

Yeşil Çatı Sistemlerinin Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı Bina Formları ve Derece Gün Bölgeleri İçin Analizi

Büşra KILIÇ TURAN¹, Ayça GÜLTEN²

¹Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Elazığ, Türkiye

²Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
email^{*12}:aycagulten@gmail.com

(Geliş/Received: 16/07/2019;

Kabul/Accepted: 06/02/2020)

Öz: Bu çalışmada konutlarda yeşil çatı sistemlerinin bina ısıtma ve soğutma yüküne farklı derece gün bölgelerinde, üç farklı biçimde (kare, dikdörtgen ve L formda) tasarlanan konut örnekleri için etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Isıtma yükü için TS 825 hesap yöntemi soğutma yükü için ise Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı Yöntemi (CLTD) kullanılmıştır. Ayrıca yeşil çatı bileşenlerinden yetiştirme ortamı derinliği 5 ile 50 cm arasında 5'er cm olacak biçimde artırılarak bu katmanın, ısıtma ve soğutma yükü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Böylelikle yeşil çatı sisteminin Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illerinde tasarlanan örnek konutlar üzerinde, bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisi belirlenen değişkenler doğrultusunda incelenerek ortaya çıkan farklılıklar analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, yeşil çatı sisteminin bina soğutma yüküne etkisinin, bina ısıtma yüküne etkisine göre daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Yeşil çatı, bina ısıtma yüküne farklı derece gün bölgelerinde aynı oranda etki ederken, soğutma yükü üzerindeki etkisi, 1.derece gün bölgesinde, kare formu, 50 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada en yüksek; 3. derece gün bölgesinde, L formu, 5 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada ise en düşük derecede olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil çatı, enerji etkinliği, sürdürülebilirlik, ısıtma yükü, soğutma yükü

Analysis of the Effect of Green Roofs on the Heating and Cooling Load of Buildings for Different Building Forms and Degree Day Regions

Abstract: In this study, it is aimed to investigate the effect of green roofs on the heating and cooling load of buildings in different degree day zones, for square rectangular and L formed houses. TS 825 code was used for heating load and Cooling Load Temperature Difference Method was used for cooling load computation. The plant carrier layer thickness was increased by 5 cm between 5 and 50 cm and its effect on heating and cooling load was also investigated. The effects of the green roofs on the sample houses designed in Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri and Erzurum provinces were analyzed in accordance with the determined variables. It has been found that the effect of green roof on cooling load is higher than the effect of building roof on building heating load. While the effect of green roof on the heating load has the same effect in different degree zones, the effect on the cooling load is higher in the 1st degree day zone, for square form, 50 cm plant carrier layer and the least effect is for the 3rd degree day zone and the L-shaped, 5 cm plant carrier layer.

Key Words: Green roof, energy efficiency, sustainability, heating load, cooling load

1.Giriş

Gelişen teknoloji beraberinde kentleşmeyi de getirmekte olup enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Enerji kaynaklarının bilinçsizce kullanılması, konvansiyonel enerji kaynaklarının azalması gibi sonuçların yanı sıra yeşil alanlara müdahale edilmesinden dolayı ekolojik dengenin bozulması da oldukça önem arz etmektedir. Kentleşme sonucunda ortaya çıkan yapay çevre ile mevcut doğal çevre arasındaki oran bozulmakta olup, gelecek yüzyıllar için sorun teşkil etmektedir. Dünya üzerindeki enerjinin %50'si, suyun ise %42'si bina yapımında ve bina kullanım süreçlerinde tüketilmektedir. Çağın küresel ölçekteki en önemli sorunu olan küresel ısınmanın nedeni olan sera gazlarının %50'si, hava kirliliğinin %24'u, Kloroflorokarbon (CFC) ve Hidrokloroflorokarbon (HCFC) salınımlarının %50'si de yapı ile ilişkili faaliyetlerden oluşmaktadır. Bu sebeplerden dolayı doğa işleyiş dengesi bozulmakta, insanla birlikte yeryüzünde yaşayan canlıların yaşamları da tehlikeye düşmektedir [1].

