

Article Arrival Date**15.04.2020****Article Type****Research Article****Article Published Date****12.06.2020****Doi Number:** <http://dx.doi.org/10.38063/ejons.229>**YEŞİL ÇATILARIN FARKLI BİNA FORMLARI İÇİN SOĞUTMA YÜKÜNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ: ELAZIĞ VE ANTALYA ÖRNEĞİ****Büşra KILIÇ TURAN**

Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Elazığ, ORCID:0000-0002-2823-7611

Ayça GÜLTEN

Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü 23119 Elazığ

aycagulten@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9837-8674

ÖZET

Bu çalışmada, yeşil çatıların bina soğutma yüküne etkisi aynı taban alanına fakat farklı bina formlarına sahip yapılar üzerinden incelenmiştir. Bu amaçla sıcak-nemli ve ılıman-kuru olmak üzere iki farklı iklim bölgesinden seçilen Antalya ve Elazığ illeri için, eşit taban alanına ve kare, dikdörtgen, L olmak üzere farklı formlara sahip konutların teras çatılı olduğu kabul edilerek soğutma yükleri hesaplanmıştır. Daha sonra aynı konut örneklerinin yeşil çatı uygulamasına sahip olduğu kabul edilerek de hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak, teras çatı uygulamasında bitki katman kalınlığının 5'er cm arttırılarak 5-50 cm arasında değiştiği durumlar incelenmiştir. Ayrıca enerji tüketimi açısından en avantajlı çatı ve duvar yapı elemanı birleşimini bulabilmek için, dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar tipleri de hesaplamalarda değişken olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak yeşil çatı uygulamasının hem Elazığ hem de Antalya için, tüm bina formları ve duvar türlerine göre yapılan hesaplamalarda bina soğutma yükünü düşürdüğü tespit edilmiştir. Her iki il için de en düşük soğutma yükü kare form ve sandviç duvar uygulamalarında elde edilmiştir. Yeşil çatı uygulaması bina soğutma yüküne Antalya ili ve dıştan yalıtımlı duvar tipi dikkate alındığında %3,19 ile %8,88 arasında, sandviç duvar tipi dikkate alındığında ise %3,23 ile %8,96 arasında değişen oranlarda etki etmiştir. Bu değerler Elazığ ili ve dıştan yalıtımlı duvar tipi için %3,06 ile %8,49, sandviç duvar tipi için ise %3,16 ile %8,39 arasında elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin en fazla kare formu ve sandviç duvar tipi kullanılan binalarda, en az L formu ve dıştan yalıtımlı duvar tipi kullanılan binalarda olduğu ve yeşil çatı kullanımının Antalya ilinde soğutma yüküne etkisinin Elazığ iline göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yeşil çatı, soğutma yükü, bitki taşıyıcı katman kalınlığı, bina formu.
Sözcük sayısı:5299

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GREEN ROOFS FOR COOLING LOAD
FOR DIFFERENT BUILDING FORMS: EXAMPLE OF ELAZIĞ AND ANTALYA****ABSTRACT**

In this study, the effect of green roofs on the cooling load of the building was examined over the buildings with the same floor area but different building forms. For this purpose, the cooling loads have been calculated for Antalya and Elazığ provinces selected from two different

climatic zones: hot-humid and temperate-dry considering equal floor space and square, rectangular and L-shaped houses with terrace roofs. Later, the calculations were made by accepting that the same housing samples have green roof application and the results were compared. In addition, in the terrace roof application, the cases where the layer thickness of the plant varies between 5-50 cm by increasing 5 cm each, was investigated. In order to find the most advantageous roof and wall structural element combination in terms of energy consumption, externally insulated and sandwich wall types were also used as variables in calculations. As a result, it has been determined that green roof application reduces the building cooling load in both Elazig and Antalya according to all building forms and wall types. The lowest cooling load for both provinces was obtained in square form and sandwich wall applications. Green roof application affected building cooling load for Antalya between 3.19% - 8.88% considering externally insulated wall type and between 3.23% -8.96% considering sandwich wall type. These values were obtained between 3.06%-8.49% for Elazig province and externally insulated wall type, while they are between 3.16%-8.39% for sandwich wall type. In line with these data, it has been observed that the effect of green roof on building cooling load is mostly in buildings with square form and sandwich wall type, at least in the form of L-shaped and externally insulated wall type, and the effect of green roof use on cooling load in Antalya province is higher than in Elazig province.

Keywords: Green roof, cooling load, plant carrier layer thickness, building form

1.GİRİŞ

Sanayi devrimiyle birlikte artan teknolojik gelişmeler, insanların yaşam biçimini değiştirmiş ve enerjiye olan bağımlılığını arttırmıştır. İmalat ve sanayi sektörünün yanı sıra hızlı nüfus artışı, dinamik ekonomik yapı, yükselen refah düzeyi ve artan toplumsal talepler enerjinin kolay, ucuz bir şekilde elde edilmesini zorunlu kılmıştır. Bu durum konvansiyonel olan kömür, petrol, vb. fosil kaynaklara yönelip rezervlerin tüketilmesine ve sera gazı emisyonunun oluşmasına sebep olmuştur. 1970 yılında ortaya çıkan enerji kriziyle birlikte enerji ve çevre kavramları sorgulanmaya başlamıştır. Bu olumsuz gelişmelere dikkat çeken Dünya Çevre ve Gelişme Komisyonu (1987) 1987’de yayınladığı Ortak Geleceğimiz Raporu’nda “Sürdürülebilir Gelişme” kavramını gündeme getirmiştir. Tüm disiplinlerin günümüz gereksinimlerinin yanı sıra gelecekteki gereksinimleri de önemseyerek adımlar atmaları gerektiğini savunan rapor, yerel, bölgesel ve küresel ölçekte yeni enerji kaynaklarının araştırılması politikasının önünü açmıştır (Dikmen ve Gültekin 2011).

Kentleşmenin teknolojiyle birlikte artması yeni yaşam alanlarının oluşmasını ve dolayısıyla enerji kullanımının artmasını gerektirmektedir. Mevcut alanlar yeterli olmadığından yeşil alanlar yerleşim alanlarına çevrilerek insanların doğayla bağları koparıldığı gibi çevre tahribatı da meydana gelmektedir. Dünya üzerindeki enerjinin %50’si, suyun ise %42’si bina yapımında ve bina kullanım süreçlerinde tüketilmektedir. Çağın küresel ölçekteki en önemli sorunu olan küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının %50 ‘si, hava kirliliğinin %24’u, CFCS ve HFCS emisyonlarının %50 ‘si de yapı ile ilişkili faaliyetlerden oluşmaktadır. Bu sebeplerden dolayı doğanın işleyiş dengesi bozulmakta, insanla birlikte yeryüzünde yaşayan canlıların yaşamları da tehlikeye düşmektedir (Yıldırım, 2017).

Doğal kaynaklarını savurganca kullanan yaklaşımın yerine doğaya saygılı yöntemlerle, gelecek nesillere temiz ve yaşanılabilir bir çevre bırakabilmek amacıyla enerji tüketimini en aza indirmek, yeni enerji kaynaklarını araştırmak, yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir biçimde kullanmak gerekmektedir. Bu bağlamda enerji tüketimi ele alındığında yapı sektörünün payı oldukça fazladır. 2015 yılı verilerine göre Türkiye’deki enerji tüketiminin %32.8’ini bina sektörü, bunun da %28.5’ini konut sektörü oluşturmaktadır (Ulusal Enerji

Verimliliği Eylem Planı, 2017). Bu oran, enerji tüketiminin azaltılması hususunda konutların etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Küresel ısınmanın giderek arttığı günümüzde, binaların soğutulması için harcanan enerji miktarı da en az ısıtma için harcanan enerji miktarı kadar dikkat çekmektedir. **Zoroğlu vd. (2018)**, ısı konfor koşullarının sağlanması ve tüketilen enerjinin azaltılması konusunun, yönelme ve yapı kabuğu bileşenleri gibi tasarım kararlarıyla yakından ilişkili olduğunu savunmaktadır. Çalışmada yapı kabuğu bileşenlerinin U değerinin iyileştirmesi ve mekanik sistemin değiştirilmesi ile enerji tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir. **Erkmen (2005)**, sıcak-nemli ve sıcak-kuru olmak üzere sıcak iklim bölgelerinde yapıların soğutma yüklerini karşılaştırmıştır. Aynı yapının Antalya ve Diyarbakır illerinde yer aldığı varsayımı üzerinden yapılan soğutma yükü hesaplamalarıyla, bağıl nem faktörünün soğutma yükü üzerindeki etkisi somut olarak ortaya koyulmuştur. **Dombaycı vd. (2014)** Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer alan 10 il (Adana, Afyon, Ankara, Edirne, Erzurum, İzmir, Ardahan, Artvin, Samsun, Şanlıurfa) için soğutma derece gün sayıları ve farklı baz sıcaklıklarını dikkate alarak soğutma yükü tahmini yapmıştır. En yüksek soğutma derece gün sayısına sahip olan Şanlıurfa'nın soğutma yükü, en düşük derece gün sayısına sahip olan Ardahan'ın 16 katı olarak belirtilmiştir.

