
BODRUM KATLI	BODRUM KATI OLMAYAN	
A. DUVAR ISIL YALITIMLI. DÖŞEME ISIL YALITIMSIZ		
	-	$(d_{iw} - d_{if})^1$ (0.01 - 0.00) (0.11 - 0.00) (0.02 - 0.00) (0.12 - 0.00) (0.03 - 0.00) (0.13 - 0.00) (0.04 - 0.00) (0.14 - 0.00) (0.05 - 0.00) (0.15 - 0.00) (0.06 - 0.00) (0.16 - 0.00) (0.07 - 0.00) (0.17 - 0.00) (0.08 - 0.00) (0.18 - 0.00) (0.09 - 0.00) (0.19 - 0.00) (0.10 - 0.00) (0.20 - 0.00)
B. DUVAR ISIL YALITIMLI. DÖŞEME ISIL YALITIMLI		
	-	$(d_{iw} - d_{if})^1$ (0.01 - 0.01); (0.01 - 0.02)...(0.01 - 0.20) (0.02 - 0.01); (0.02 - 0.02)...(0.02 - 0.20) (0.03 - 0.01); (0.03 - 0.02)...(0.03 - 0.20) . . . ; ; ; (0.17 - 0.01); (0.17 - 0.02)...(0.17 - 0.20) (0.18 - 0.01); (0.18 - 0.02)...(0.18 - 0.20) (0.19 - 0.01); (0.19 - 0.02)...(0.19 - 0.20) (0.20 - 0.01); (0.20 - 0.02)...(0.20 - 0.20)
C. ISIL YALITIMSIZ		
		$(d_{iw} - d_{if})^1$ (0.00 - 0.00)
D. DUVAR ISIL YALITIMSIZ. DÖŞEME ISIL YALITIMLI		
		$(d_{iw} - d_{if})^1$ (0.00 - 0.01) (0.00 - 0.11) (0.00 - 0.02) (0.00 - 0.12) (0.00 - 0.03) (0.00 - 0.13) (0.00 - 0.04) (0.00 - 0.14) (0.00 - 0.05) (0.00 - 0.15) (0.00 - 0.06) (0.00 - 0.16) (0.00 - 0.07) (0.00 - 0.17) (0.00 - 0.08) (0.00 - 0.18) (0.00 - 0.09) (0.00 - 0.19) (0.00 - 0.10) (0.00 - 0.20)

¹⁾ d_{iw} duvarda kullanılacak, d_{if} ise döşemede kullanılacak ısı yalıtımın metre cinsinden kalınlığıdır.

Şekil 2. Geliştirilen modelin ısı yalıtım kalınlık seçenekleri

Modelin doğruluğu, güvenilirliği ve pratikliği

Modelden pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınabilmektedir.

Modelde, toplam ısıtma maliyetinin hesaplanmasında kullanılan hesaplama yöntemi (yaşam dönemi maliyeti), bir sistemin veya bileşenin tüm yaşam dönemi süresince oluşacak maliyetlerinin analizi için doğru ve güvenilir sonuçlar alınabilecek bir hesaplama yöntemidir. Modelde, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında kullanılan hesaplama yöntemi (ISO 13370) ise, üç boyutlu simülasyon moduna sahip olması, hem kararlı haldeki hem de periyodik ısı akışlarını dikkate alması gibi elde edilecek sonuçların doğruluk düzeyini arttıracak önemli özellikleri olan bir hesaplama yöntemidir.