Doğal kaynakları 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. Mimari

* Sorumlu Yazar: aycagulten@gmail.com ¹ORCID:0000-0002-2823-7611 ²ORCID: 0000-0001-9837-8674

tasarım sürecinin şekillendirdiği yapılarda uygulama aşamasının yanı sıra kullanım aşamasında da enerji ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Enerji kaynaklarının bilinçsiz tüketiminin önüne geçilmesi, çevresel atık oranının azaltılması, insan sağlığının gözetilmesi ve çevre duyarlılığının artırılması amacıyla yeşil mimarlık kavramı günümüzde ön plana çıkmaktadır [2]. 2015 yılı verilerine göre Türkiye'deki enerji tüketiminin yaklaşık %30'u konutlar tarafından yapılmaktadır [3]. Bu oran, enerji tüketiminin azaltılması hususunda konutların etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda yapılarda enerji etkinliği, enerji tüketimini etkileyen parametreler ve yeşil çatının bina enerji performansına etkisi konularında birçok araştırma yapılmıştır. Erkmen [4], küresel ısınmayla birlikte ortaya çıkan ve enerji harcamalarına sebep olan bina soğutma ihtiyacını araştırmıştır. Antalya ve Diyarbakır illerinde yapılan araştırma sonucu bağıl nem faktörünün sıcaklık artışı ve ısı konfor üzerindeki etkisini gözlemlemiştir. Yıldırım [1], tükenebilir enerji kaynaklarının neden olduğu çevre tahribatının önlenmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma olanaklarını ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmasının tüketilen enerji miktarının azalmasına ve yaşam kalitesinin artmasına sebep olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca yerleşkelerin tasarımı yapılırken iklimsel ve çevresel faktörlerin göz önünde bulundurulmasına dikkat çekmektedir. Gazioglu vd. [5], tasarım aşamasında belirli değişkenleri değiştirerek bina ısıtma enerjisi ihtiyacını azaltmayı hedeflemiştir. Yönetmeliklere uygun bir bina seçerek simülasyon programı ile ısıtma istenen dönem için ısıtma enerjisi tüketim miktarı hesaplamıştır. Ayrıca tasarım aşamasında bina formu, bina kabuğu gibi değişkenlerin her iklim bölgesi için farklı şekilde ele alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Zoroğlu vd. [6], ısı konfor koşullarının sağlanmasının ve tüketilen enerjinin azaltılmasının, yönlenme ve yapı kabuğu bileşenleri gibi tasarım kararlarıyla yakından ilişkili olduğunu savunmaktadır. Yapı kabuğu bileşenlerinin U değerinin iyileştirilmesi ve mekanik sistemin değiştirilmesi ile enerji tüketimini azaldığını tespit etmiştir. Dağdır ve Bolattürk [7], sıcak iklim bölgelerinde ısıtma ve soğutma yüklerini göz önünde bulundurarak optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamıştır. İzmir ilini ele alarak tüketilen enerjinin büyük çoğunluğu soğutma ihtiyacından kaynaklandığı için yalıtım hesabı yapılırken güneş radyasyonu faktörünün önemli olduğunu belirterek sıcak iklim bölgelerindeki binalarda yalıtım hesaplamalarının soğutma yüklerine göre yapılması gerektiğine varmıştır. Kınalı [8], çalışmada ofis binalarında teras çatı bileşenlerinde yapılacak olan bitkilendirmenin bina ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkisini analiz etmiştir. Yeşil çatının bina enerji performansına etkisi çatı yüzey alanı, yetiştirme ortamı kalınlığı, yaprak yüzey alanı ölçütleri açısından incelemiştir. Akpınar Külekçi [9], yeşil çatı sistemlerinin kentsel çevre üzerindeki etkilerini anlattığı çalışmada, enerji etkin bina tasarımına katkılarının yanı sıra, hava ve gürültü kirliliğinin azaltılması yönünde faydalarına değinmiştir. Yeşil bina sisteminin geleneksel uygulamalara göre daha verimli, fonksiyonel, dayanıklı ve kullanışlı olduğu ancak yeterince yaygınlaşmadığını tespit etmiştir. Tokaç [10], kullanıcı konforunu ve yapı sağlığını koruyan bitkilendirilmiş