Binaların enerji tüketimini etkileyen ve en az yapı kabuğu elemanları kadar önemli olan bir diğer faktör ise bina biçim faktörüdür. **Bostancıoğlu (2010)**, aynı özelliklere sahip konut yapılarının, bina biçimleri, kabuk eleman özellikleri ve yönelimlerini değiştirerek inşaat ve yaşam döngüsü maliyeti üzerindeki etkisini araştırmıştır. **Parasonis vd. (2012)**, yaptıkları çalışmada mimari hacimsel tasarım çözümlerinin, bina içinde yapısal veya mekanik bir iyileştirmeye gerek duyulmadan, bina enerji tüketimini düşürmek üzerindeki etkisini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, aynı alana fakat farklı kabuk alanı özelliklerine sahip yapılar, farklı enerji tüketim potansiyeline sahiptir ve geometri binanın enerji tüketim potansiyeli üzerinde oldukça etkilidir.

222

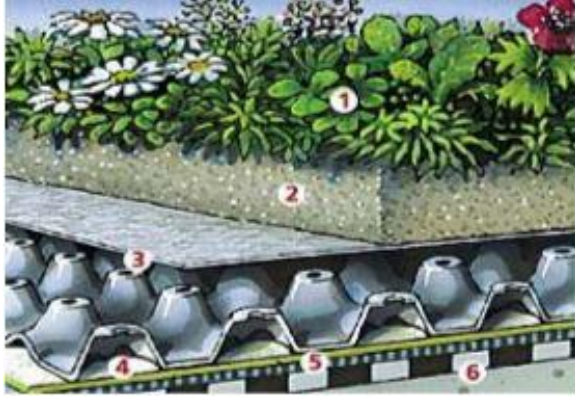
Yeşil çatı hem küresel ısınma üzerindeki azaltıcı etkisi, hem de bitki taşıyıcı katmanının sağladığı yalıtım etkisiyle soğutma ve ısıtma yükünü azaltmak için son yıllarda sıklıkla başvurulan bir uygulamadır (**Erkul, 2012**). **Büyükmihçi vd. (2015)** yeşil çatıları tarihi dokularda hem bütünlüğü bozmamak hem de tarihi dokuya enerji etkin bir kimlik kazandırmak adına, düz toprak damların yerine alternatif olarak önermiştir. **Külekçi (2017)**, yeşil çatıların kentsel çevre üzerindeki etkilerini anlattığı çalışmasında, enerji etkin bina tasarımına katkılarının yanı sıra, hava ve gürültü kirliliğinin azaltılması yönünde faydalarına da değinmiştir. **Aytin ve Ovalı (2016)**, çatı bahçelerinin tarihsel gelişimini, bina ve kent ölçeğindeki katkısını teorik olarak incelemiş, Edirne ölçeğinde çatı bahçesi bitkilendirme önerileri geliştirmiştir. Yeşil çatıların yağmur suyu yönetimi, hava kirliliğinin azaltılması, kentsel ısı adası etkisinin azaltılabilmesi gibi konularda faydalı olabileceği öngörüsünde bulunmuştur. **Dikmen ve Savcı (2015)**, yeşil çatıların kent ve yapı ölçeğindeki rolünün tartışılmasını ve uygulamada karşılaşılabilecek sorunların giderilmesini amaçlamıştır. Çalışmasında yeşil çatıların kentsel ısı adası etkisini azalttığını ve yapı sıcaklığını 3°C kadar düşürdüğünü açıklamıştır. **Kınalı (2013)**, çalışmasında ofis binalarında teras bileşenlerinde yapılacak bitkilendirmenin bina ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkisini incelemiştir. Adana ve Ankara illerine ait veriler elde edilerek çeşitli değişkenlere bağlı olarak hesaplamalar yapmıştır. Sonuç olarak bina enerji performansının çatı yüzey alanı ve yaprak yüzey alanı katsayısı ile doğru, bitki taşıyıcı katman kalınlığı ile ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. **Erkmen ve Gedik (2007)**, sıcak iklim bölgelerinde yapıların soğutma yüklerini karşılaştırmıştır. Antalya ve Diyarbakır illerindeki yapılar üzerinde yaptığı araştırma sonucu bağıl nem faktörünün soğutma yüküne etkisini gözlemlemiştir. **Demir vd. (2016)**, yeşil çatıların yatay ve düşey kullanımını araştırmıştır. Eskişehir ölçeğinde belirledikleri üç yeşil duvarı inceleyerek duvarların hissedilebilir derecede ısıyı tuttuğunu ve etkin bir ısı yalıtımı

sağladığını ortaya koymuştur. **Yao vd. (2018)** yeşil çatının geleneksel bir çatı yerine uygulanmasıyla değişecek yaşam döngüsü maliyeti ve çevresel etkiyi, eQuest yazılı üzerinden bir uygulama çalışması yaparak araştırmıştır. Çalışmada yeşil çatı uygulamasının, ısıtma ve soğutma için elektrik tüketimini metrekare başına 2,2 kwh azalttığı, çatıya eklenen katmanlar nedeniyle yaşam döngüsü maliyetini arttırdığını ve çevresel etkisinin daha az olduğu sonucuna varılmıştır. **Ebadati ve Ehyaei (2018)**, İran'da üç farklı iklim bölgesinde yer alan Bahdar Abbas, Tahran ve Tebriz'de, yeşil çatılı iki katlı bir ev için enerji analizleri yapmıştır. Sonuç olarak yeşil çatı kullanımıyla, ısıtma ve soğutma yükleri için elektrik tüketiminin, Tahran, Tebriz ve Bahdar Abbas'da sırasıyla %16,3, %12,5 ve % 23'e düşürüldüğü ve tropikal bölgelerde yeşil çatı kullanımının soğuk bölgelere göre daha etkili olduğu belirtilmiştir. **Kılıç Turan ve Gülten (2020)**, yeşil çatı sistemlerinin Türkiye'de yer alan farklı derece gün bölgeleri için ve farklı bina formları düşünülerek bina ısıtma ve soğutma yükü üzerindeki etkisini incelemiştir. Buna göre yeşil çatı sistemlerinin bina soğutma yüküne etkisinin bina ısıtma yüküne göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan araştırmalar yeşil çatı uygulamalarının ve bina formlarının, enerji tüketimi üzerindeki etkisini ayrı ayrı ortaya koymaktadır. Ancak yeşil çatı uygulamalarının değişen bina formlarına göre enerji tüketimi üzerindeki etkisi net değildir. Bu nedenle bu çalışmada yeşil çatıların aynı taban alanına sahip farklı bina formları söz konusu olduğunda enerji tüketimine olan etkisi soğutma yükü üzerinden analiz edilmiştir. Bu şekilde daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak yeşil çatı ve bina formu kavramlarının enerji tüketimi konusunda birbiriyle ilişkisi de irdelenmiştir. Bu amaçla sıcak-nemli ve ılıman-kuru olmak üzere iki farklı iklim bölgesinden seçilen Antalya ve Elazığ illeri için, eşit taban alanına ve kare, dikdörtgen ve L olmak üzere farklı biçimlere sahip konutların teras çatılı olduğu kabul edilerek soğutma yükleri hesaplanmıştır. Daha sonra aynı konut örneklerinin yeşil çatı uygulamasına sahip olduğu kabul edilerek de hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak, teras çatı uygulamasında bitki katman kalınlığının 5'er cm arttırılarak 5-50 cm arasında değiştiği durumlar incelenmiştir. Ayrıca enerji tüketimi açısından en avantajlı çatı ve duvar bina elemanı birleşimini bulabilmek için, dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar tipleri de hesaplamalarda değişken olarak kullanılmıştır. Belirlenen farklı parametrelerin bina soğutma yüküne etkisi yüzde (%) olarak sunulmuştur.