Hesaplama yöntemlerinde bazı parametrelerin etkileri dikkate alınmadığı zaman bazı varsayımlarda bulunulmuş olmaktadır. Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferini belirlemek için geliştirilen çoğu hesaplama yönteminde bazı varsayımlarda bulunulmaktadır. ISO 13370'de de bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlardan bazıları şunlardır: ISO 13370, zeminin ısı iletkenliğinin ve ısı kapasitesinin tüm zemin bölgesinde aynı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Ayrıca, nemden kaynaklanan ısı transfer mekanizmalarını dikkate almamakta, sadece birçok durumda zeminde en etkin olan ısı transfer mekanizması olan kondüksiyon yolu ile gerçekleşen ısı transferini hesaplamaktadır. ISO 13370'deki bu varsayımların dikkate alındığı bir çalışmada (Janssen vd., 2004), ısı ve nem transferinin birlikte ele alındığı dinamik bir nümerik hesaplama yöntemi ile iki boyutlu hesaplamalar için dahi iki günlük bir bilgisayar hesaplama süresi gerekmektedir. Böyle bir hesaplama yönteminin pratik olarak kullanılma olasılığı yoktur. Ayrıca, benzer bir çalışmadan elde edilen verilere göre, zemin yüzeyindeki nem içeriğinin artmasının, hem bodrum katı olmayan hem de bodrum katlı yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferine etkisinin kış mevsiminde çok düşük olduğu görülmektedir (Deru, 2001). Bu durumda, bir yapının ısıtma enerjisi ihtiyacının belirlenmesinde kullanılacak bir hesaplama yönteminde, bu parametrenin modellenmesinin, elde edilecek sonuçlara önemli bir etkisi olmayacaktır. Bir hesaplama

yönteminin doğruluğunun belirlenebilmesi için en etkili yol, bu hesaplama yönteminden elde edilen sonuçların, alan çalışmalarından elde edilen gerçek sonuçlarla karşılaştırılmasıdır. ISO 13370, böyle bir alan çalışmasından (Thomas ve Rees, 1999) elde edilen gerçek sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçların oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, ISO 13370, doğrulaması (validation) yapılmış bir hesaplama yöntemidir.

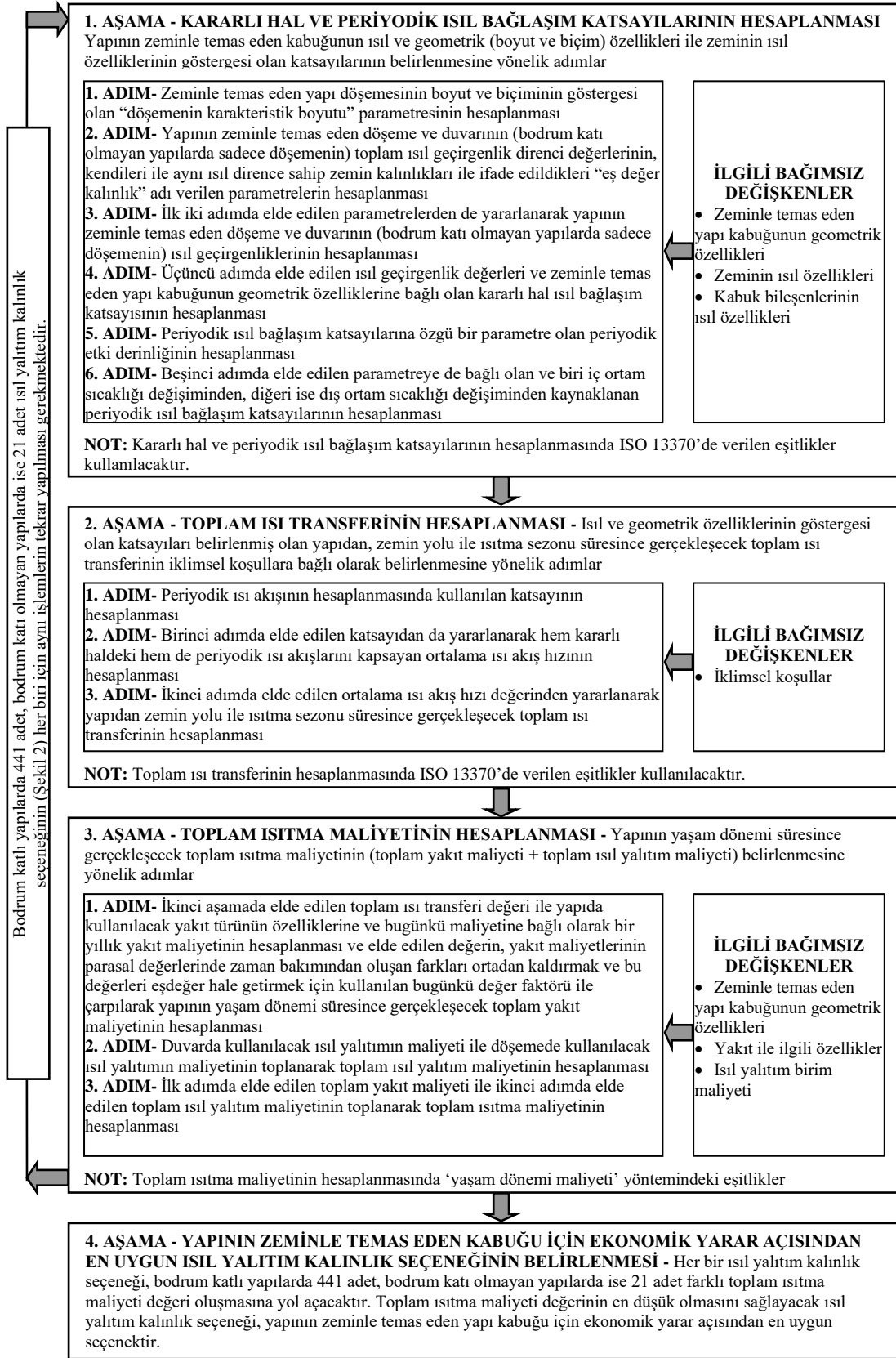
Modelden pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede sonuç alınabilmektedir. Modelde kullanılan hesaplama yöntemleri, kısa sürede sonuç alınmasına olanak tanımaktadır. Ancak, modelde kullanılan optimizasyon prosedürü (Şekil 3), her bir ısı ıyalıtım seçeneği için ayrı hesaplama yapılmasını gerektirdiği için, klasik bir el hesap makinesi kullanarak sonuç alınması uzun sürebilmektedir. Bu nedenle, hızlı bir şekilde sonuç alınabilmesi için, modelin bir bilgisayar programı versiyonu geliştirilmiştir. Bu amaçla, modelde dikkate alınan ısı ıyalıtım kalınlık seçenekleri, kullanılan optimizasyon prosedürü ve hesaplama yöntemleri, Microsoft Excel'de kurulmuştur.

