



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **AKDENİZ İKLİMİ İÇİN YÜKSEK PERFORMANSLI BİNA KABUĞU TASARIMINA YALITIM KATMANININ DİNAMİK ETKİSİ**

**BURHAN YÖRÜK  
AHMET ARISOY  
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**



# AKDENİZ İKLİMİ İÇİN YÜKSEK PERFORMANSLI BİNA KABUĞU TASARIMINA YALITIM KATMANININ DİNAMİK ETKİSİ

**Burhan YÖRÜK**  
**Ahmet ARISOY**

## ÖZET

Türkiye’de ve dünyada toplam enerji tüketiminin %30-40’ı binalarda olmaktadır. Bu tüketimin azalması yönünde yoğun olarak çalışılmaktadır. Yüksek enerji performanslı binalar, sürdürülebilir binalar, sıfır enerjili binalar gibi yeni kavramlar ortaya çıkmakta ve binalardaki, özellikle fosil kaynaklı enerji tüketiminin mümkün olduğu kadar azaltılması ve hatta sıfırlanması hedeflenmektedir. Bunun mümkün olabilmesi için alınabilecek önlemlerin arasında bina dış kabuğunun uygun tasarımı büyük önem arz etmektedir. Bu uygun tasarımın birinci ögesi dış kabuğun ısı yalıtımıdır. Yalıtım kalınlıklarının artırılması, özellikle ısıtma amaçlı enerji tüketiminin azaltılmasında çok önemlidir. Isıtma ağırlıklı soğuk iklimlerde yalıtım kalınlığı mümkün olduğu kadar artırılmalıdır. Ancak Akdeniz iklimi gibi sıcak iklimlerde, soğutma sistemlerinin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla birlikte, yıllık enerji tüketiminde soğutma amacıyla harcanan enerji daha büyük paya sahip olmaya başlamıştır. **Soğutma amacıyla sıcak iklimlerde harcanan enerji miktarının azaltılması için, yine mümkün olduğu kadar kalın bir dış kabuk yalıtım tabakasına gereksinim var mıdır?**

Soğutma işi içine girdiğinde, dinamik bir yük karakteri ortaya çıkmaktadır. Yazın ve özellikle ara mevsimlerde ısı kazancı gün içinde değişmekte ve belirli saatlerde bu kazanç, kayba dönüşmektedir. Bu durumda bina dış kabuğunun dinamik davranışları önem kazanmaktadır. Dış kabuğun kütlesi önemli bir parametre olmaktadır ve belirli dönemlerde dış kabuğun ısı kaybedebilme özelliği olması istenmektedir. Soğutma enerjisi tüketiminin azaltılması, dinamik karaktere uygun bir dış kabuk tasarımıyla mümkündür. Bu durumda dış kabuk ısı yalıtım kalınlığının artırılması tersine etki yapabilmektedir. Hatta bazı durumlarda duvarın hiç yalıtılmaması daha iyi sonuç verebilmektedir.

Bu çalışmada yalıtım katmanının, özellikle Akdeniz iklim bölgesi için bina enerji performansında belirleyici etken olan soğutma enerjisi ihtiyacına etkisi incelenmiştir. Yalıtımın kalınlığı yanında içten veya dıştan yapılması, dış duvar kütlesi gibi parametreler de çalışılmıştır. Bu amaçla örnek bir şehir ve bina seçilerek bir “case study” yapılmıştır. Çalışmada sayısal çözümler, EnergyPlus programı ile yapılmıştır. Belirli kabuller altında elde edilen çıktılar tartışılarak, belirli sonuçlara ulaşılmıştır.

Isıtma ağırlıklı iklimler için geliştirilen stratejilerin soğutma enerjisi ihtiyacının azaltılmasında yeterli olmadığı ve yıllık toplam soğutma enerjisi ihtiyacının iyileştirilmesi için soğutma durumunun dinamik doğasından faydalanılması gerektiği ulaşılan ana sonuçtur.

**Anahtar Kelimeler:** Isı yalıtım kalınlığı, Akdeniz iklimi, enerji tasarrufu

## ABSTRACT

Energy consumption in buildings corresponds 30-40% of the total energy consumption in the World and in the Turkey. There are extensive efforts in this direction. Energy efficient buildings, sustainable buildings and zero energy buildings are new concepts and the target of all those new concepts is

reducing fossil fuel originated energy consumption. Among the design strategies in this direction, suitable design of the building outer skin has great importance. The very first element of this suitable design is the thermal insulation of the walls. Increasing thickness of the thermal insulation layer is very gainful for reducing the heating energy requirement for cold climates. However in hot climates like Mediterranean region, with the developing and spreading air conditioning systems, the share of cooling energy demand in annual total energy consumption is increasing. **Do we need to increase thermal insulation layer thicknesses to reduce the cooling energy consumption in hot climates too?**

When cooling is considered, dynamic characteristics of cooling load involve in the problem. In summer and especially in intermediate seasons, heat gains change dramatically during the day and night and the heat gain during day time turns to a heat lost during the night time. Dynamic behavior of outer walls plays an important role in this case. Mass of outer skin is an important parameter in these circumstances and the wall is needed to be able to lose heat at certain hours. Reducing cooling energy demand can only be achieved by a suitable design of the outer skin of the building. Increasing insulation thickness in this case can even act reversely.

Effect of insulation layer on thermal performance of buildings, especially in Mediterranean region, has been investigated in this study. Applying insulation layer from inside or from outside, mass of walls and other related parameters has been studied. A sample city (İzmir) and a sample building have been selected and a case study has been studied. Numerical analyses have been carried out by using Energy Plus package program. Based on the simplifying assumption, outputs have been discussed and some certain conclusions have been reached. Strategies which are valid for heating weighted climates cannot be applied directly for the cooling load reduction purposes. Suitable new design strategies should be developed considering the dynamic behavior of the walls in hot climates.

**Key Words:** Thermal insulation thickness, Mediterranean climate, energy efficient buildings.

## 1. GİRİŞ

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın raporuna göre, Türkiye'de binalarda tüketilen toplam enerji 1973 yılında 117,19 milyar kWh olarak gerçekleşirken, 2008 yılına gelindiğinde %124 artarak 262,86 milyar kWh'a çıkmıştır [1]. Bu değer Türkiye'nin toplam enerji tüketiminin %30,3'üne denk gelmektedir. Dolayısıyla binalardaki tüketilen enerjinin büyük bir kısmını oluşturan ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarında yapılacak bir iyileştirmenin, enerji ihtiyacının çok büyük bir bölümünü ithal eden Türkiye için gerekli olduğu gerçeği yadsınamaz.

Binalarda ısıtma ve soğutma için harcanacak enerjinin büyük bir bölümü, bina kabuğundan olan ısı kaybı ve kazançları ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle bina kabuğu, bina enerji performansının artırılmasında büyük önem taşımaktadır.

Yunanistan'da apartman binalarındaki enerji tasarrufu potansiyeli üzerine çalışma yapan Balaras ve arkadaşları, Yunanistan'daki 3 iklim bölgesi için duvarlar, çatı ve döşemede yalıtımın iyileştirilmesi ve düşük infiltrasyon stratejileri geliştirilmesiyle %20-%40 oranında enerji tüketiminde iyileştirme yapılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Aynı çalışmada gölgeleme elemanları ve açık renk duvar ve çatı kullanılarak soğutma yükünün %30'a kadar azaltılabileceği vurgulanmıştır [2].

Bu çalışmada yalıtım katmanının, özellikle Akdeniz iklim bölgesi için bina enerji performansında belirleyici etken olan soğutma enerjisi ihtiyacına etkisi incelenmiştir. Yalıtım kalınlığı yanında yalıtımın içten veya dıştan yapılması, dış duvar kütlesi gibi parametreler çalışılmıştır. Bina kabuğu elemanları olarak da duvarlar ve pencereler ele alınmaktadır. Çatı ve döşemede yapılacak iyileştirmeler ile HVAC sistemlerinde elde edilecek "aktif" tasarruflar bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Bu nedenle sonuçlar sadece "enerji ihtiyacı" cinsinden verilmiştir.

## 2. METODOLOJİ

Çalışmada ilk olarak TS 825'e göre yalıtımı yapılan örnek bir bina ele alınmış ve enerji ihtiyaçları belirlenmiştir. Enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi için EnergyPlus programı kullanılmıştır. Daha sonra duvar yalıtımı ile ilgili analizler yine EnergyPlus programında yapılmış ve duvar yalıtım kalınlığı, duvar yalıtım yeri, duvar kütlesi gibi parametreler değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın kapsamı, bina enerji performansının iyileştirilmesinde bina kabuğunun etkisiyle sınırlandırılmıştır. Dolayısıyla iklimlendirme sistemleri gibi aktif değişkenler göz önüne alınmamıştır. Bina ısı performansındaki değişim, ısıtma ve soğutma yüklerinin değişimi ile ilişkilendirilmiş ve çalışmada iklimlendirme sistemiyle ilgili bir sonuç verilmemiştir.