çatı sistemi tasarımları geliştirmek ve farklı bilimsel performans değerlendirme çalışmalarına girdi sağlamayı amaçlamaktadır. Çatı bileşenlerini performans kriterlerine bağlı olarak nitel yolla değerlendirmiş ve iki performans ihtiyacının tek bileşenle karşılandığı bitkilendirilmiş çatı sistemleri geliştirmiştir. Söğüt ve Şenol [11], yeşil çatı ve cephelerin kentsel çevre üzerindeki olumlu etkisini dünyadan örneklerle ele alarak incelemiştir. Küresel ısınma ve buna bağlı olarak sıcaklıkların artması, yağmur sularının azalması, beton yüzeylerin artarak çevresel ve sosyal sorunlar doğurmasına paralel olarak yeşil çatı ve duvar kullanımının yaygınlaştırılmasının önemini belirtmektedir. Ekşi ve Uzun [12], İstanbul Üniversitesi Yeşil Çatı Araştırma İstasyonu içerisinde oluşturdukları bir yeşil çatı prototopi üzerinden, su ve enerji dengesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak incelenen yeşil çatının referans alınan standart çatıya oranla %77 oranında daha iyi bir ısı performans gösterdiği tespit edilmiştir. Erkul [13], yeşil çatıları yapım sistemi açısından inceleyerek işletme ve genel bakım sorunlarını değerlendirmiştir. Ülkemizden ve yurt dışından seçilen projeleri belirli kriterler çerçevesinde karşılaştırmıştır. Enerji tasarrufu, yağmur suyu yönetimi, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan pek çok yararı dikkate alarak yeşil çatı sisteminin disiplinli bir ekip tarafından analizler yapılarak uygulanması gerektiğini savunmaktadır. Demir vd. [14], Eskişehir'de üç farklı yeşil duvarı inceleyerek yeşil çatıların yatay ve düşey kullanımını araştırmıştır. Sonuç olarak duvarların hissedilebilir derecede ısıyı tuttuğunu ve etkin bir ısı yalıtımı sağladığını ortaya koymuştur. Yao vd. [15] geleneksel bir çatı ile yeşil çatı uygulamasını eQuest yazılımı üzerinden kıyaslamıştır. Yeşil çatı uygulamasıyla ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf sağlanırken, yeşil çatının barındırdığı ek katmanlar nedeniyle yaşam döngüsü maliyetinin arttığı ve çevresel etkinin daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Ebadati ve Ehyaei [16], iki katlı bir ev için İran'ın farklı iklim bölgelerinde yer alan Bahdar Abbas, Tahran ve Tebriz şehirlerinde olduğu durumlar 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 tespit edilmiştir. Ayrıca tropikal bölgelerde yeşil çatı kullanımının soğuk bölgelere göre daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada yeşil çatı sistemlerinin konutlardaki enerji tüketimini azalttığı hipotezi savunulmaktadır. Literatür taramasıyla yeşil çatının bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisinin konut ölçeğinde, yapı formu bazında ve farklı iklim bölgelerine göre değişen iklimsel veriler doğrultusunda yeterince ele alınmadığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda farklı derece gün bölgelerinde, eşit alana ve farklı formlara sahip konutlar üzerinde araştırma yapılarak teras çatılı konutların ısıtma yükleri TS 825 hesap yöntemi, soğutma yükleri ise soğutma yükü sıcaklık farkı (CLTD) hesap yöntemi ile hesaplanmıştır. Daha sonra aynı konut örnekleri farklı kalınlıklardaki yetiştirme ortamlarının ele alınmasıyla yeşil çatılı olacak şekilde hesaplamalar tekrarlanarak elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri ölçeğinde, dıştan yalıtımlı duvar tipinin kullanıldığı konut örnekleri çalışma kapsamına alınmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak, yeşil çatı sistemlerinin bina enerji tüketimine etkisinin yanı sıra yetiştirme ortamı kalınlığının ve farklı bina formlarının bina ısıtma ve soğutma yükü üzerindeki etkisi incelenerek, bu konudaki boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Isıtma yükü hesaplama yöntemi