1.1 Yeşil Çatı Yapısı ve Yalıtım Etkisi

Yeşil çatılar boyut, fonksiyon ve tür açısından farklılık gösterebilmektedir. Ancak çatının düzgün bir şekilde işleyişini gerçekleştirebilmesi için belirli yapı bileşenlerine sahip olması gerekmektedir. İstenen teknik özelliklerin sağlanabilmesi, su kaçaklarının oluşmasının önlenebilmesi için, çatı konstrüksiyonu, filtrasyon, drenaj tabakası, kök tutucu, koruyucu tabaka, bitki taşıyıcı tabaka ve bitkilerden oluşan bu bileşenlerin eksiksiz ve doğru bir şekilde uygulanması önemlidir (**Hui, 2009**). Resim 1'de yeşil çatı için oluşum katmanları görülmektedir. Yağmur bitki ve toprak aracılığıyla emilir ve emilen su drenaj tabakasına aktarılır. Suyun bir kısmı sıcaklık nedeniyle buharlaşır, kalan su şehir şebekesine iletilir.



1. Bitkiler
2. Bitki taşıyıcı tabaka
3. Filtre ve drenaj tabakası
4. Mekanik etkilere karşı koruyucu tabaka
5. Kök tutucu tabaka
6. Yalıtım ve çatı konstrüksiyonu

Resim 1. Yeşil çatı oluşum katmanları (Hui,2009)

Yeşil çatıların yapı fiziği açısından sağladığı en önemli katkılardan biri ısı yalıtımıdır. Çatıda kullanılan yalıtım malzemeleri, başta güneş olmak üzere dış hava koşullarından olumsuz etkilenmektedir. Bu durum malzemenin yaşlanmasına sebep olmakta ve değiştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Yeşil çatı bileşenlerinden olan toprak, yalıtım malzemesi için koruyucu katman görevi görerek ömrünün uzamasını sağlamaktadır. Ayrıca ısı tutucu özelliği ile ısı yalıtımına katkı sağlaması enerji maliyetini düşürmektedir. Değişen hava sıcaklığına rağmen toprak tabakası ile çatı elemanının aşırı ısınma ve aşırı soğumasının önüne geçilmektedir (**Aytin ve Ovalı, 2016**).

Yeşil çatı sistemi binaya ek yük getireceğinden çatı konstrüksiyonunun sağlam olması çok önemlidir. Binanın dış ortam koşullarından korunmasında etkili olan ısı ve su yalıtımı malzemeleri uygun seçilmeli ve doğru uygulanmalıdır. Yeşil çatının uygulanacağı binaya göre ısıtma ve soğutma gereksinimi değişeceğinden yalıtım tabakalarının kalınlığı ve malzeme özellikleri uygun olacak şekilde belirlenmelidir (**Mansuroğlu, 1998**).

224

2. METOT

2.1. Soğutma Yüğü Hesaplama Yöntemi

Soğutma yüğü hesaplanırken American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) tarafından yayınlanan Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkı Yöntemi (CLTD-Cooling Load Temperature Difference) kullanılmıştır. Soğutma yüğü; iletim, taşınım ve ışıyım yoluyla oluşan duyulur ısı kazancının gizli ısı kazancı için belirlenen katsayı ile çarpılmasıyla elde edilir. Yapı bileşenlerinden, kapı ve pencerelerden, sızma ve havalandırmadan, insan ve cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları hesaplanır. Gizli ısı kazancı, nem faktörü dahil edilerek bulunan katsayı değeri ile duyulur ısı kazancının çarpılmasının sonucu olarak, toplam soğutma yüğü enerjisi miktarı elde edilir (**Kılıç Turan ve Gülten, 2020**).

Duvar, döşeme, çatı ve kapı gibi dolu yüzeyler için soğutma yüğü

$$q_1 = U.A.(CLTD) \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada q_1 (kW) soğutma yüğü, U (W/m²K) ısı geçiş katsayısı, A (m²) yapı elemanlarının yüzey alanı ve CLTD (°C) ise soğutma yüğü sıcaklık farkı değerlerini ifade etmektedir. Farklı hesap sıcaklıklarına göre belirlenen CLTD değerleri Tablo 1'den bulunur.

Tablo 1. Bağımsız konut yapıları için ortalama alma yöntemiyle bulunan CLTD (Cooling Load Temperature Difference-soğutma yükü sıcaklık farkı) değerleri (ASHRAE,1998)

	Hesap Sıcaklığı, °C											
	29		32			35			38		41	42
Günlük Sıcaklık Aralığı °C	L	M	L	M	H	L	M	H	M	H	M	H
Tüm duvarlar ve kapılar												
Kuzey	4	2	7	4	2	10	7	4	10	7	10	13
Kuzeydoğu ve Kuzeybatı	8	5	11	8	5	13	11	8	13	11	13	16
Doğu ve Batı	10	7	13	10	7	16	13	10	16	13	16	18
Güneydoğu ve Güneybatı	9	6	12	9	6	14	12	9	14	12	14	17
Güney	6	3	9	6	3	12	9	6	12	9	12	14
Çatılar ve Tavanlar												
Tavan arası veya çatı katı	23	21	26	23	21	28	26	23	28	26	28	31
Döşeme ve Tavanlar												
İklimlendirilmiş bölge altında	5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11
Bölmeler												
İç veya gölgelenmiş	5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11
Günlük değişim (tasarım için seçilen günde dış hava sıcaklığının değişimi) eş değer sıcaklık farkını önemli ölçüde etkiler. Günlük sıcaklık farkları H, M, L olarak sınıflandırılmıştır. H: Yüksek: 14°C değerinin üzerinde büyük sıcaklık değişimini M: Orta: 9°C ile 14°C arasındaki sıcaklık değişimini L: Düşük: 9°C değerinin altında küçük sıcaklık değişimini göstermektedir.												

Saydam yüzeyler için soğutma yükü ise

$$q_2 = (GLF)A \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır. GLF (W/m²) cam yükü faktörüdür ve Tablo 2’den bulunur. A (m²) pencere yüzey alanı değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 2. Bağımsız konut yapıları için GLF (Glass Load Factor-pencere camı yük faktörü) değerleri (ASHRAE, 1998)

	Tek Cam						Çift Cam					
Hesap Sıcaklığı, °C	29	32	35	38	41	43	29	32	35	38	41	43
İç Gölgeleme Olmadan												
Kuzey	107	114	129	148	151	158	95	95	107	117	120	129
Kuzeydoğu ve Kuzeybatı	199	205	221	237	243	262	173	177	186	196	199	208
Doğu ve Batı	278	284	300	315	322	337	243	246	255	265	268	278
Güneydoğu ve Güneybatı	249	255	271	287	290	309	218	221	230	240	243	252
Güney	167	173	189	205	211	227	145	148	158	167	170	180
Yatay Güneşliği	492	492	508	524	527	539	432	435	442	451	454	464

Hava sızıntısı miktarı soğutma yükü için Denklem 3 ile hesaplanabilir.

$$q_3 = 1,23.Q.\Delta t \quad (3)$$

Δt (°C) iç ve dış tasarım sıcaklık farkı değerini verirken hacimsel hava debisi olan Q (L/s) ise Denklem 4 yardımıyla hesaplanabilir.

$$Q = ACH.(V).1000/3600 \quad (4)$$

Burada, ACH (l/h) bir saatteki hava değişimidir ve Tablo 3'ten alınır. V (m³) ise odanın hacmini ifade etmektedir. Buna ek olarak insan ($q_4=67W$), cihaz ve aydınlatmadan ($q_5=470W$) kaynaklanan iç yükler de toplam soğutma yüküne etki eder. Buna göre tüm yapı bileşenleri, sızma ve iç yüklerin hesaplanmasıyla oluşan soğutma yükü Denklem 5 ile hesaplanır.