Analizler, dinamik etkilerin daha çok öne çıktığı soğutma ağırlıklı Akdeniz iklim bölgesinde yer alan İzmir için yapılmıştır. Isıtma ağırlıklı iklimlerde yıl boyunca neredeyse sürekli bir ısı kaybı nedeniyle statik bir davranış söz konusudur. Bu durumda bina dış kabuğunun dinamik özellikleri etkisiz kalmaktadır. Örneğin, yalıtımın artırılması bu durumda iyi bir stratejidir. Hâlbuki soğutma ağırlıklı bir iklimde gün boyu değişken bir davranış söz konusudur. Gündüz ısı kazancı varken, gece ısı kaybı olur. Bu durumda binanın ve onun dış kabuğunun davranışları önem kazanmaktadır. Bu nedenle dinamik etkilerin öne çıktığı bir iklim ele alınmış ve bina dış kabuğu ısı performansını bu iklim için analiz edilmiştir. İzmir, Akdeniz iklimi için soğutma ağırlıklı örnek bir şehirdir. Hava durumu bilgileri EnergyPlus'ın kütüphanesinden alınmıştır.

Tavan, çatı ve döşemede alınacak pasif önlemler bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Bu yüzden binada döşeme ve çatı adyabatik olarak kabul edilmiş ve binadaki ısı kaybının ve kazancının sadece çalışma kapsamında yer alan duvarlar ve pencerelerden (dış kabuktan) gerçekleşmesi sağlanmıştır. İnsan, aydınlatma ve cihaz kaynaklı iç yükler de aynı düşünce ile dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla bu sonuçların daha çok konutlar için uygun olduğu söylenebilir.

Simülasyonda, ideal şartlarda, sürekli çalışan bir iklimlendirme sistemi kabul edilmiştir. Şartlandırılan odalar ısıtma durumunda kışın gece 00.00-08.00 arası 16°C'de, gündüz 08.00-24.00 arası 21°C'de tutulmaktadır. Isıtma sistemi, sıcaklıklar bu seviyelerin altına düştüğünde devreye girmektedir. Soğutma durumunda ise yazın gece 00.00-08.00 arası mekanik soğutma kesilmekte ve gündüz 08.00-24.00 arası ise soğutma sistemi yardımıyla iç hacimler 25°C'de tutulmaktadır.

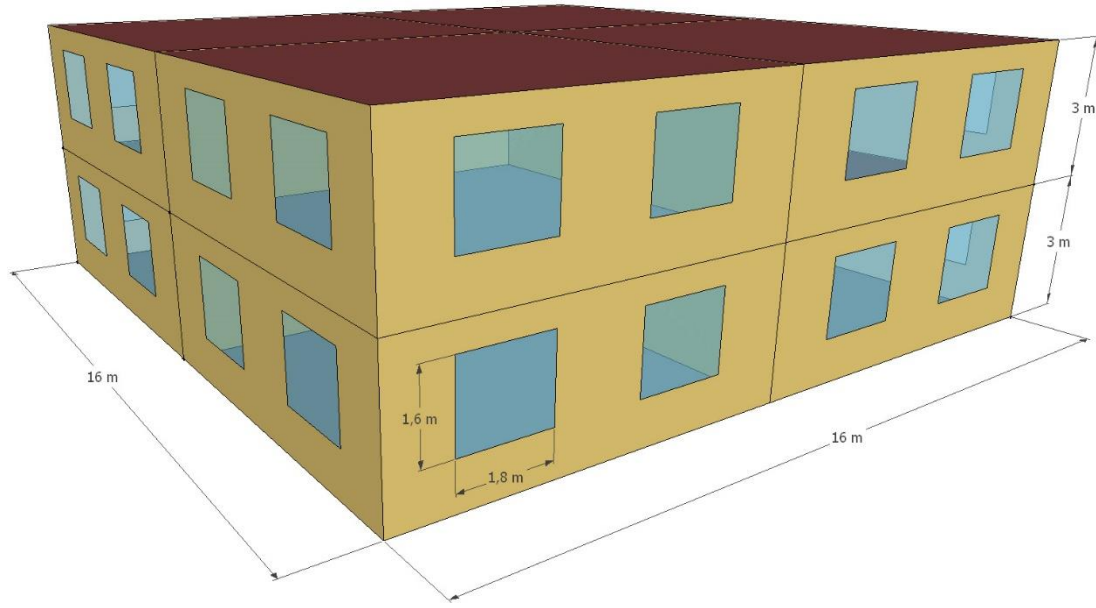
Duvar ve pencere analizlerine, duvar yalıtım kalınlığının toplam ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacına etkisi incelenerek başlanmıştır. Bu bağlamda diğer bütün değişkenler sabit tutulup dış duvar yalıtımı 0 cm ile 50 cm arasında değiştirilerek parametrik çözüm yoluna gidilmiştir.

İkinci analiz, duvar yalıtımının içeriden ya da dışarıdan yapılması durumunun simülasyonunu içermektedir. Bu analizde, yine yalıtım kalınlığının 0 – 50 cm arasında parametrik olarak değiştirilmesiyle toplam enerji ihtiyaçlarının nasıl değişeceği incelenmiştir. Ayrıca duvar kütlesi parametrik olarak değiştirilmek suretiyle bunun enerji tüketimine etkisi incelenmiştir.

## 3. ÖRNEK BİNA ANALİZLERİ

Simülasyona temel olarak, **Şekil 1'de** görüldüğü gibi iki katlı, toplam 512 m<sup>2</sup> alana sahip, her biri 2,88 m<sup>2</sup> 'lik 32 adet penceresi bulunan bir bina seçilmiştir.

Bina, yöne bağlı değişimleri ortadan kaldırmak için her yönde aynı uzunlukta 4 zonlu ve simetrik olarak düşünülmüştür. Ortada bir çekirdek zon bulunmamaktadır. Bu çalışmada ana hedef bina dış kabuğunun davranışları ve buradan hareketle uygun bina tasarımı olduğu için, çevreden etkilenmeyen çekirdek zonun varlığı ihmal edilmiştir. Bu nedenle bu çalışma sonuçları konut tipi ve taban alanı fazla olmayan binalar için daha geçerlidir. Pencerelerde, uygulamada en çok karşılaşılan ölçülerden biri olan 160x180 cm'lik profil çerçeveler kullanılmıştır. Binanın pencere dış duvar oranı %24'tür. Her bir katta aynı özelliklere sahip 4 adet oda bulunmaktadır. 64 m<sup>2</sup> alana sahip odalar 3 m tavan yüksekliğine sahiptir.



**Şekil 1.** Simülasyona temel alınan bina ve boyutları.

Baz alınan örnek bina TS825 esas alınarak tasarlanmıştır. Duvar ve pencerelerin toplam ısı geçiş katsayıları standartta belirtilen sınırlar içinde kalmıştır. Kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri de yine standart ekinde verilen tablolar temel alınarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Örnek bina için dış duvar bileşenleri.

Yapı Bileşeni	Kalınlık [m]	Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> ]	İletim Katsayısı [W/mK]
Dış Sıva (Anorganik Esaslı Sıva Harcı)	0,008	900	0,35
XPS Köpük Yalıtım Levhası	0,05	265	0,045
Hafif Betondan Duvar Plakası	0,05	800	0,29
İç Sıva (Kireç – Çimento Harcı)	0,02	1800	1

Dış duvar yapı bileşenleri verilen şekilde seçilip, iç ve dış taşınım katsayıları TS825’de tavsiye edilen değerler olarak sırasıyla 7,7 W/m<sup>2</sup>K ve 25 W/m<sup>2</sup>K olarak alındığında, duvarın toplam ısı geçiş katsayısı 0,67 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanabilir.

### 3.1. Örnek Bina İçin Sayısal Sonuçlar

Örnek olarak belirlenen bina için ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları, EnergyPlus programında 1 saatlik adımlarla 1 yıl boyunca hesaplanmıştır. Sonuçlar aylık toplam olarak **Tablo 2’de** görülebilir.

Sonuçlar incelendiğinde yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacının 6127 kWh<sub>ISI</sub> /yıl (11,9 kWh<sub>ISI</sub> /m<sup>2</sup>yıl) olarak, soğutma enerjisi ihtiyacının ise 34160 kWh<sub>ISI</sub> /yıl (66,72 kWh<sub>ISI</sub> /m<sup>2</sup>yıl) olarak gerçekleştiği görülmektedir. Burada söz konusu olan ısıtma ve soğutma ihtiyacı sadece dış kabuktan (dış duvar ve pencereler) olan dış ısı kazancı ve kaybına bağlı değerlerdir.