Bilgisayar programının kullanıcı arayüzü olarak dizayn edilen sayfası (Şekil 4), girdilerin ve çıktıların yer aldığı iki ana bölümden oluşmaktadır.

Girdiler bölümünde hesaplama yöntemlerinin bağımsız değişkenleri altı ana başlık altında yer almaktadır:

- 1) Zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özellikleri
- 2) İklimsel koşullar
- 3) Yakıt ile ilgili özellikler
- 4) Zeminin ısı ıyalıtım özellikleri
- 5) Kabuk bileşenlerinin ısı ıyalıtım özellikleri
- 6) Isı ıyalıtım birim maliyeti

Girdiler bölümünde bağımsız değişkenler sadece sembolleri ile yer almıştır fakat mouse, sembolün yer aldığı hücreye getirildiğinde simgenin açıklaması ve birimi görülebilmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Geliştirilen modelde kullanılan optimizasyon prosedürü

ZEMİNLE TEMAS EDEN YAPI KABUĞUNUN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ			İKLİSEL KOŞULLAR					
A	P	z	T_i	T_e	Yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklığı, (°C)	n	N	
2500	200	3	20	12,2		8	243	
GİRDİLER			YAKIT İLE İLGİLİ				ZEMİNİN ISIL ÖZELLİKLERİ	
	C_f	η_s	LHV	PWF	λ_f	ρc		
	1,063	0,8	41344650	12,71	2	2000000		
KABUK BİLEŞENLERİNİN ISIL ÖZELLİKLERİ				ISIL YALITIM BİRİM MALİYETİ				
R_w	R_f	w	λ_i	R_{siw}	R_{sif}	C_{il}	C_{if}	C_{iz}
0,168	0,112	0,3	0,03	0,13	0,17	157	150	178
ÇIKTILAR		EN UYGUN ISIL YALITIM KALINLIK SEÇENEĞİ	TOPLAM ISIL YALITIM MALİYETİ (\$)	TOPLAM YAKIT MALİYETİ (\$)	TOPLAM ISITMA MALİYETİ (\$)	EKONOMİK YARAR (%)		
	DUVAR İÇİN	DÖŞEME İÇİN						
	0,06	0	5400	45972	51372	35		

Şekil 4. Bilgisayar programında kullanıcı arayüzü

Çıktılar bölümünde ise, bilgisayar programının kullanılması ile elde edilecek sonuçlar beş ana başlık altında yer almaktadır:

- 1) En uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneği (duvar ve döşeme için, m)
- 2) Toplam ısı yalıtım maliyeti, USD
- 3) Toplam yakıt maliyeti, USD
- 4) Toplam ısıtma maliyeti, USD
- 5) Ekonomik yarar, %

Bilgisayar programına, hesaplama yöntemlerinin bağımsız değişkenleri ile ilgili değerler girildikten hemen sonra sonuç alınabilmektedir. Tüm hesaplamalar, optimizasyon prosedürüne uygun olarak program tarafından yapılmaktadır.