Tablo 3. Konut Binalarında Hava Sızdırmazlık Düzeyi -Bir saatteki hava değişimi değerleri (ACH) (ASHRAE,1998)

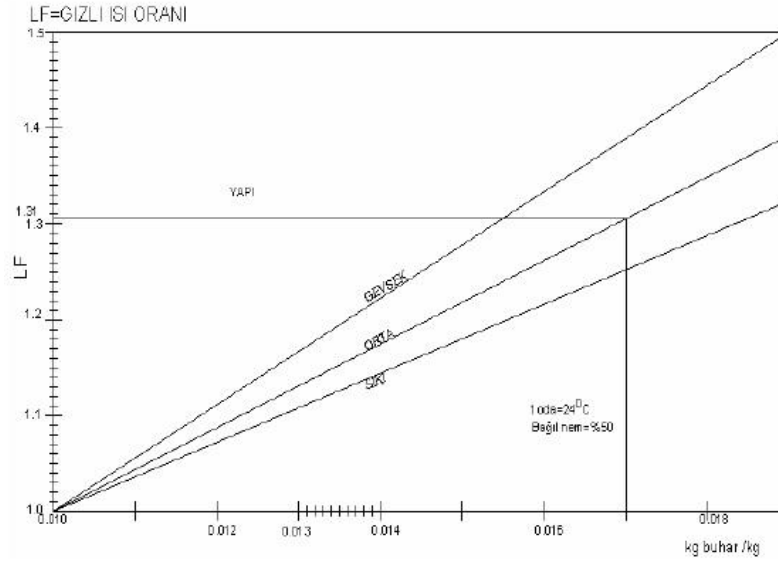
	Dış Hesap Sıcaklığı °C					
Sınıf	29	32	35	38	41	43
Sızdırmazlık düzeyi yüksek	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
Sızdırmazlık düzeyi orta	0,46	0,48	0,5	0,52	0,54	0,56
Sızdırmazlık düzeyi düşük	0,68	0,7	0,72	0,74	0,76	0,78
• Sızdırmazlık düzeyi yüksek - Yerlerine iyi oturan kapılar, pencereler ve sızdırmaz duvarlardan oluşan ve 140 m² değerinin altında döşeme alanına sahip evler bu sınıfa girer.						
Sızdırmazlık düzeyi orta- Yeni iki katlı evler veya on yaşını aşmış bakımı orta derecede yapılmış, 140 m² oturma alanından büyük evler orta sayılan yapı sınıfına girer.						
• Sızdırmazlık düzeyi düşük - 20 yılı aşmış, bakımsız orta düzeyde evler bu sınıfa girer.						

$$\Sigma q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \quad (5)$$

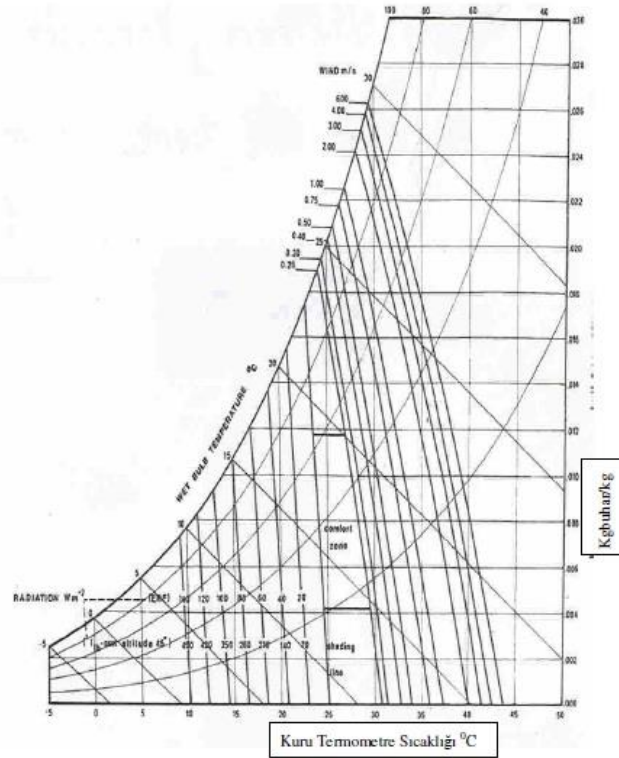
Toplam soğutma yükü (Denklem 6) ise gizli ısı yükü çarpanı ve soğutma yükü değerinin çarpımı sonucu elde edilir.

$$q_{\text{toplam}} = (LF) \Sigma q \quad (6)$$

Yük faktörleri (LF), tasarım dış nem oranı ve sızdırmazlık sınıfına göre Resim 2 ve Resim 3'ten bulunur.

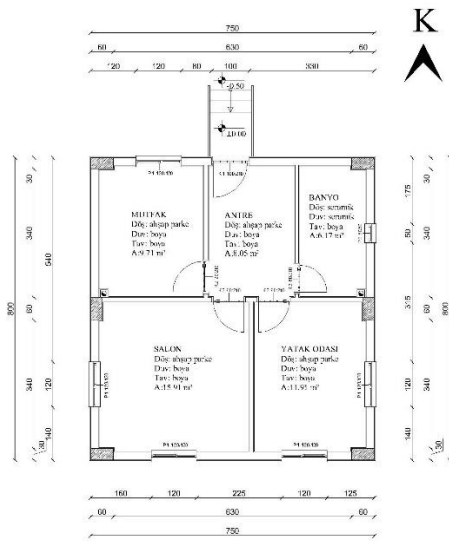


Resim 2. Sızmanın gizli ısı oranına etkisi (ASHRAE,1998)

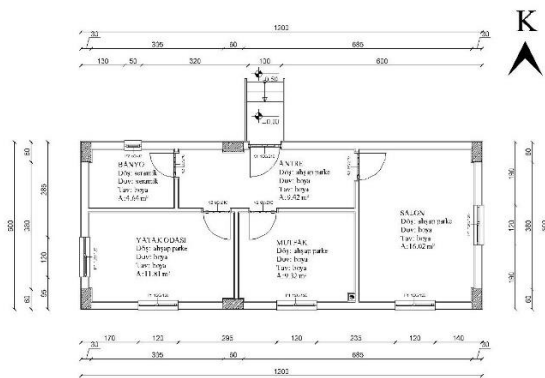
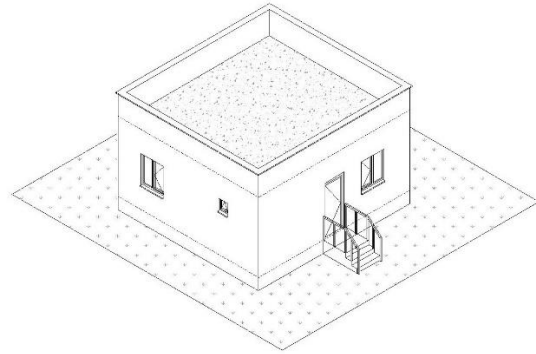


Resim 3. Sıcaklık-bağıl nem-mutlak nem ilişkisi (Watsons ve Labs,1983)

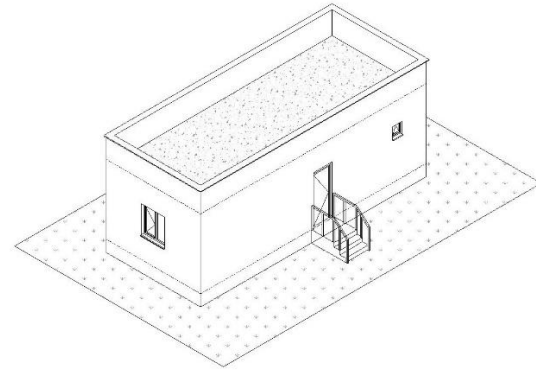
Bu çalışmada, son on yılın 21 Temmuz günü için gösterilen en yüksek sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak, konutlar için ideal soğutma sıcaklığı 24°C ve ideal bağıl nem %50 olarak belirlenerek Antalya ve Elazığ illeri için soğutma yükü hesaplanmıştır. Hesaplamalarda nem değerleri Elazığ için % 27.8 ve Antalya için % 60.5, LF değerleri ise Elazığ ve Antalya için sırasıyla 1 ve 1.25 olarak kabul edilmiştir (Kılıç Turan ve Gülten, 2020).