Isıtma yükü hesabı yapılırken TS 825 hesap metodu kullanılmıştır [17]. Isıtma sisteminin iç ortama vermesi gereken ısı enerjisi miktarını yıllık bazda belirleyen hesap yöntemi, toplam bina ısı kaybından güneş enerjisi kazancı ve iç ısı kazancının çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanmasıyla elde edilmektedir. Güneş enerjisinden faydalanma miktarının da hesaplama dâhil edilmesiyle gerçeğe en yakın sonuçlara ulaşılmaktadır. Oldukça uzun hesaplama adımlarına sahip TS 825 hesap yöntemi için [17] numaralı kaynaktan yararlanılabilir.

2.2. Soğutma yükü hesaplama yöntemi

Bir ortamı değişmez sıcaklıkta tutmak için atılması gereken ısı miktarı olan soğutma yükü hesaplanırken American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers (ASHRAE) tarafından yayınlanan Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı Yöntemi (CLTD-Cooling Load Temperature Difference) kullanılmıştır [18]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen iklimsel verilere göre son on yılın en yüksek sıcaklık değerlerine bakılarak, sıcak dönemi temsil eden gün olarak 21 Temmuz seçilmiştir. Son on yılın 21 Temmuz günü için gösterilen en yüksek sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak ve konutlar için ideal soğutma sıcaklığının 24 °C, bağıl nemin ise %50 olduğu bilgisine dayanılarak her il için soğutma yükü hesaplanmıştır (Tablo 1) [19-22].

Tablo 1. İllere göre son on yılın 21 Temmuz günü için ortalama sıcaklık ve nem değerleri [19-22]

Derece Gün Bölgesi	İller	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
I	Antalya	34.4	60.5
II	Diyarbakır	39.0	24.6
III	Elazığ	36.7	27.8
IV	Kayseri	31.3	45.4
V	Erzurum	28.6	44.0

Soğutma yükü; iletim, taşınım ve ışınım 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, 21 Temmuz günü için gerekli olan soğutma yükü enerjisi miktarı elde edilir. Duvar, döşeme, çatı ve kapı gibi dolu yüzeyler için soğutma yükü;

$$q_1 = U \cdot A \cdot (\text{CLTD}) \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada q_1 (kW) soğutma yükü, U (W/m²K) ısı geçiş katsayısı, A (m²) yapı elemanlarının yüzey alanı ve CLTD (°C) ise soğutma yükü sıcaklık farkı değerlerini ifade etmektedir. Farklı hesap sıcaklıklarına göre belirlenen CLTD değerleri Tablo 2'den bulunur.

Tablo 2. Ayır tek evler için ortalama alma yöntemiyle bulunan CLTD (Cooling Load Temperature Difference-soğutma yükü sıcaklık farkı) değerleri [18].

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 alanlar için soğutma yükü ise;

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

eşitliği ile hesaplanır. GLF (W/m²) cam yükü faktörüdür ve Tablo 3'ten bulunur. A (m²) pencere yüzey alanı değerlerini ifade etmektedir. Hava sızması için soğutma yükü Denklem 3 ile hesaplanabilir.

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

Δt (°C) iç ve dış tasarım sıcaklık farkı değerini verirken hacimsel hava debisi olan Q (L/s) ise;

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

eşitliği ile hesaplanır. Burada, ACH (l/h) bir saatteki hava değişimidir ve Tablo 4'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.

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

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

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

Tablo 3. Ayır tek evler için GLF (Glass Load Factor-pencere camı yük faktörü) değerleri [18].