**Tablo 2.** Örnek bina için aylık toplam enerji ihtiyaçları sonuçları.

	Isıtma Enerjisi İhtiyacı [kWh <sub>ısı</sub> ]	Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh <sub>ısı</sub> ]
Ocak	1577	280
Şubat	1284	411
Mart	559	1136
Nisan	133	1616
Mayıs	1	4197
Haziran	0	5760
Temmuz	0	6289
Ağustos	0	6352
Eylül	0	5205
Ekim	39	2156
Kasım	749	619
Aralık	1785	141
<b>TOPLAM</b>	<b>6127</b>	<b>34160</b>

Aylık gerçekleşen toplam enerji ihtiyaçları göz önüne alındığında İzmir için Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık ayları ısıtma sezonu, kalan aylar da soğutma sezonu olarak düşünülebilir. Bu bağlamda İzmir ve benzer Akdeniz iklimleri için soğutma enerjisi ihtiyacında yapılacak iyileştirmelerin binanın toplam enerji performansına büyük oranlarda etki edeceği sonucuna ulaşılabilir

## 4. DIŞ DUVAR ANALİZLERİ

### 4.1. Duvar Yalıtım Kalınlığı Analizleri

Binalarda dış duvarların ısı yalıtımı Avrupa Birliği ülkelerinde 30 yıldır zorunludur. Ancak bu süre içinde ısı yalıtımı kalınlığı giderek artmıştır [3]. Buna paralel olarak ülkemizde de 1982'de ortalama 3 cm olan yalıtım kalınlığı, 1999'a gelindiğinde 5 cm'ye kadar çıkmıştır.

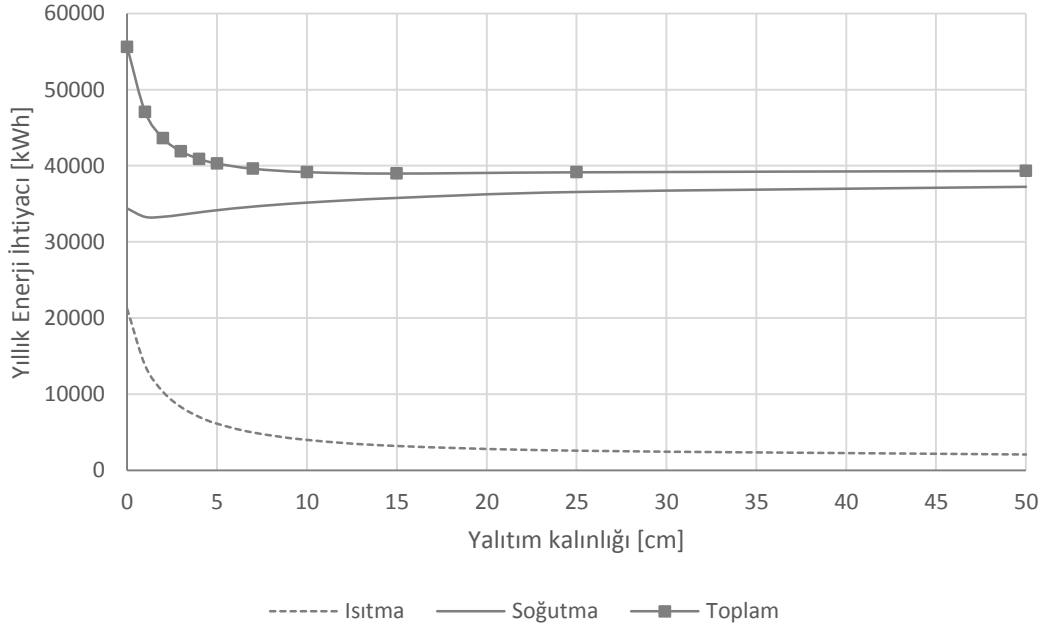
Duvar yalıtım kalınlığının enerji ihtiyaçları üzerine olan etkisi incelenmek üzere EnergyPlus programında İzmir'deki örnek binada **dıştan mantolama biçiminde yapılan** yalıtım kalınlığı parametrik olarak 0 cm'den 50 cm'ye kadar değiştirilerek sonuçlar **Şekil 2'de** gösterilmiştir.

Bina dış duvarlarında herhangi bir ısı yalıtımı olmaması durumunda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı 21204 kWh<sub>ısı</sub>/yıl, toplam soğutma enerjisi ihtiyacı ise 34389 kWh<sub>ısı</sub>/yıl olarak gerçekleşmektedir. Bina duvarlarına TS825 standartına göre dıştan 5 cm yalıtım uygulandığı durumda ise değerler sırasıyla 6127 kWh<sub>ısı</sub>/yıl ve 34160 kWh<sub>ısı</sub>/yıl olmaktadır.

Bu sonuçlara göre duvarlara standartlara göre uygulanacak bir ısı yalıtımı ısıtma enerjisi ihtiyacında % 71'lik bir tasarruf sağlamaktayken soğutma enerjisi ihtiyacındaki azalma % 0,6 ile oldukça sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla standartların **yalıtım kalınlığının belirlenmesi hususunda ısıtma enerjisi ihtiyacını temel alması** anlaşılabilir bir durum olarak görülmektedir.

Yalıtım kalınlığı standartta belirtilen değerin 2 katı olan 10 cm'ye çıkarıldığında; ısıtma enerjisindeki tasarruf oranı %85 mertebesine çıkarken, soğutma için harcanacak enerjideki küçük de olsa artış dikkat çekmektedir. **Tablo 3** incelendiğinde yalıtımın; soğutma enerjisi ihtiyacını, dış sıcaklığın gece ve gündüz yüksek değerlerde seyrettiği Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında azalttığı buna karşılık diğer aylarda artırdığı görülebilir. Bu sonuçlar İzmir için geçerli olmakla birlikte Akdeniz iklimine özgü olarak alınabilir. Burada önemli ve etkili olan gece ve gündüz boyunca dış sıcaklığın değişimidir. Güneşten ısı kazancının olmadığı gece saatlerinde dış sıcaklık iç sıcaklığın ve dış duvar sıcaklığının altına düştüğünde dışarı ısı kaybı meydana gelmektedir. Eğer duvarlar dıştan yalıtımlıysa gece bu kendiliğinden soğutma etkisi ve bunun yarattığı toplam soğutma ihtiyacındaki azalma

gerçekleşmemektedir. Dolayısıyla yalıtım arttıkça doğal soğutma azalmakta ve toplam mekanik soğutma ihtiyacı artmaktadır.



Şekil 2. Yalıtım kalınlığına göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.

Tablo 3. Yalıtım kalınlığı ile binanın aylık soğutma enerjisi ihtiyacının değişimi.

	0 cm kalınlık için Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	10 cm kalınlık için Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]
Ocak	235	321
Şubat	349	462
Mart	925	1307
Nisan	1236	1853
Mayıs	4014	4340
Haziran	6123	5770
Temmuz	6826	6254
Ağustos	6819	6331
Eylül	5337	5270
Ekim	1846	2378
Kasım	559	708
Aralık	120	163
<b>TOPLAM</b>	<b>34389</b>	<b>35156</b>

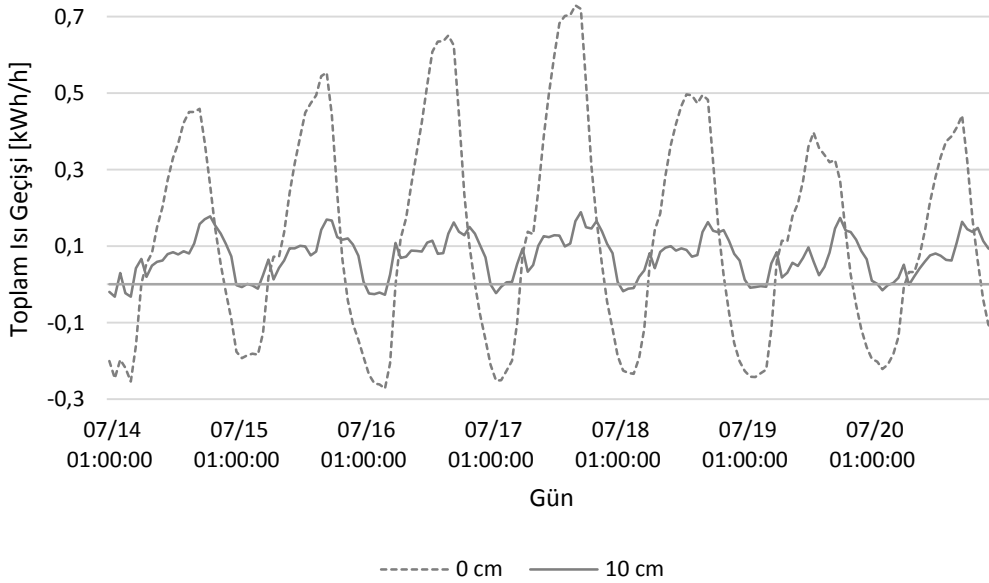
Yalıtım kalınlığının, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında soğutma enerjisi ihtiyacına pozitif etki etmesi ile diğer aylarda negatif etki etmesinin nedeni iç-dış sıcaklık farkının dinamiği ile ilgilidir. Bu fark statik olarak 24 saat boyunca aynı işaretli kalıyor ve statik bir davranış gösteriyorsa duvarların ısı yalıtımı; yaz veya kış enerji ekonomisine olumlu bir katkı getirmektedir. Aksine bu sıcaklık farkı gün içinde işaret değiştiriyor ve dinamik bir davranış sergiliyorsa, dış kabuğun ısı yalıtımı binanın enerji tüketimi açısından olumsuz etki yapmaya başlamaktadır. Bu sonuçlar Şekil 3,4 ve 5 incelenerek daha iyi açıklanabilir.