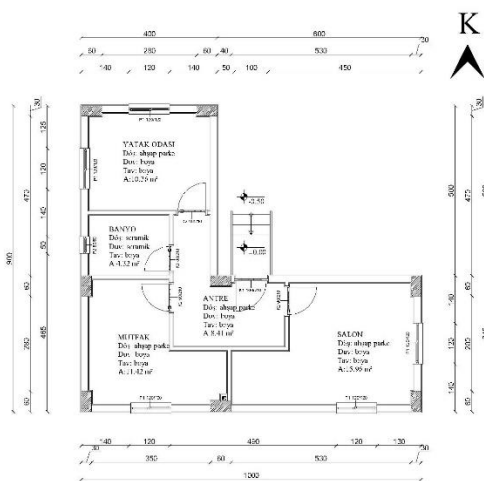
KARE



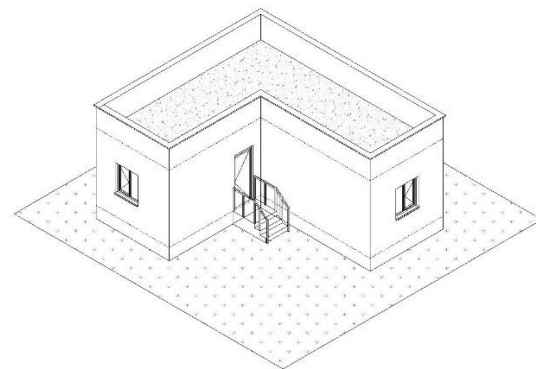
DİKDÖRTGEN



229



L FORM



Resim 4. Örnek Yapıların Plan ve Perspektifi (Kılıç Turan ve Gülten, 2020; Kılıç Turan, 2019)

2.2. Bina Biçimlerinin ve Bina Yapı Bileşenlerinin Belirlenmesi

Elazığ ve Antalya için elde edilen iklimsel veriler dikkate alınarak örnek bina tasarımları yapılmıştır. Farklı biçimlerde, aynı kullanım alanına ve kapı, pencere açıklığına sahip binalar,

yeşil çatılı ve standart teras çatılı olacak şekilde hesaplamalar yapılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca yeşil çatı sistemi kendi içinde bitki taşıyıcı katman kalınlığı değiştirilerek değerlendirilmiştir. Duvar tipi olarak da dıştan yalıtımlı sıva ve sandviç duvar sistemi kullanılarak farklı değişkenler ele alınmıştır.

Tasarlanan konutlar üç kişilik çekirdek bir aile için uygun koşulları sağlayacak şekilde 60 m² kullanım alanına sahiptir. Salon, mutfak, yatak odası, banyo ve antreden oluşan konutlar kare, dikdörtgen ve L form olarak üç farklı biçimde düzenlenmiştir (Resim 4). İki iklim tipi için de aynı veriler kullanılarak çatı ve duvar için belirlenen yapı bileşen fiziksel özellikleri Tablo 4 ve Tablo 5'te sunulmuştur. Duvar için dıştan yalıtımlı ve sandviç, çatı elemanı için ise standart teras çatı ve yeşil çatı olmak üzere iki ayrı kesit için tanımlama yapılmıştır (Kılıç Turan, 2019).

Tablo 4. Standart ve yeşil çatılar için yapı bileşen fiziksel özellikleri

Çatı Tipi	Malzeme	Kalınlık d (cm)	Isıl İletkenlik Değeri λ (W/m.k)	Çatı Elemanı Isı Geçiş Katsayısı U (W/m ² k)
Standart Teras Çatı	Tavan Sıvası	1,2	0,70	0,38
	Betonarme Döşeme	12	2,50	
	Eğim Betonu	7	1,65	
	Astar Katmanı	0,04	0,19	
	Bitümlü Su Yalıtımı	0,6	0,19	
	Cam Yünü Isı Yalıtımı	8	0,035	
	Geotekstil Keçe	0,18	0,19	
	Çakıl	5	0,70	
Yeşil Çatı	Tavan Sıvası	1,2	0,70	5 cm=0,31 10 cm=0,29 15 cm=0,27 20 cm=0,26 25 cm=0,25 30 cm=0,23 35 cm=0,22 40 cm=0,21
	Betonarme Döşeme	12	2,50	
	Eğim Betonu	7	1,65	
	Astar Katmanı	0,04	0,19	
	Bitümlü Su Yalıtımı	0,6	0,19	
	Cam Yünü Isı Yalıtımı	8	0,035	
	Filtre Katmanı	0,031	0,19	
	Kök Tutucu Örtü	0,045	0,19	
	Koruyucu Katman	0,1	0,19	

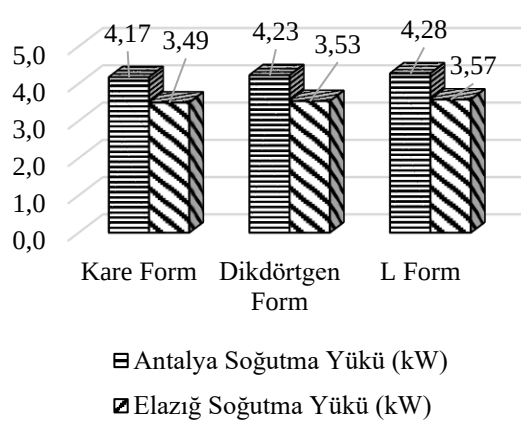
	Delikli Drenaj Levhası	2,5	0,19	45 cm=0,20
	Filtre Katmanı	0,031	0,19	50 cm=0,19
	Bitki Taşıyıcı Katman	5-50	0,25	
	Bitki	10	0,3	

Tablo 5. Çatı haricindeki yapı bileşenlerinin fiziksel özellikleri

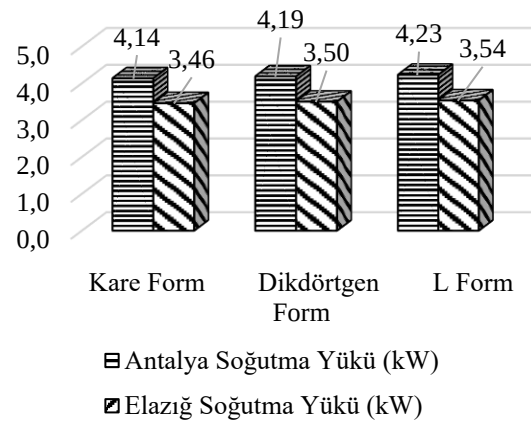
Yapı Bileşeni	Malzeme	Kalınlık d (cm)	Isıl İletkenlik Değeri (W/m.k)	Yapı Bileşeni	Malzeme	Kalınlık d (cm)	Isıl İletkenlik Değeri (W/m.k)
Dıştan Yalıtımlı Duvar ^{boya}	Yalıtım Sıvası	3,00	0,30	Saandviç Duvar ^{boya}	Dış Sıva	3,00	0,30
	XPS Isı Yalıtımı	5,00	0,03		Tuğla Duvar	13,50	0,49
	Tuğla Duvar	19,00	0,49		XPS Isı Yalıtımı	6,00	0,03
	Kaba Sıva	2,00	1,00		Tuğla Duvar	8,50	0,49
	Alçı Sıva	0,50	0,70		Kaba Sıva	2,00	1,00
Dıştan Yalıtımlı Duvar ^{seramik}	Yalıtım Sıvası	3,00	0,30	Sandviç Duvar ^{seramik}	Dış Sıva	3,00	0,30
	XPS Isı Yalıtımı	5,00	0,03		Tuğla Duvar	13,50	0,49
	Tuğla Duvar	19,00	0,49		XPS Isı Yalıtımı	6,00	0,03
	Kaba Sıva	2,00	1,00		Tuğla Duvar	8,50	0,49
	Seramik Kaplama	0,50	1,00		Kaba Sıva	2,00	1,00
Döşeme ^{laminat}	Kum Çakıl Dolgu	10,00	0,70	Döşeme ^{seramik}	Kum Çakıl Dolgu	10,00	0,70
	Grobeton	10,00	1,65		Grobeton	10,00	1,65
	Bitümlü Su Yalıtımı	0,60	0,19		Bitümlü Su Yalıtımı	0,60	0,19