Sonuç

Bu çalışmada, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir.

Geliştirilen modelin özellikleri şunlardır:

- Model, hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden

kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunmaktadır.

- Model, zeminle temas eden yapı kabuğu için, sadece ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri içinden ekonomik yarar açısından en uygununun seçilebilmesine olanak tanımaktadır (Bu özellik, daha önce geliştirilen hiçbir optimizasyon modelinde bulunmamaktadır).
- Modelden pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınabilmektedir.

Bir modelin problem çözümüne katkı yapması için şu iki kritere uygun olması gerektiği düşünülmektedir: Modelin, konu ile ilgili tasarımcılar tarafından tercih edilmesine neden olacak özellikleri bulunmalı ve bu modelin kullanılması ile yüklenici ve yapı kullanıcılarının ekonomik yararına olacak sonuçlar elde edilmelidir. Bu bağlamda, geliştirilen modelin bu iki kritere de uygun olduğu düşünüldüğünden uygulamada kullanılması ve böylece problem çözümüne önemli bir katkı sağlaması umulmaktadır.

Bu konu ile ilgili çalışma yapacak kişilere ise şu öneride bulunulabilir: Zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde hangi kalınlıklarda ısı yalıtım kullanılmasının en uygun çözüm olacağı yapılarda kullanılan ısıtma enerjisinin hangi amaçla azaltılmak istendiğine bağlıdır. Bu çalışmada öncelikli amaç ekonomik yarar olarak belirlenmiştir. Ekonomik yarar açısından en uygun olan ısı yalıtım kalınlıkları aynı zamanda mutlaka çevresel yarar da sağlayacaktır. Ancak, öncelikli amacın çevresel yarar olacağı çalışmalar da yapılabilir. Bu durumda, ölçüt olarak çevreye zararlı emisyonlar alınabilir.

Kaynaklar

- Açıkkalp, E. ve Kandemir, S.Y., (2019). A method for determining optimum insulation thickness: Combined economic and environmental method, *Thermal Science and Engineering Progress*, 11, 249-253.
- Al-Sanea, S.A., Zedan, M.F. and Al-Ajlan, S.A., (2005). Effect of electricity tariff on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model, *Applied Energy*, 82, 313-330.
- Bolattürk, A., (2006). Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 26, 1301-1309.
- Carmody, J., Christian, J. and Labs, K., (1991). *Builder's foundation handbook*, U.S. Department of Energy, USA.
- Choi, S. ve Krarti, M., (2000). Thermally optimal insulation distribution for underground structures, *Energy and Buildings*, 32, 251-265.
- Çomaklı, K. and Yüksel, B., (2003). Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, *Applied Thermal Engineering*, 23, 473-479.
- Deru, M., (2001). A model for ground-coupled heat and moisture transfer from buildings, *Doktora tezi*, Colorado State University, USA.
- Dylewski, R. ve Adamczyk, J., (2011). Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls, *Building and Environment*, 46, 2615-2623.
- Evin, D. ve Ucar, A., (2019). Energy impact and eco-efficiency of the envelope insulation in residential buildings in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 154, 573-584.
- Gönül, İ.A., (2008). Zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik ısı yalıtım kalınlığının seçilmesinde kullanılabilir bir model, *Doktora tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- ISO 13370, (1998). Thermal performance of buildings- Heat transfer via the ground- Calculation Methods, *The International Organization for Standardization*, Switzerland.
- Janssen, H., Carmeliet, J. ve Hens, H., (2004). The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground, *Building and Environment*, 39, 825-836.
- Jie, P., Zhang, F., Fang, Z., Wang, H. ve Zhao, Y., (2018). Optimizing the insulation thickness of walls and roofs of existing buildings based on primary energy consumption, global cost and pollutant emissions, *Energy*, 159, 1132-1147.
- Kalema, T., (2001). Optimisation of the thermal performance of buildings- The OPTIX program, *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, 2, 1-22.
- Kaynaklı, Ö., (2012). A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 415-425.
- Kim, B.S. and Kim, K., (2004). Analyses on thermal insulation performance of earth-covered wall for residential underground space by using a numerical simulation program, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 3, 259-266.
- Nematchoua, M.K., Ricciardi, P., Reiter, S. ve Yvon, A., (2017). A comparative study on optimum insulation thickness of walls and energy savings in equatorial and tropical climate, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6, 170-182.
- Oak Ridge National Laboratory, (2002). *Insulation fact sheet*, U.S. Department of Energy Report DOE/CE-0180/with Addendum 1, USA.
- Sevindir, M.K., Demir, H., Ağra, Ö., Atayılmaz, Ö. ve Teke, İ., (2017). Modelling the optimum distribution of insulation material, *Renewable Energy*, 113, 74-84.
- Simona, P.L., Spiru, P. ve Ion, I.V., (2017). Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation, *Energy Procedia*, 128, 393-399.
- Stoecker, W.F., (1989). *Design of thermal systems*, McGraw Hill, USA.
- Thomas, H.R. and Rees, S.W., (1999). The thermal performance of ground floor slabs- a full scale in-situ experiment, *Building and Environment*, 34, 139-164.