Ele alınan duvarın ve zonun yönü de güneşten olan kazançlar nedeniyle çok önemlidir. Bu grafiklerde pozitif yönlü ısı geçişi, duvardan odaya olan toplam ısı geçişini göstermektedir. Şekil 3'de verilen Temmuz ayında kuzey yönlü bir duvarda 1 haftalık ısı geçişi grafiği incelendiğinde; yalıtım olmaması durumunda odaya olan ısı geçişinin (ısı kazancının) 10 cm yalıtıma göre daha fazla olduğu görülebilir.



Soğutma enerjisi ihtiyacı bu dönemde yalıtımlı duruma göre artmaktadır. İncelenen hafta için yalıtımsız durumda binanın bu duvarından olan ısı kazancı cebrik toplam olarak net 32,6 kWh iken, yalıtım bu değeri 12,7 kWh değerine kadar düşürmektedir. Söz konusu net ısı kazancı mekanik soğutma sistemi tarafından dışarı atılacaktır. Aynı grafikte odanın gece döneminde ısı kaybının yani doğal soğutmanın yalıtımsız halde kayda değer olduğu görülmektedir. Hâlbuki yalıtım yapıldığında geceleri bu değer, yani doğal soğutma sıfıra yaklaşmaktadır. Geceleri ısı kaybı (doğal soğutma) yalıtımlı iken 0,3 kWh, yalıtımsız iken 10,4 kWh değerleriyle gerçekleşmektedir.

Temmuz ayındaki bu haftada geceleri doğal soğutmanın gündüz olan ısı kazancının yanında düşük kalması bu doğal soğutma etkisinin önemini azaltmaktadır. Temmuz ayında dış hava sıcaklığı gece çok az bir süre odanın iç sıcaklığı altına düşmektedir, duvarlardan ısı kaybı suretiyle olan doğal soğutma önemsiz kalmaktadır. Dolayısıyla bu duvarda, bu dönemde ısı yalıtımı yapılarak toplam gerekli mekanik soğutma enerjisi ihtiyacında bir tasarruf sağlanabilir.



**Şekil 3.** Kuzey yönlü bir duvardan geçen ısının Temmuz ayı için yalıtım kalınlığına göre değişimi.

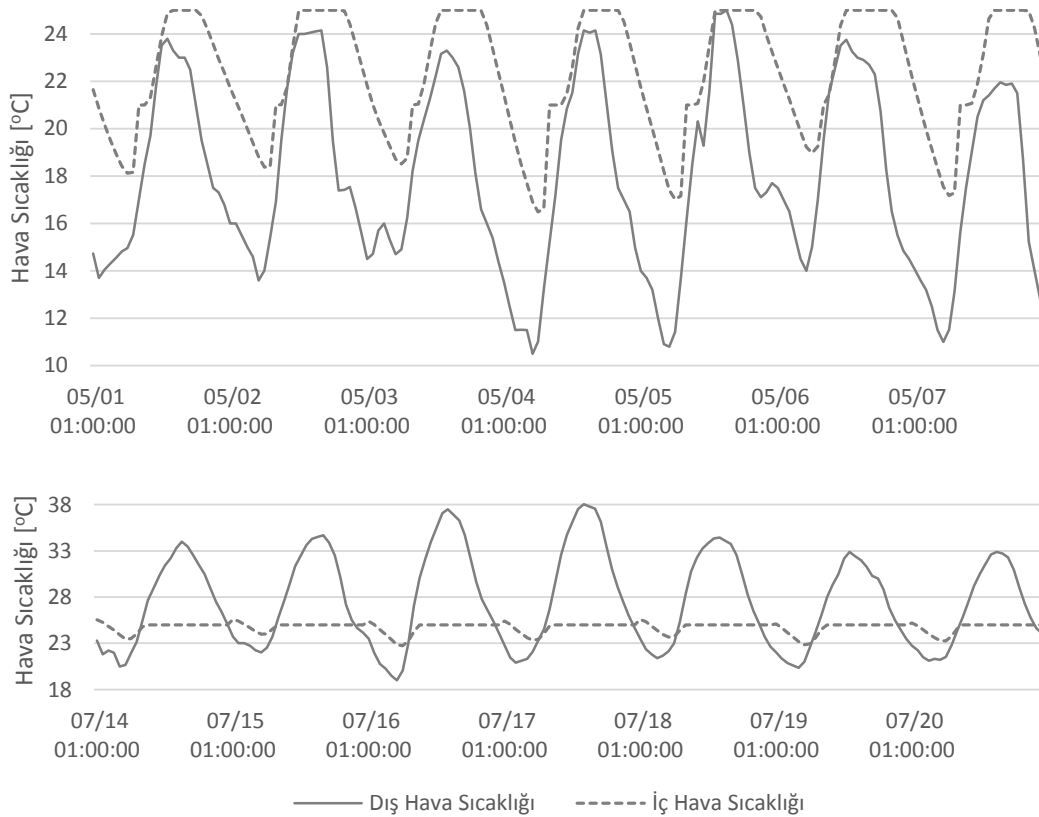
**Tablo 4'de** binadaki her bir zon için Mayıs ve Temmuz ayında incelenen bir hafta için sadece duvarlardan olan toplam ısı kayıp ve kazançları sayısal olarak verilmiştir. Bu tablodan yönün, mevsimin ve yalıtım olup olmasının ısı kayıp ve kazançlarına etkisi net bir biçimde görülmektedir. Isı kayıp ve kazancı sadece yalıtıma bağlı değildir. Mevsim ve yön de aynı zamanda göz önüne alınmalıdır.

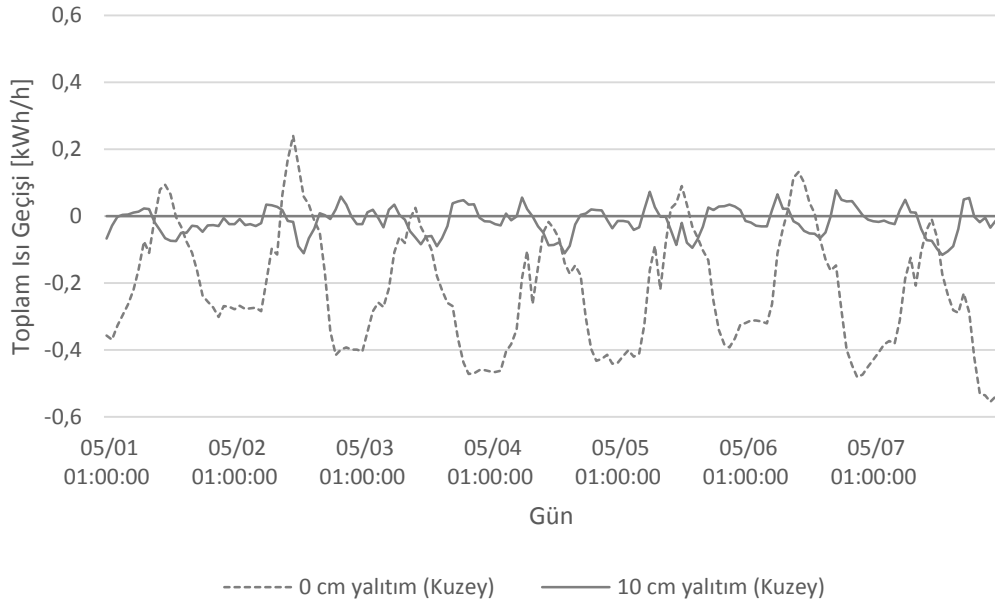
**Şekil 4'de** Mayıs ve Temmuz aylarında tipik bir hafta boyunca iç ve dış sıcaklıkların değişimi verilmiştir. Temmuz ayında mekanik sistem çalışmaktadır ve iç sıcaklıklar sabit bir değerde tutulmaktadır. Mayıs ayında ise çoğu zaman mekanik sistemin çalışmasına gerek kalmamaktadır. İç sıcaklıklar ölü bandı verilen mevsimler arası konfor sıcaklığı (21-25 °C) bandında kalmaktadır. **Şekil 5'de** Mayıs ayının bir haftası için Kuzey yönlü duvardan geçen ısılar ve **Şekil 6'da** yine aynı dönemde Güney yönlü duvardan geçen ısılar grafik olarak verilmiştir. Sayısal değerler için **Tablo 4'e** bakılabilir. Kuzey yönlü duvarda güneşten kazançların olmaması nedeniyle ısı kaybı ve kazancı çok büyük ölçüde iç ve dış sıcaklıklar arasındaki farka bağlıdır. İncelenen zaman aralığında dış sıcaklıklar göreceli olarak düşüktür. **Şekil 5** incelendiğinde Kuzey yönlü duvardan bu dönemde gündüzleri bile ısı kaybı olduğu görülmektedir. Ancak bu durum ısıtma yapılmasını gerektirmemektedir. **Şekil 4'deki** iç sıcaklık değerlerine bakıldığında iç sıcaklığın ısıtma için belirlenen set değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Yani bu duvardan bu dönemdeki olan ısı kayıplarının karşılanması için mekanik bir enerji harcanmasına gerek yoktur. Mekanik sistem iç sıcaklık 21 °C veya 25 °C set değerlerine ulaştığında devreye girmektedir. Yalıtımın iyileştirilmesinin, ısı kaybını önemli ölçüde azalttığı yine aynı şekilde görülmektedir ancak bu dışarıdan enerji talebinde bir değişikliğe neden olmamaktadır.