Koruma Beton	5,00	1,65	Koruma Beton	5,00	1,65
Betonarme Temel	30,00	2,50	Betonarme Temel	30,00	2,50
Kum Çakıl Dolgu	50,00	0,70	Kum Çakıl Dolgu	50,00	0,70
Grobeton	10,00	1,65	Grobeton	10,00	1,65
Betonarme Döşeme	10,00	2,50	Betonarme Döşeme	10,00	2,50
XPS Isı Yalıtımı	5,00	0,03	XPS Isı Yalıtımı	5,00	0,03
Tesviye Beton	3	1,65	Tesviye Beton	3	1,65
Şap	2,5	1,40	Seramik Kaplama	1	1,00
Polietilen Şilte	0,3	0,043			
Laminat Parke	0,8	0,21			

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME



(a)



(b)

Resim 5. Antalya, Elazığ için standart teras çatılı a) dıştan yalıtımlı b) sandviç duvar kullanılan örnek bina formlarına ait bina soğutma yükleri

Farklı iklim bölgelerinde bulunan Antalya ve Elazığ illerine ait iklimsel veriler kullanılarak örnek binaların soğutma yükleri, Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkı (CLTD) yöntemi ile son on yılın 21 Temmuz günlerinin en yüksek sıcaklık değerlerinin ortalamasına göre hesaplanmıştır. Standart teras çatı ve yeşil çatı türleri için, bitki taşıyıcı katman kalınlığı (5-50cm) ve duvar tipi (sandviç ve dıştan yalıtımlı) farklılaştırılarak her bina formu için ayrı hesaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu veriler doğrultusunda standart teras çatı için dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar kullanılan farklı formlardaki binaların soğutma yükleri Resim 5 (a) ve (b)'de sunulmuştur. Elazığ için 3,460 kW ile 3,572 kW arasında, Antalya için ise 4,173 kW ile 4,275 kW arasında değişen soğutma yükleri belirlenmiştir. Nemli iklim özelliğinin de etkisiyle Antalya için hesaplanan yüklerin daha fazla olduğu, her iki il için sandviç duvarın küçük bir farkla da olsa daha az soğutma yükü ihtiyacı sağladığı görülmektedir. Bina formları açısından ise en düşük soğutma yükü kare form, en yüksek soğutma yükü ise L formlu bina için hesaplanmıştır. Yeşil çatının farklı bina formlarının soğutma yüküne etkisi ise farklı kalınlıklarda bitki taşıyıcı katmanları hesaplamalara dâhil edilerek incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Yeşil çatının farklı bina formları için soğutma yüküne etkisi

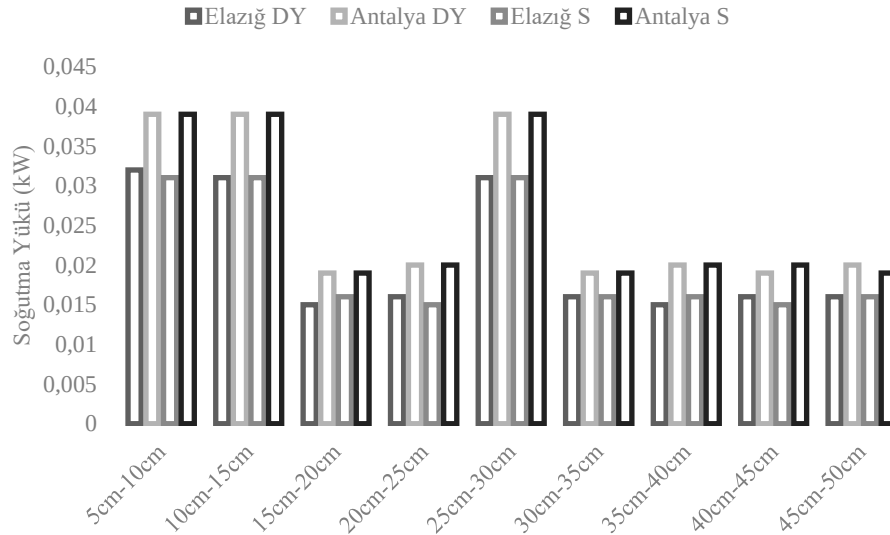
Bitki Taşıyıcı Katman Kalınlığı	Duvar Türü	Kare Form		Dikdörtgen Form		L form	
		Elazığ Soğutma Yüğü (kW)	Antalya Soğutma Yüğü (Kw)	Elazığ Soğutma Yüğü (kW)	Antalya Soğutma Yüğü (Kw)	Elazığ Soğutma Yüğü (kW)	Antalya Soğutma Yüğü (Kw)
5	Dıştan Ylt.	3,381	4,036	3,422	4,090	3,461	4,136
	Sandviç	3,350	3,998	3,391	4,052	3,424	4,090
10	Dıştan Ylt.	3,349	3,997	3,391	4,051	3,430	4,097
	Sandviç	3,319	3,959	3,360	4,013	3,392	4,051
15	Dıştan Ylt.	3,318	3,958	3,359	4,012	3,398	4,058
	Sandviç	3,288	3,920	3,329	3,974	3,361	4,012
20	Dıştan Ylt.	3,303	3,939	3,344	3,992	3,383	4,039
	Sandviç	3,272	3,901	3,313	3,954	3,346	3,993
25	Dıştan Ylt.	3,287	3,919	3,328	3,973	3,367	4,019
	Sandviç	3,257	3,881	3,298	3,935	3,330	3,969
30	Dıştan Ylt.	3,256	3,880	3,297	3,934	3,336	3,980
	Sandviç	3,226	3,842	3,267	3,896	3,299	3,934
35	Dıştan Ylt.	3,240	3,861	3,281	3,914	3,320	3,961
	Sandviç	3,210	3,823	3,251	3,876	3,283	3,915

40	Dıştan Ylt.	3,225	3,841	3,266	3,901	3,305	3,941
	Sandviç	3,194	3,803	3,235	3,857	3,268	3,892
45	Dıştan Ylt.	3,209	3,822	3,250	3,875	3,289	3,922
	Sandviç	3,179	3,783	3,220	3,837	3,252	3,876
50	Dıştan Ylt.	3,193	3,802	3,235	3,856	3,274	3,902
	Sandviç	3,163	3,764	3,204	3,818	3,236	3,856

Buna göre Antalya ili için, kare formulu dıştan yalıtımlı duvar tipi kullanılan örnek binada bitki taşıyıcı katman kalınlığı 5 cm olduğunda 4,04 kW, 25 cm olduğunda 3,92 kW ve 50 cm olduğunda 3,80 kW soğutma yükü belirlenmiştir. Sandviç duvarda ise bu değerler sırasıyla 3,998 kW, 3,881 kW ve 3,764 kW olarak belirlenmiştir. Dikdörtgen formulu dıştan yalıtımlı duvar tipi kullanılan örnek binada bitki taşıyıcı katman kalınlığı 5 cm olduğunda 4,09 kW, 25 cm olduğunda 3,97 kW ve 50 cm olduğunda 3,86 kW soğutma yükü hesaplanmıştır. Sandviç duvarda ise bu değerler sırasıyla 4,052, 3,935 ve 3,818 olarak belirlenmiştir. L formulu dıştan yalıtımlı duvar tipi kullanılan örnek bina için ise soğutma yükü 5, 25 ve 50 cm lik bitki taşıyıcı katman kalınlıkları için sırasıyla 4,14 kW, 4,02 kW ve 3,90 kW iken, sandviç duvarda belirtilen bitki taşıyıcı katman kalınlıkları için soğutma yükleri sırasıyla 4,090 kW, 3,969 kW 3,856 kW olarak belirlenmiştir.