A model proposal for the thermal insulation thickness of the building envelope that contacts the ground

Extended abstract

In this study, it was aimed to develop an optimization model which can be used for determining the most appropriate thermal insulation thickness option in terms of economic benefit for the building envelope that contacts the ground and which will

- *be flexible enough to account for all geometrical properties of the building envelope that contacts the ground,*
- *determine the most appropriate thermal insulation thickness option in terms of economic benefit among the thermal insulation thickness options that are acceptable in terms of product standardization,*
- *give accurate and reliable results in a short time that will make the model useful in practical terms.*

Such an optimization model should have the following components: Thermal insulation thickness options, optimization procedure, calculation method for the total heating cost and calculation method for the total heat transfer through the ground. In this context, first, thermal insulation thickness options, optimization procedures, and calculation methods were investigated, and then the ones that had the desired features were merged to form a new optimization model.

The developed model offers calculation chance for all the geometric properties of the ground contact envelope of both the buildings that have a basement floor and the buildings that have a slab-on-ground. For this purpose, in the model, a calculation method (ISO 13370) is used which can give results for all geometrical properties of the building envelope that contacts the ground.

Model can determine the most appropriate insulation thickness option in terms of economic benefit for the building envelope that contacts the ground among the thermal insulation thickness options that are acceptable in terms of product standardization. The model has “thermal insulation thickness options” which cover all possible matching of thermal insulation thicknesses (all

thicknesses between 0.01 and 0.20 m with a range of 0.01 m), that are acceptable in terms of product standardization. In the model, an optimization procedure is used that allows the selection of the most appropriate option in terms of economic benefit from these thermal insulation thickness options for the building envelope that contacts the ground. Therefore, the thermal insulation thicknesses obtained by using the model are those available on the market or acceptable for production standardization. This feature is not available in any previously developed optimization model.

Accurate and reliable results can be obtained from the model in a short time to ensure that it can be used practically. In the model, the calculation method (life cycle costing) used in the calculation of the total heating cost is a calculation method that can give accurate and reliable results for the analysis of the costs of a system or component during the whole life cycle. In the model, the calculation method (ISO 13370) which is used to calculate the total heat transfer through the ground, is a calculation method that has important features that will increase the accuracy level of the results to be obtained such as having a three-dimensional simulation mode and considering both steady-state and periodic heat flows. The calculation methods used in the model can give results in a short time. However, since the optimization procedure used in the model requires separate calculations for each thermal insulation thickness option, it may take a long time to obtain results using a conventional handheld calculator. Therefore, a computer program version of the model has been developed in order to obtain fast results.

In order for a model to contribute to problem solving, it is considered that it must meet the following two criteria: The model should have features that will make it preferred by the relevant designers, and the results obtained by the use of this model should be economically beneficial for the contractor and building users. In this context, since the developed model is considered to meet both criteria, it is hoped that it will be used in practice and thus make an important contribution to problem solving.

Keywords: *ground, building envelope, thermal insulation thickness, optimization model, economic analysis*