**Tablo 4.** Yalıtım durumu, yön ve mevsime göre, her dört zon için sadece duvarlardan olan haftalık ısı kayıp ve kazançları.

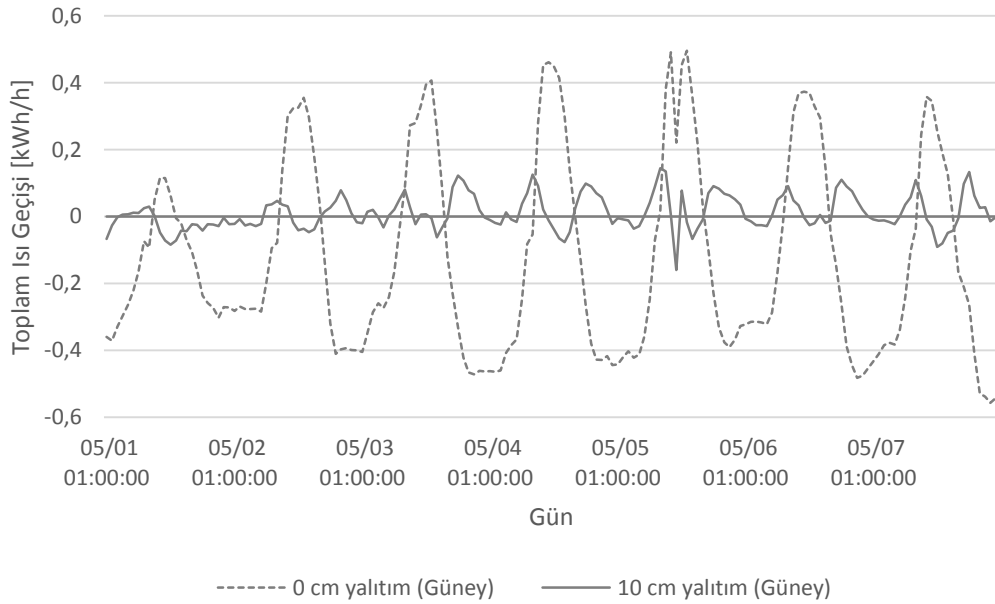
		Mayıs			Temmuz		
		Isı Kazancı [kWh]	Isı Kaybı [kWh]	Toplam [kWh]	Isı Kazancı [kWh]	Isı Kaybı [kWh]	Toplam [kWh]
Yalıtımsız	GB zon	71.8	-12.7	59.1	138.2	-28.7	109.6
	GD zon	20.9	-64.0	-43.1	108.3	-20.7	87.6
	KB zon	13.2	-68.5	-55.3	91.1	-21.4	69.7
	KD zon	7.7	-66.7	-58.9	90.1	-20.4	69.7
	Toplam	113.6	-211.9	-98.3	427.8	-91.2	336.6
10cm Yalıtım	GB zon	34.1	-1.3	32.8	47.6	-2.5	45.1
	GD zon	8.1	-4.7	3.5	35.5	-0.9	34.6
	KB zon	3.1	-5.8	-2.7	28.6	-0.5	28.1
	KD zon	4.8	-7.7	-2.9	30.0	-1.1	28.9
	Toplam	50.1	-19.5	30.6	141.6	-5.1	136.6

**Şekil 6'da** Güney yönlü duvara bakıldığında ise aynı dönemde gündüzleri güneş nedeniyle önemli ölçüde ısı kazancı olduğu görülmektedir. Yalıtımsız halde gece olan doğal soğuma, gündüz olan kazançları kompanse etmektedir. **Duvarlarda ısı yalıtımı yapıldığında hem kayıplar hem de kazançlar azalmakta ancak bu durumda doğal soğuma, ısı kazançlarını karşılayamadığı için mekanik soğutma ihtiyacı doğmaktadır. Yani duvarların ısı yalıtımı ters sonuç doğurmaktadır.**

**Şekil 4.** Mayıs (yukarıda) ve Temmuz (aşağıda) ayları için bir haftalık iç ve dış hava sıcaklıkları değişimi.



**Şekil 5.** Kuzey yönlü duvarlardan geçen ısının Mayıs ayı için yalıtım kalınlığına göre değişimi.



**Şekil 6.** Güney yönlü duvardan geçen ısının Mayıs ayı için yalıtım kalınlığına göre değişimi.

Sonuç olarak, gerekli olan toplam mekanik soğutma enerjisi ihtiyaçları, **soğutma yapılan 8 ay dikkate alındığında**, yalıtımsız durumda 33126 kWh, 10 cm yalıtım yapılması halinde ise 33503 kWh olarak gerçekleşmektedir (Tablo 3). Buradan bina dış duvarlarının yalıtılması halinde, **beklenenin aksine, enerji tüketiminin 377 kWh<sub>ısı</sub>/yıl daha da arttığı** sonucuna ulaşılmaktadır.

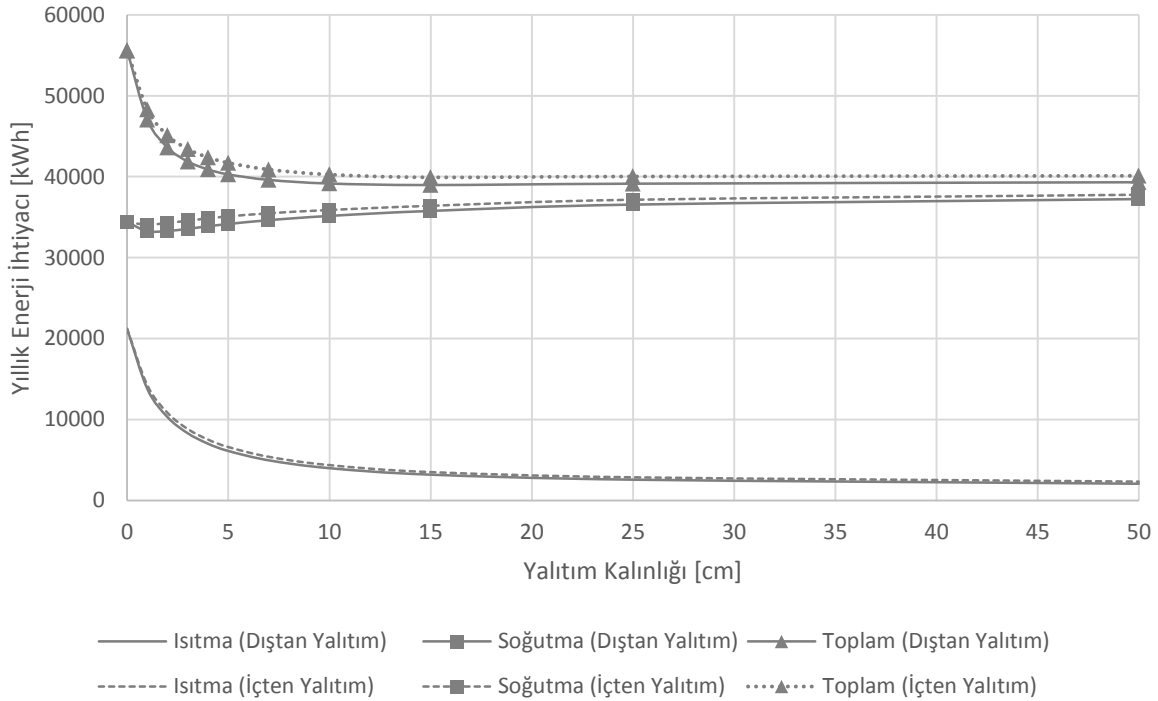
Soğutma sezonunda tek başına ara mevsimler (Mart, Nisan, Mayıs, Eylül ve Ekim) ele alındığında ise bu fark daha da belirginleşmektedir. Yalıtım uygulanmadığı durumda soğutma enerjisi ihtiyacı 13358 kWh, 10 cm yalıtımlı durumda ise 15148 kWh olmaktadır. Böylece bu aylarda; yalıtım yapılması, fayda yerine, mekanik sisteme 1790 kWh değerine kadar ek yük getirmektedir.