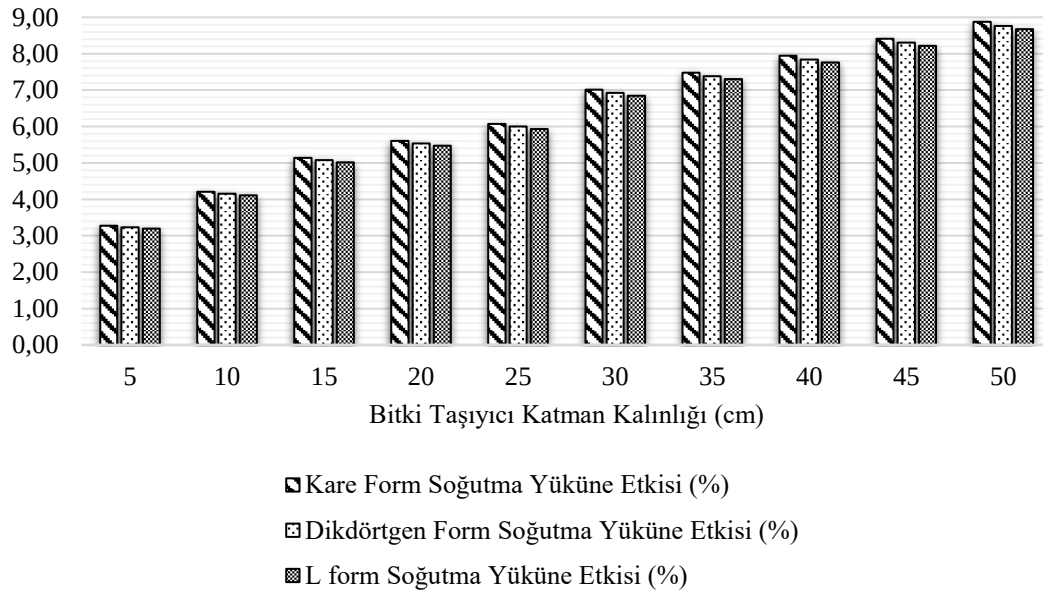
Elazığ ili için kare formulu dıştan yalıtımlı duvar tipi kullanılan örnek binada bitki taşıyıcı katman kalınlığı 5 cm olduğunda 3,38 kW, 25 cm olduğunda 3,29 kW ve 50 cm olduğunda 3,19 kW soğutma yükü elde edilmiştir. Sandviç duvar için ise bu değerler sırasıyla 3,350 kW, 3,257 kW ve 3,163 kW olarak hesaplanmıştır. Dikdörtgen formulu dıştan yalıtımlı duvar tipi kullanılan örnek binada bitki taşıyıcı katman kalınlığı 5 cm olduğunda 3,42 kW, 25 cm olduğunda 3,33 kW ve 50 cm olduğunda 3,23 kW soğutma yükü hesaplanmıştır. Sandviç duvar için bu değerler 3,391 kW, 3,298 kW ve 3,204 kW olarak hesaplanmıştır. L formulu dıştan yalıtımlı duvar tipi kullanılan örnek binada bitki taşıyıcı katman 5 cm olduğunda 3,46 kW, bitki taşıyıcı katman 25 cm olduğunda 3,37 kW, bitki taşıyıcı katman 50 cm olduğunda 3,27 kW olmaktadır. L form için sandviç duvar dikkate alındığında ise 5,25 ve 50 cm bitki taşıyıcı katman kalınlıkları için 3,424 kW, 3,330 kW ve 3,236 kW soğutma yükü değerleri hesaplanmıştır.

Buna göre, yeşil çatılı kare form için belirlenen soğutma yükünün en az, L form için belirlenen soğutma yükünün en fazla olduğu görülmektedir. Standart teras çatıda olduğu gibi, bütün bina formları için sandviç duvar kullanılarak hesaplanan soğutma yükü dıştan yalıtımlı duvar kullanılarak hesaplanan soğutma yüküne göre daha azdır. Bitki taşıyıcı katman kalınlığı arttıkça soğutma yükü ihtiyacı azalmaktadır. Ancak bu azalma, bitki taşıyıcı katman kalınlığının artışıyla tam olarak ters orantılı değildir. Resim 6'da tüm bina formları için geçerli olan ve bitki taşıyıcı katman kalınlığının değişimiyle soğutma yükünde meydana gelen düşüş miktarı gösterilmektedir. Buna göre kalınlık 5cm'den 10 cm'e çıkarıldığında ve 10cm'den 15'cm'e çıkarıldığında, soğutma yükünde her seferinde 0,031 kW lık bir azalma meydana gelmektedir. Benzer bir fark kalınlığın 25cm'den 30cm'e çıkarıldığı aralıkta gözlenmektedir. Diğer değişim aralıklarında soğutma yükünde ortalama 0,016 kW lık bir azalma meydana gelmektedir. Bitki taşıyıcı katman kalınlığının artırılmasıyla, soğutma yükünde hem sandviç hem de dıştan yalıtımlı duvar türleri için aynı miktarda tasarruf sağlanırken, Antalya için sağlanan tasarrufun Elazığ'a göre daha fazla olduğu görülmektedir.

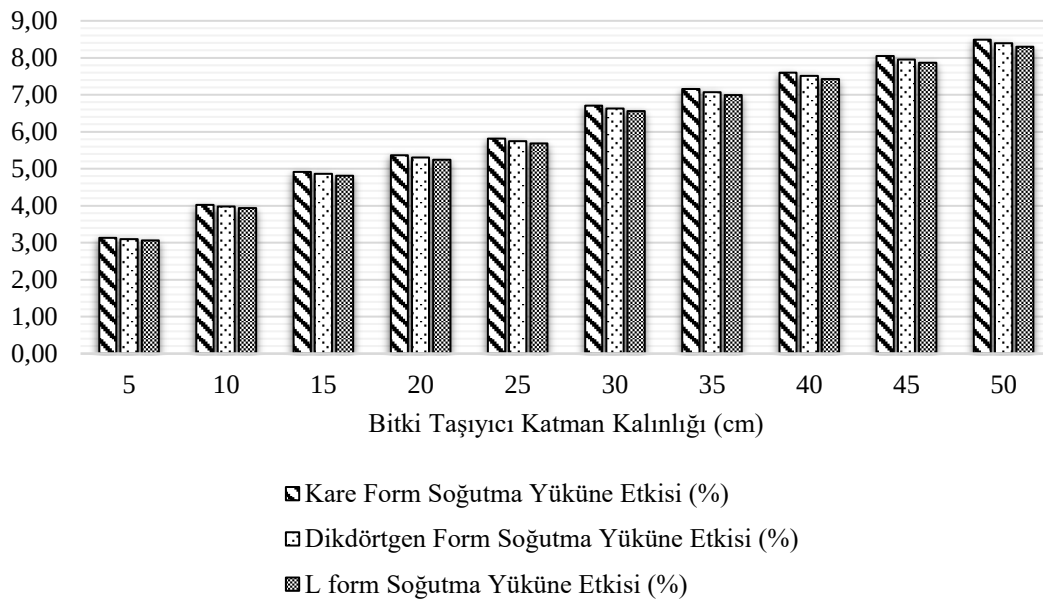


Resim 6. Bitki taşıyıcı katman kalınlığının artırılmasıyla soğutma yükünde meydana gelen değişim (DY: Dıştan yalıtımlı duvar, S: Sandviç duvar)

Resim 7 ve Resim 8’de Antalya ve Elazığ illeri için yeşil çatının standart teras çatıya göre soğutma yüküne etkisi % olarak ve değişen bitki taşıyıcı katman kalınlıklarına göre sunulmuştur. Antalya ilinde yeşil çatının soğutma yüküne etkisi dıştan yalıtımlı duvar tipi dikkate alındığında kare form kullanılan örnek binada %3,27 ile %8,88 arasında, dikdörtgen form için %3,23 ile %8,77 arasında ve L form için ise %3,19 ile %8,67 arasında değişmektedir. Sandviç duvar dikkate alındığında bu değerler kare form için %3,30 ile %8,96 arasında, dikdörtgen form için %3,26 ile %8,85 arasında ve L form için %3,23 ile %8,77 arasında elde edilmiştir. Elazığ için ise dıştan yalıtımlı duvar tipi kullanıldığında yeşil çatının soğutma yüküne etkisi kare form için %3,13 ile %8,49 arasında, dikdörtgen form için %3,09 ile %8,39 arasında ve L form için %3,06 ile %8,30 arasında değişmektedir. Sandviç duvar kullanıldığında bu değerler kare, dikdörtgen ve L formlu binalar için sırasıyla %3,16 ile %8,57, %3,12 ile %8,47 ve %3,09 ile %8,39 arasında elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin en fazla kare formlu ve sandviç duvar tipi kullanılan binalarda, en az L formlu ve dıştan yalıtımlı duvar tipi kullanılan binalarda olduğu ve yeşil çatı kullanımının Antalya ilinde soğutma yüküne etkisinin Elazığ iline göre daha fazla olduğu görülmektedir.