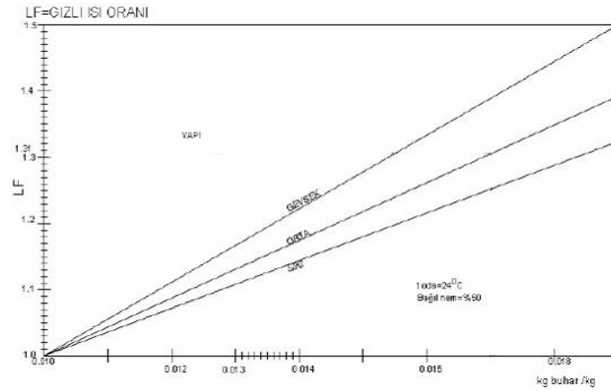
Cam Türü	Tek Cam						Çift Cam					
Hesap Sıcaklığı, °C	29	32	35	38	41	43	29	32	35	38	41	43
İç Gölgelenme Olmadan												
Kuzey	107	114	129	148	151	158	95	95	107	117	120	129
Kuzeydoğu ve Kuzeybatı	199	205	221	237	243	262	173	177	186	196	199	208
Doğu ve Batı	278	284	300	315	322	337	243	246	255	265	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 Güneşli	492	492	508	524	527	539	432	435	442	451	454	464

Tablo 4. Sızma-Bir saatteki hava değişimleri (ACH) [18].

Sınıf	Dış Hesap Sıcaklığı °C					
	29	32	35	38	41	42
Sıkı	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
Orta	0,46	0,48	0,5	0,52	0,54	0,56
Gevşek	0,68	0,7	0,72	0,74	0,76	0,78

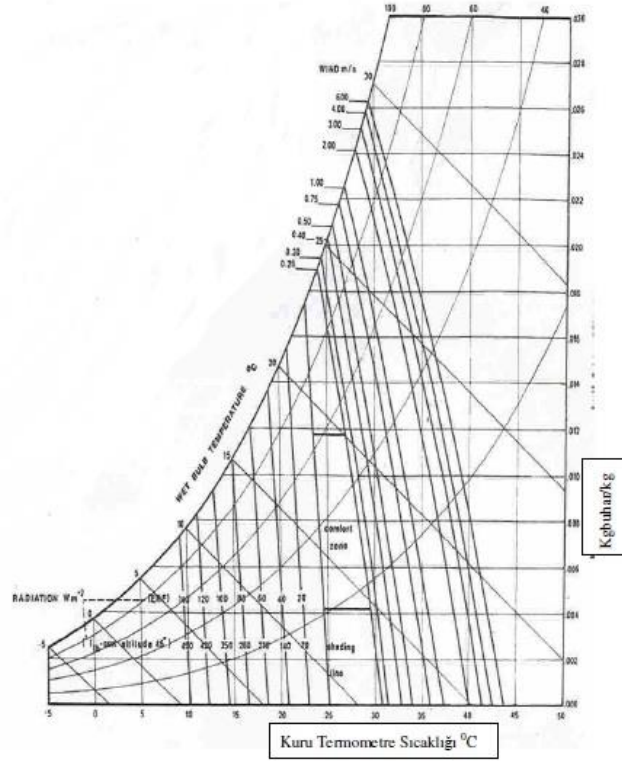
- Sıkı - Yerlerine iyi oturan kapılar, pencereler ve sızdırmaz duvarlardan oluşan ve 140 m² değerinin altında döşeme alanına sahip evler bu sınıfa girer.
- Orta - Yeni iki katlı evler veya on yaşını aşmış bakımı orta derecede yapılmış, 140 m² oturma alanından büyük evler orta sayılan yapı sınıfına girer.
- Gevşek - 20 yılı aşmış, bakımsız orta düzeyde evler bu sınıfa girer.

Gizli ısı yükü çarpanı (LF), tasarım dış nem oranı ve sızdırmazlık sınıfına göre Şekil 1 ve Şekil 2'den bulunur. Grafiğe bağlı olarak elde edilen LF değerleri Antalya için 1.25, Diyarbakır için 1.00, Elazığ için 1.00, Kayseri için 1.2, Erzurum için 1.10 şeklindedir.