**Bütün bunlar göz önüne alındığında, soğutma ağırlıklı Akdeniz ikliminde yıllık toplam soğutma enerjisi performansının artırılması için yalıtım kalınlığının artırılması, doğru bir strateji olarak görülmemektedir.**

#### 4.2. Duvar Yalıtım Yeri Analizleri

Isı köprülerinin olmadığı ideal bir durum düşünülürken, ısı yalıtımından en fazla, yalıtımın, ısı girişinin olduğu yüzeye uygulanması halinde faydalanılmaktadır. Isı köprüleri olmaması halinde, ısıtma ağırlıklı iklimlerde yalıtımın duvarın iç yüzeyine yapılması gerekirken, soğutma ağırlıklı iklimlerde dış yüzeye yapılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Sadineni'nin çalışmalarında önerdiği bu durumun, çalışmada göz önüne alınan Akdeniz iklimi için doğruluğu bu bölümün temelini oluşturmaktadır [4].

Duvar yalıtımının içten ya da dıştan yapılmasının enerji ihtiyaçları üzerine olan etkisi incelenmek üzere önceki yapılan simülasyonlar, **yalıtım duvarın iç yüzeyine alınarak** tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak **Şekil 7'de** verilmiştir.

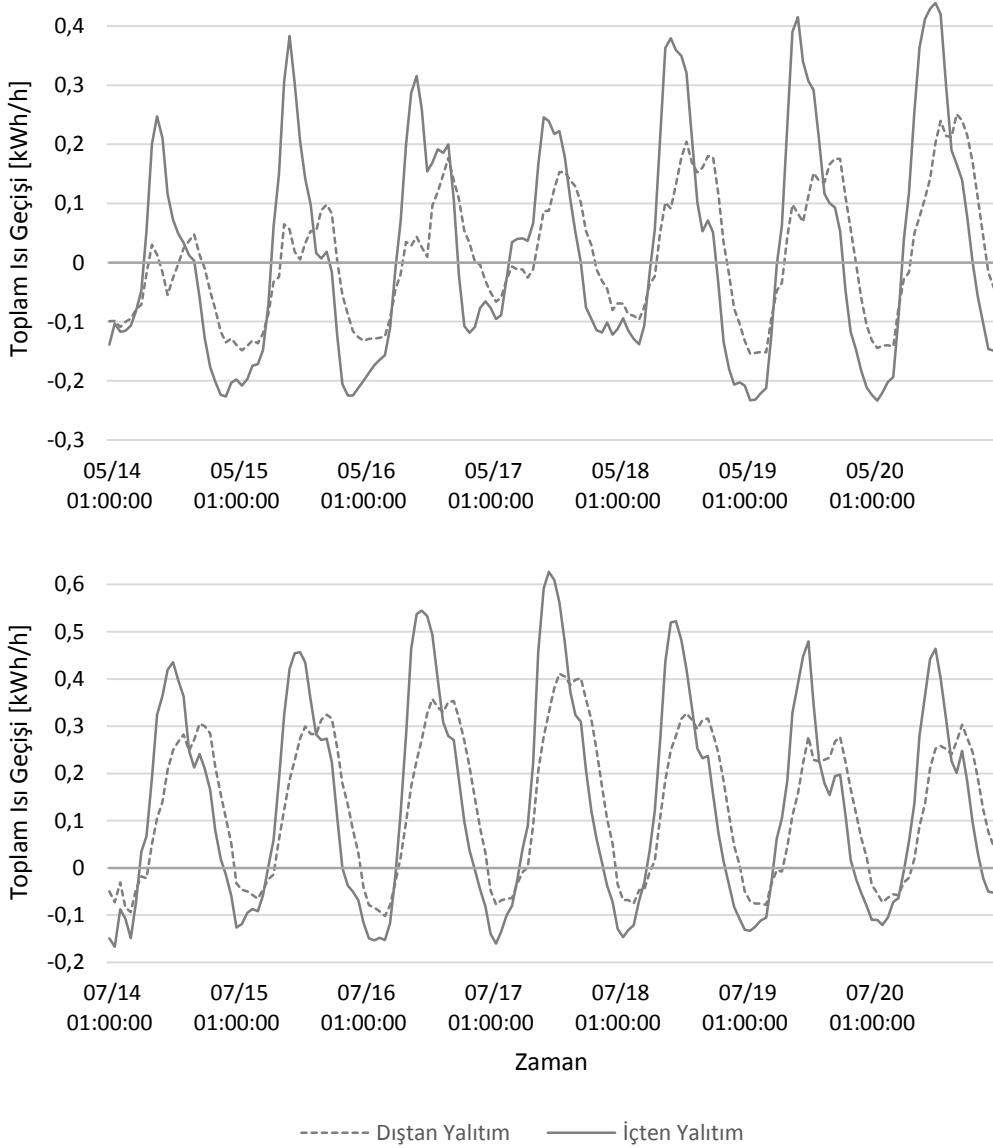


**Şekil 7.** Yalıtım yerine göre yıllık enerji ihtiyacı grafiği.

Yalıtımın, incelenen binada, duvar dış yüzeyinden iç yüzeyine alınması yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında göz önüne alınabilecek herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Ancak yine de durumu iyileştirmemiş, çok hafif kötüleştirmiştir. Yalıtımın duvar iç yüzeyine alınması, referans alınan 5 cm'lik yalıtım kalınlığı için 939 kWh/yıl (1,84 kWh/m<sup>2</sup>yıl) mertebesinde dikkate değer ölçüde, yıllık soğutma enerjisi ihtiyacında artışa neden olmuştur. Yalıtım kalınlığı arttıkça yalıtımın dıştan ya da içten yapılması arasındaki fark git gide azalmakta iken en büyük fark yaklaşık 1005 kWh/yıl ile 3 cm yalıtım kalınlığında görülmektedir.

Yalıtım içten veya dıştan yapılmasının Akdeniz ikliminde soğutma enerjisi tasarrufundaki potansiyeli, yıllık toplam enerji ihtiyaçlarından çok iyi görülememektedir. İçerden ve dışardan yapılan yalıtımın farkı yine günlük ısı geçişi sonuçları incelendiğinde daha belirginleşmektedir. **Şekil 8**, 3 cm yalıtım kalınlığına sahip bir duvar için Mayıs ve Temmuz aylarındaki 1 haftalık toplam ısı geçişi grafiklerini içermektedir.

Mayıs ve Temmuz aylarındaki toplam günlük ısı geçişi grafiği incelendiğinde, içten yapılan yalıtımın toplam ısı geçişinde etkisi görülebilir. Özellikle Mayıs ayında bu etki daha açık görülebilmektedir. İçten yapılan yalıtım neticesinde gündüz olan ısı kazancı artmış, buna karşılık gece meydana gelen ısı kaybı da artmıştır. Toplam soğutma ihtiyacı ise bu iki etkinin birbirini karşılmasına bağlıdır. Temmuz ayında yalıtımın içe alınması toplam soğutma ihtiyacını olumsuz etkilerken, Mayıs ayında soğutma yükünü azaltma yönünde olumlu etkilemektedir.