Resim 7. Antalya ili, yeşil teras çatılı örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi



Resim 8. Elazığ ili, yeşil teras çatılı örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yeşil çatıların bina soğutma yüküne etkisi kare, dikdörtgen ve L olarak belirlenen farklı bina formları ve 5cm ile 50 cm arasında değişen farklı bitki taşıyıcı katman kalınlıkları üzerinden incelenmiştir. Belirlenen örnek binalarda dıştan yalıtımlı ve sandviç olmak üzere iki farklı duvar tipi uygulandığı kabul edilmiştir. Soğutma yükü için CLTD hesap metodu kullanılmış olup, hesaplamalar Antalya ve Elazığ illeri için yapılmıştır. Çalışmada örnek binaların hem standart teras çatı hem de yeşil çatı uygulanmış olduğu düşünülerek hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda yeşil çatıların soğutma yüküne etkisi farklı bina formları için % olarak da sunulmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Standart teras çatılı örnek binalarda ısıtma ve soğutma yükü ihtiyacı yapı yüzey alanıyla orantılıdır. Buna göre kare formdaki binanın soğutma yükünün en az, L formdaki binanın soğutma yükünün en fazla olduğu belirlenmiştir. Yeşil çatının hesaplamalara dahil edilmesiyle soğutma yükü miktarları azalsa da, bina formları için yapılan bu sıralama değişmemiştir.
- Dıştan yalıtımlı duvar uygulanan binalar sandviç duvar uygulanan binalara göre daha fazla soğutma yüküne sahiptir.
- Bitki taşıyıcı katman kalınlığının artırılmasıyla, soğutma yükünde hem sandviç hem de dıştan yalıtımlı duvar türleri için aynı miktarda tasarruf sağlanırken, Antalya için sağlanan tasarrufun Elazığ'a göre daha fazla olduğu görülmüştür.
- Yeşil çatı elemanının hesaplamalara dâhil edilmesi, hem Antalya hem de Elazığ için bina soğutma yükünü azaltmaktadır. Ancak bu etki hesaplamada kullanılan nem/sıcaklık değerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir ve Antalya için daha olumlu bir etkiye sahiptir.
- Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi bina formu açısından karşılaştırıldığında kare forma sahip binalarda en fazla, L forma sahip binalarda ise en az etkiye sahip olduğu görülmektedir.
- Yeşil çatı bileşenlerinden olan bitki taşıyıcı katman kalınlığının artması ile bina soğutma enerjisi ihtiyacı azalmaktadır. Ancak bitki taşıyıcı katman kalınlığının artması beraberinde uygulama maliyetinde bir artışa neden olacaktır. Soğutma yükündeki azalmanın 5-15 cm ile 25-30 cm kalınlıkları arasında daha fazla olması nedeniyle yeşil çatılarda 30 cm kalınlığında bitki taşıyıcı katmanı kullanılması, hem soğutma yükünü düşürmek hem de maliyeti optimum bir değerde tutmak açısından önerilebilir.

Çalışma, hesaplamalara yeşil çatı maliyeti de dâhil edilerek ekonomik açıdan elde edilen veriler doğrultusunda uygun bitki taşıyıcı katman kalınlığının belirlenmesiyle hem çevresel hem de ekonomik fayda sağlayacak şekilde genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] AKPINAR KÜLEKÇİ, E . (2017). *Geçmişten Günümüze Yeşil Çatı Sistemleri ve Yeşil Çatılarda Kalite Standartlarının Belirlenmesine Yönelik bir Araştırma* . ATA Planlama ve Tasarım Dergisi, 1 (1), 35-53.
- [2] ASHRAE Temel El Kitabı (1998), *Konutlarda Isıtma ve Soğutma Yükü Hesapları*, Bölüm 25, İstanbul.
- [3] BOSTANCIOĞLU, E., (2010) *Effect of Building Shape on a Residential Building's Construction, Energy and Life Cycle Costs*, Architectural Science Review, 53:4, 441-467
- [4] BÜYÜKMIHÇI, G., SALGIN, B. , ÖZKAN, A . (2015). *Yeşil Çatı Çözümlerinin Tarihi Dokularda Geleneksel Çatı Örtüsü Olarak Uygulanabilirliği Üzerine bir İnceleme*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 31 (2), 163-171.
- [5] DEMİR, R., YİĞİT AVDAN, Z., AVDAN, U., DEMİRCİOĞLU YILDIZ, N., (2016). *Yaşayan Duvarların Kentin Isı Değişimine Etkisi*, 6. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2016), s:1089-1098, 5-7 Ekim, Adana.

- [6] DİKMEN, Ç. B. ve GÜLTEKİN, A. B., (2011). *Usage of Renewable Energy Resources In Buildings in The Context Of Sustainability*, SDU Journal of Engineering Science and Design, Vol:1 No:3 pp.96-100.
- [7] DİKMEN, Ç. B., SAVCI, S., (2015). *Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Kapsamında Çevre Dostu Yeşil Çatı Uygulamalarının İrdelenmesi*, 2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, s:214-220, 28-30 Mayıs, Ankara.
- [8] DOMBAYCI, A. , BAYRAKÇI, H. , ÖZGÜR, A. . (2014). *Konutlarda Soğutma Enerjisi Tüketiminin Farklı Baz Sıcaklıkları İçin Derece Gün Yöntemiyle Tahmini*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13 (3), 311-314.
- [9] EBADATI, M., EHYAEI, M. A. (2018) *Reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs in three different climates of Iran*, Advances in Building Energy Research
- [10] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2017). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, Kasım, Ankara.
- [11] ERKMEN, F. , GEDİK, G . (2007). *Örnek Bir Konutun Farklı Yöntemlerle Hesaplanan Soğutma Yüklerinin Karşılaştırılması*. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6 (11), 143-163.
- [12] ERKMEN, F. İ., (2005). *Sıcak İklim Bölgelerinde Yapıların Soğutma Yüklerinin Karşılaştırılması (Antalya, Diyarbakır Örneği)*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] ERKUL, E., (2012). *Yeşil Çatı Sistemlerinin Yapım Açısından İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [14] HUI, S. C. M., (2009). *Green Roof Systems and Technology*, Ashrae-Hkc / Cıbse-Hkb / Hk1e-Bsd Joint Function Talk.
- [15] KARAKAYA AYTİN, B., KISA OVALI, P., (2016). *Çatı Bahçelerinin Kent Yaşamına Katkıları –Edirne’deki Yeni Dönem Konaklama Yapıları Çatıları İçin Bitkilendirme Önerileri*, İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, C:6, S:14, s:1-17.
- [16] KILIÇ TURAN, B. (2019), *Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı İklim Bölgeleri için Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [17] KILIÇ TURAN, B., GÜLTEN, A. (2020). *Yeşil Çatı Sistemlerinin Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı Bina Formları ve Derece Gün Bölgeleri İçin Analizi*. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 32 (1) , 105-118.
- [18] KINALI, M., (2013). *Farklı İklim Bölgelerindeki Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [19] MANSUROĞLU, S. G., (1998). *Ülkemiz Koşullarında Çatı Bahçelerinde Kullanılabilecek Bitki Türleri*, 1.Ulusal Süs Bitkileri Kongresi Bildiriler Kitabı, s: 301-306, Yalova.
- [20] PARASONIS, J., KEIZIKAS, A., KALIBATIENE, D., (2012) *The relationship between the shape of a building and its energy performance*, Architectural Engineering and Design Management, 8:4, 246-25.
- [21] WATSON, D., LABS, K., (1983). *Climatic Buildig Design*, Mc Gram-Hill Book Company

- [22] WCED (World Commission on Environment and Development), (1987). Our Common Future, Oxford University Press, London.
- [23] YAO,L., CHINI, A., ZENG, R., (2018) *Integrating cost-benefits analysis and life cycle assessment of green roofs: a case study in Florida*, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal
- [24] YILDIRIM, A., (2017). *Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Çerçevesinde Kapalı Konut Yerleşkeleri; Antalya Örneği*, Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, C:2 S:3, s:135-142.
- [25] ZOROĞLU, F., ATMACA, A., B., ZORER GEDİK, G., (2018). *Çevresel Sürdürülebilirlik Kapsamında Konutta Isıl Konforun Sağlanması ve Enerji Tüketiminin Azaltılması*, İstanbul 1. Konut Kurultayı.