**Şekil 1.** Sızmanın gizli ısı oranına etkisi [18].

Belirlenen yöntemlere dayanılarak ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler yeşil çatının bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisinin analiz edilebilmesi amacıyla Denklem 7 ile yüzde (%) bazında değerlendirilmiştir [22].

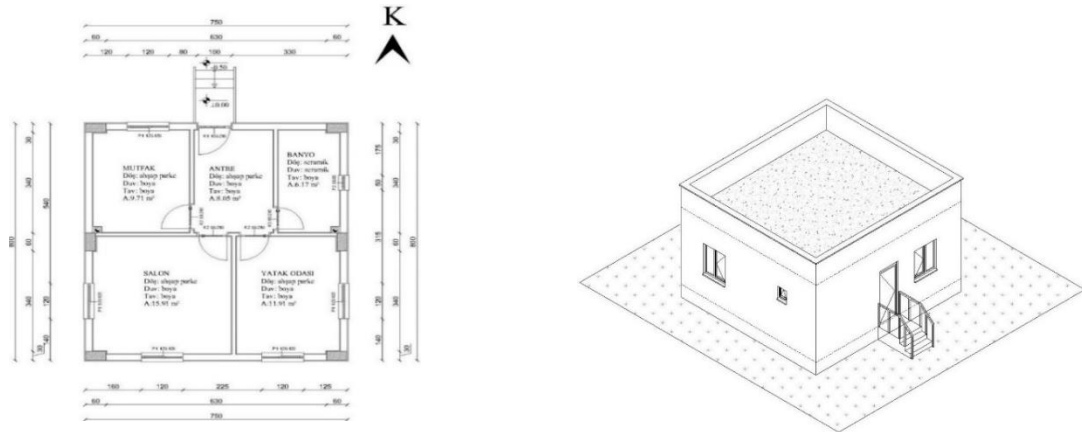
$$YÇBI/SYE=100 \cdot \frac{(\text{Standart Teras Çatı Isıtma/Soğutma Yükü}) - (\text{Yeşil Teras Çatı Isıtma/Soğutma Yükü})}{(\text{Standart Teras Çatı Isıtma/Soğutma Yükü})} \quad (7)$$



Şekil 2. Sıcaklık-bağıl nem-mutlak nem ilişkisi [23].

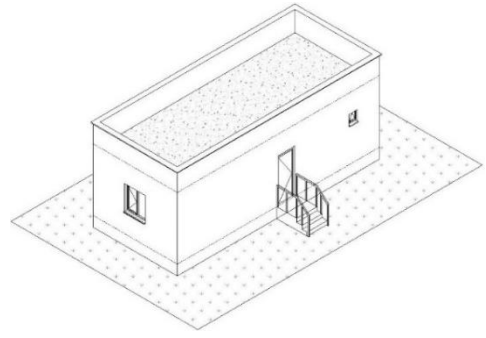
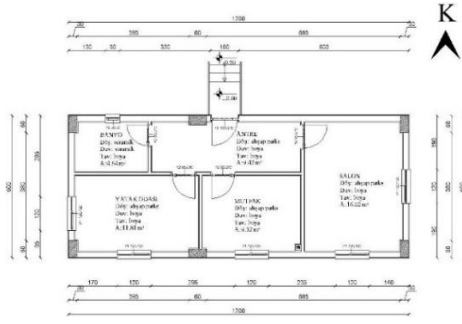
2.2. Bina biçimlerinin ve bina yapı bileşenlerinin belirlenmesi

Hesaplamaların eşit koşullarda değerlendirilebilmesi amacıyla farklı değişkenlerin kolaylıkla uygulanabileceği bir bina sistemi oluşturulmuştur. Farklı formlarda, aynı kullanım alanına ve kapı, pencere açıklığına sahip konutlar, yeşil çatı sistemine sahip ve standart teras çatılı (%5'ten düşük eğimli) olacak şekilde hesaplamalar yapılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca yeşil çatı sistemi kendi içinde yetiştirme ortamı kalınlığı değiştirilerek değerlendirilmiştir. Duvar tipi olarak ise dıştan yalıtımlı duvar sistemi kullanılmıştır.