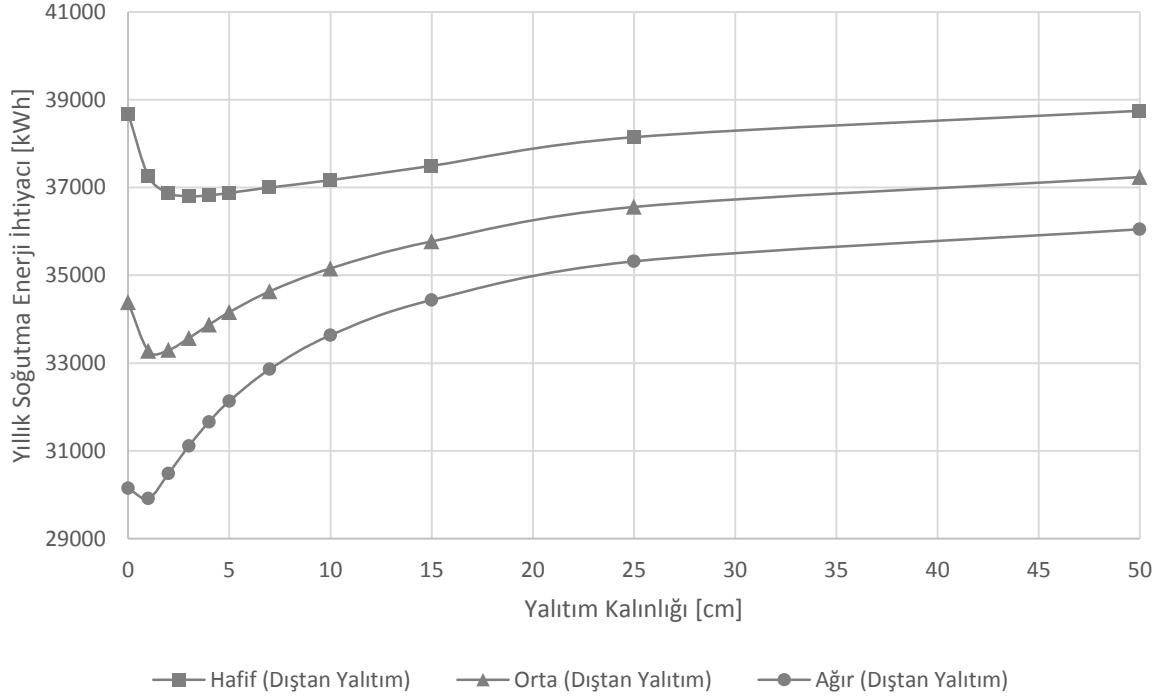


**Şekil 8.** Güney yönlü duvar için Mayıs (üst şekil) ve Temmuz (alt şekil) aylarında 3 cm kalınlığındaki yalıtımın yerine göre (içte veya dışta olması) ısı geçişi değişimi.

Burada yalıtımın içten veya dıştan uygulanmasındaki farkı doğuran ana konu duvar kütlesi ve dış sıcaklık koşullarının dinamik değişimidir. Statik bir durumda, yani sürekli ısı kaybı veya kazancı olması halinde yalıtımın içten veya dıştan olması etkili değildir. Bu etki ısı kazancının günün sonunda ısı kaybına döndüğü dinamik durumda görülmektedir. Bu nedenle yalıtımın yeri yine ancak Akdeniz iklimi gibi dinamik değişimlerin olduğu iklimler için önemlidir. Soğuk Kuzey iklimleri için yalıtımın, ısı köprülerinin etkisi de dikkate alınarak, dıştan bohçalama biçiminde yapılması daha doğrudur. Ancak Akdeniz iklimi gibi bölgelerde yalıtım mutlaka dıştan yapılmalı, hatta gün içinde değişen dinamik yalıtım kavramı geliştirilmelidir.

### 4.3. Duvar Kütleleri Analizleri

Şekil 9 beton kütlelerinin farklı değerleri ile yıllık soğutma enerjisi ihtiyacının değişimini göstermektedir.



Şekil 9. İzmir için duvar kütleleri ve yalıtım yerine göre yıllık toplam soğutma enerjisi ihtiyacı.

Burada betonun termal kütleleri, özgül ısı sabit kalmak üzere yoğunluğu hafif durumda  $300 \text{ kg/m}^3$ , orta durumda  $800 \text{ kg/m}^3$  ve ağır durumda  $1600 \text{ kg/m}^3$  değerleri alınarak değiştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Duvarın termal kütleleri arttıkça yalıtım yerinden bağımsız olarak soğutma enerjisi ihtiyacında bir iyileşme gözlemlenmektedir. **Betonun termal kütleleri en iyi, yalıtımın hiç olmadığı durumda sonuç vermektedir.**

**Tablo 5’de** betonun ağırlığına göre soğutma enerjisi ihtiyacının aylık olarak değişimi verilmiştir. Burada referans alınan yalıtımsız ve betonun yoğunluğunun  $800 \text{ kg/m}^3$  olduğu duruma göre termal kütlelerin 2 katına çıkarılması, yıllık toplamda  $4239 \text{ kWh/yıl}$  soğutma enerjisinden tasarruf sağlamaktadır. Yalıtım kalınlığı arttıkça bu tasarruf miktarı azalmaktadır. Aylık sonuçlar incelendiğinde beton kütlelerinin duvarın dinamik davranışı üzerine etki ettiği görülmektedir. Statik durumda duvar kütlelerinin enerji tüketimine etkisi çok sınırlıdır. Kütlelerin 2 katına çıkarılması ısıtma enerjisi ihtiyacından sadece  $812 \text{ kWh/yıl}$  iyileşme sağlamıştır. **Ancak dinamik davranış sergileyen Akdeniz iklimindeki soğutma yükü üzerinde, duvar kütlelerinin etkisi çok önemlidir. Bu kütle etkisi, yalıtımdan daha büyüktür.**

Dış hava sıcaklığının ortam sıcaklığının altında ve üstünde çok salınmadığı, daha çok üstünde kaldığı yaz aylarında beton kütlelerinin artmasının etkisinin sınırlı olduğu, ancak salınımın arttığı bahar aylarında yaz aylarındaki tasarrufun neredeyse 2 katına çıktığı görülebilir. Örneğin Ağustos ayı için kütlelerin 2 katına çıkması  $268 \text{ kWh}$  bir tasarruf sağlarken, Ekim ayında bu miktar  $570 \text{ kWh}$  değerine ulaşmıştır.

Yapılacak yalıtımın yeri, betonun termal kütlelerinin dikkate alınmasıyla birlikte anlam kazanmaktadır. **Şekil 10 ve 11’de** Güney yönlü duvar için beton kütleleri ve yalıtım yerine göre Temmuz ayında toplam ısı geçişi değişimi verilmiştir. Betonun yoğunluğunun, dolayısıyla termal kütlelerinin azalması dıştan ve içten yalıtım yapılması arasındaki farkın azalmasına neden olmaktadır. Beton yoğunluğunun  $300 \text{ kg/m}^3$  seviyesine düşürülmesi, iki durumun neredeyse eşit ısı geçişine neden olmasıyla

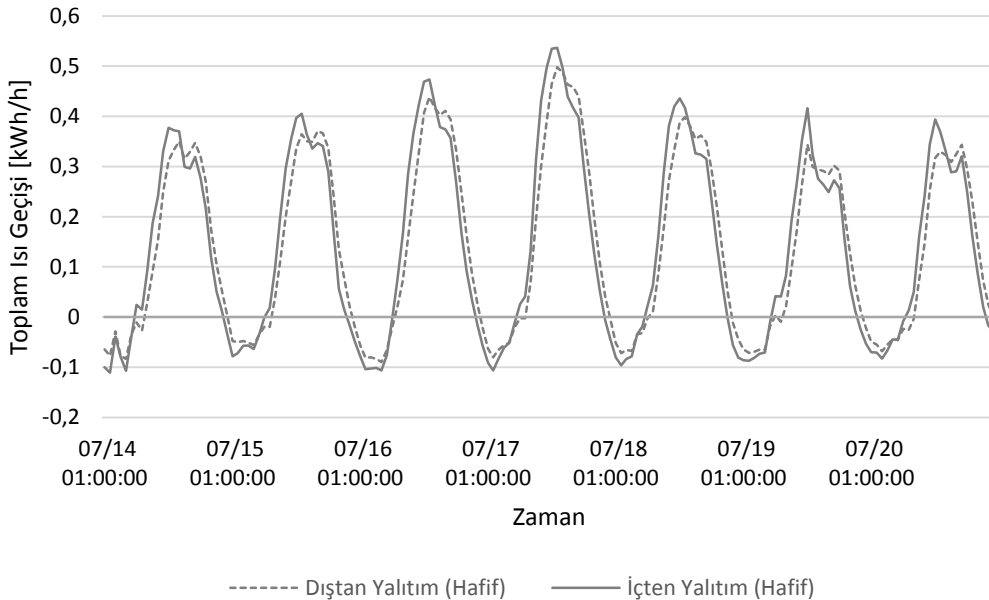
sonuçlanmıştır. Bu durumda yalıtımın dış yüzeyde bulunması iç yüzeyde bulunmasına göre çok az bir faz gecikmesine neden olmuştur.

Beton yoğunluğunun 2 katına çıkarılması ile yalıtımın içten yapılması özellikle ısı kazancına oldukça negatif etki etmiştir. Temmuz ayının incelenen haftası boyunca ağır beton kullanıldığında, dıştan yapılan yalıtım ile gerçekleşen toplam ısı kazancı 22,82 kWh, ısı kaybı ise 2,74 kWh olmaktadır. Yalıtımın içten yapılması ile bu değerler sırasıyla 31,42 kWh ve 10,12 kWh olarak gerçekleşmektedir.

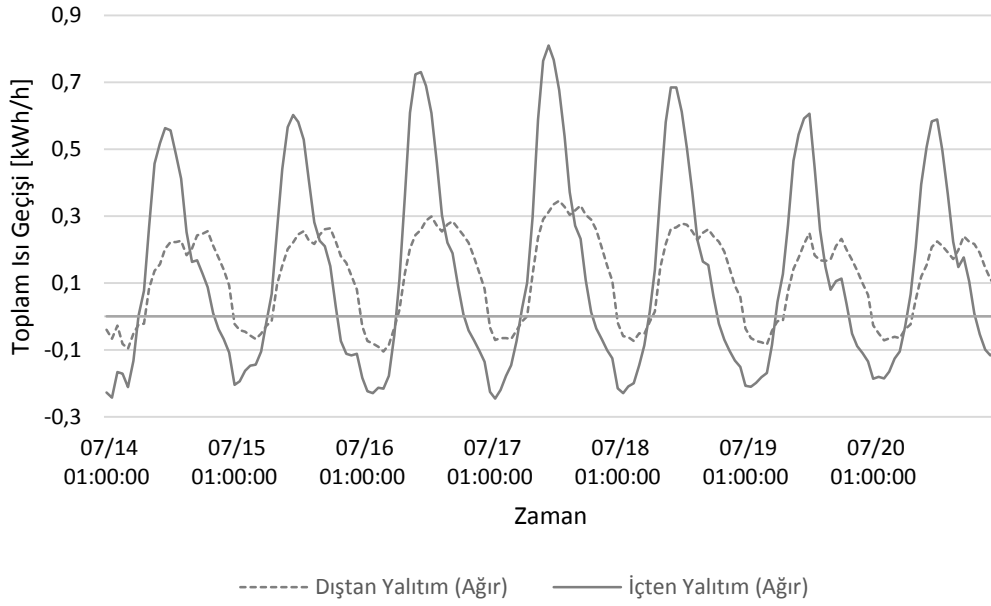
**Tablo 5.** İzmir için yalıtımsız duvar halinde duvar kütlesine göre aylık soğutma enerjisi ihtiyaçları.

	Hafif Beton İçin Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Orta Ağırlıktaki Beton İçin Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]	Ağır Beton İçin Soğutma Enerjisi İhtiyacı [kWh]
Ocak	443	235	38
Şubat	578	349	126
Mart	1422	925	434
Nisan	1759	1236	718
Mayıs	4508	4014	3518
Haziran	6435	6123	5799
Temmuz	7073	6826	6543
Ağustos	7074	6819	6551
Eylül	5740	5337	4954
Ekim	2442	1846	1276
Kasım	934	559	188
Aralık	276	120	6
<b>TOPLAM</b>	<b>38684</b>	<b>34389</b>	<b>30150</b>

Ağır beton kullanımındaki durumu ele aldığımızda toplam ısı kayıp ve kazançları birlikte değerlendirildiğinde, dıştan yalıtımda ele alınan hafta için toplam 20,1 kWh, içten yalıtımda ise 21,3 kWh toplam soğutma enerjisi ihtiyacı olduğu görülebilir. Aradaki fark çok azalmakla birlikte, yine de yalıtımın dıştan yapılması daha karlıdır.



**Şekil 10.** Güney yönlü hafif kütleli duvar için beton kütlesi ve yalıtım yerine göre Temmuz ayında toplam ısı geçişi değişimi.



**Şekil 11.** Güney yönlü ağır kütleli duvar için beton kütle ve yalıtım yerine göre Temmuz ayında toplam ısı geçişi değişimi.

## SONUÇ

Örnek bina, İzmir için TS 825'e uygun olarak modellendiğinde, ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları sırası ile 6127 kWh/yıl ve 34160 kWh/yıl olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında İzmir ve benzer Akdeniz iklimleri için soğutma enerjisi ihtiyacında yapılacak iyileştirmelerin binanın toplam enerji performansına daha büyük oranlarda etki edeceği sonucuna ulaşılabılır.

Duvar yalıtım kalınlığı parametrik olarak incelendiğinde, TS 825 standardına göre yapılacak yalıtımın ısıtma enerjisi ihtiyacında %71'lik bir iyileşmeye sebep olduğu, buna karşın soğutma enerjisi ihtiyacındaki iyileşmenin sadece %0,6'da kaldığı görülmüştür. Yalıtım kalınlığının standartta öngörülen değerden daha fazla artırılması durumunda ise 7cm'den sonra ısıtma enerjisi ihtiyacında da kayda değer bir değişikliğin olmayacağı sonucuna varılmıştır. Artan yalıtım kalınlığı ile soğutma enerjisi ihtiyacındaki bir miktar artış da dikkat çekmektedir. Bu duruma, özellikle bahar aylarında, dış hava sıcaklığının azalması esnasında binanın kaybedeceği ısının sınırlandırılması durumu neden olmaktadır. Yazın sürekli ısı kazancının olduğu aylarda ise yalıtım kalınlığının iyileştirilmesi beklenildiği gibi olumlu sonuç vermiştir. Bütün bunlar göz önüne alındığında, soğutma ağırlıklı Akdeniz ikliminde yıllık toplam soğutma enerjisi performansının artırılması için yalıtım kalınlığının artırılması, doğru bir strateji olarak görülmemektedir.

Yalıtımın incelenen binada duvar dış yüzeyinden iç yüzeyine alınması ısıtma enerjisi ihtiyacında göz önüne alınabilecek herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Soğutma enerjisi ihtiyacında ise, yalıtımın duvar iç yüzeyine alınması referans alınan 5 cm'lik yalıtım kalınlığı için 939 kWh/yıl artışa neden olmuştur. Buradaki en büyük etki beton kütlelerinden gelmektedir. Beton kütlelerinde depolanan enerji bu farkı yaratmaktadır.

Duvarın termal kütlelerinin artması ile yalıtım yerinden bağımsız olarak soğutma enerjisi ihtiyacında bir iyileşme gözlemlenmiştir. Aylık soğutma enerjisi ihtiyacı sonuçları incelendiğinde beton kütlelerinin dinamik bir davranış gösterdiği görülmüştür. Dış hava sıcaklığının ortam sıcaklığının altında ve üstünde çok salınmadığı, daha çok üstünde kaldığı yaz aylarında beton kütlelerinin artmasının etkisinin sınırlı olduğu, ancak salınımın arttığı bahar aylarında kütlelerin 2 katına çıkması ile yaz aylarındaki tasarrufun neredeyse 2 katına çıktığı sonucuna varılmıştır.





İçeriden ve dışarıdan yapılan yalıtım ile termal kütlelerin birleşik etkisi, günlük ısı geçişi sonuçları incelendiğinde daha belirginleşmektedir. İçten yapılan yalıtım neticesinde gündüz olan ısı kazancı artmış, gece meydana gelen ısı kaybı da yine benzer durumla dıştan yapılan yalıtıma göre fazlaşmıştır. Beton yoğunluğunun 2 katına çıkarılması ile yalıtımın içten yapılması özellikle ısı kazancına oldukça negatif etki etmiştir. Dolayısıyla büyük bir termal kütle ile içten yapılan yalıtımın etkin bir şekilde kullanılması sonucunda, gece gerçekleşen ısı kaybından mümkün olduğunca yararlanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)., “Energy Policies of IEA Countries, Turkey 2009 Review”, 2009
- [2] Balaras, C., Droutsas, K., Argiriou, “Potential for energy conservation in apartment buildings.”, Energy and Buildings, 31(2), 143–154. doi:10.1016/S0378-7788(99)00028-6, 2000
- [3] Papadopoulos, a. M., “State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments.”, Energy and Buildings, 37(1), 77–86. doi:10.1016/j.enbuild.2004.05.006, 2005.
- [4] Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F.,”Passive building energy savings: A review of building envelope components.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(8), 3617–3631. doi:10.1016/j.rser.2011.07.014, 2011

## ÖZGEÇMİŞ

### Burhan YÖRÜK

Lisans öğrenimini Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde 2010 yılında tamamlamıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi Isı – Akışkan yüksek lisans programından 2014 yılında mezun olup halen aynı üniversitede doktora eğitimine devam etmektedir. 2012 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak İstanbul Teknik Üniversitesi’nde görev yapmaktadır.

### Ahmet ARISOY

1972 yılında İ.T.Ü. Makina Fakültesi’nden Y. Müh unvanıyla mezun olmuştur. 1979 yılında Makina Mühendisliğinde Doktora derecesi, 1992 yılında Isı Tekniği Bilim Dalında Profesörlük unvanı almıştır. 1972 yılından bugüne kadar İTÜ Makina Fakültesinde görev yapmıştır. 1980- 1982 arasında A.B.D. Michigan Üniversitesinde misafir araştırmacı olarak bulunmuştur. Yanma ve Isı Tekniği alanlarında çalışma yapmakta olup, bu alanlarda çok sayıda (35 civarında) araştırma, teknolojik uygulama ve ürün geliştirme projesi yönetmiş ve danışmanlık yapmıştır. 8 adet derneğin üyesidir. 1996 yılında Tesisat Mühendisleri Derneği Hizmet Ödülü, 2003 yılında İSKİD Onur Üyeliği Ödülü almıştır. Danışmanlık ve editörlük yaptığı dergi sayısı 6 adettir. Makale, bildiri, kitap olarak 170 civarında yayını vardır. . .