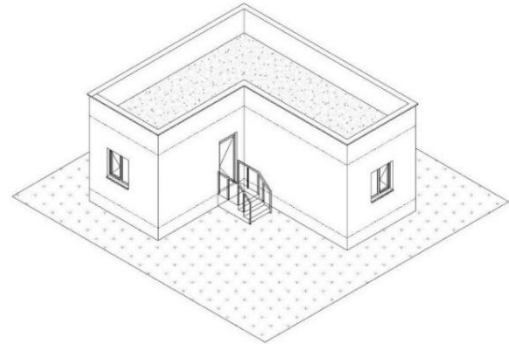
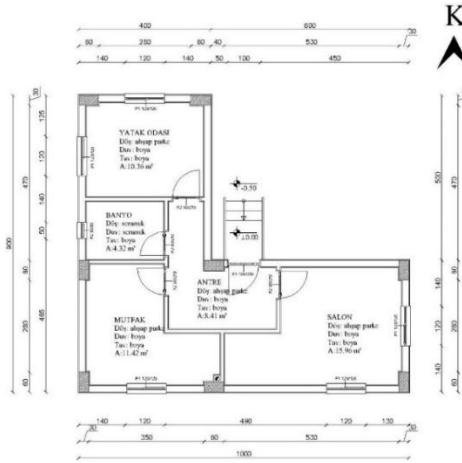


Kare Form

Şekil 3. Örnek yapıların plan ve perspektif (devam)



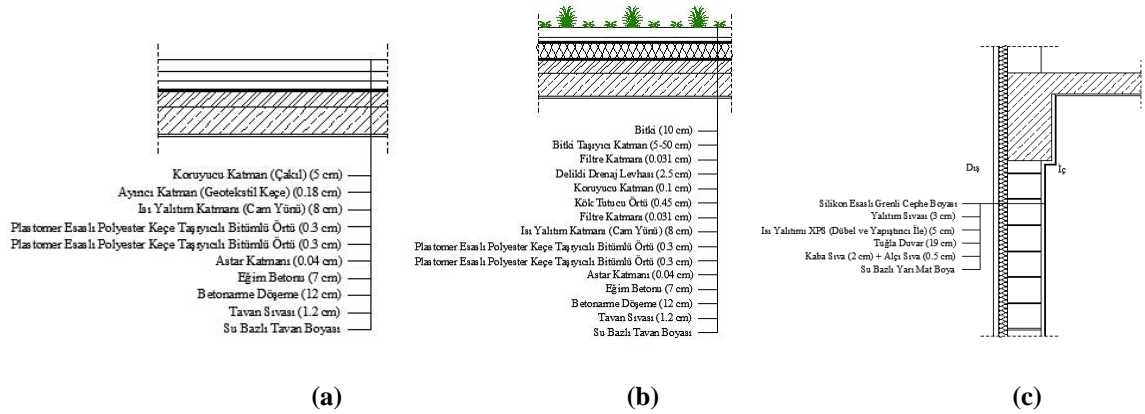
Dikdörtgen Form



L form

Şekil 3. Örnek yapıların plan ve perspektif

Tasarlanan konutlar üç kişilik çekirdek bir aile için uygun koşulları sağlayacak şekilde 60 m² kullanım alanına sahiptir. Salon, mutfak, yatak odası, banyo ve giriş bölümünden oluşan konutlar kare, dikdörtgen ve L form olarak üç farklı biçimde düzenlenmiştir (Şekil 3). Örnek yapılar için oluşturulan standart teras çatı ve yeşil teras çatı katmanları ile hesaplamalarda kullanılan dıştan yalıtımlı duvar detayı Şekil 4'te, malzemelere ait ısıl iletkenlik değerleri (k) ise Tablo 5'te sunulmuştur.



Şekil 4. Teras çatı katmanları ve dıştan yalıtımlı duvar detayı (a) Standart teras çatı (b) Yeşil çatı (c) Dıştan yalıtımlı duvar [22].

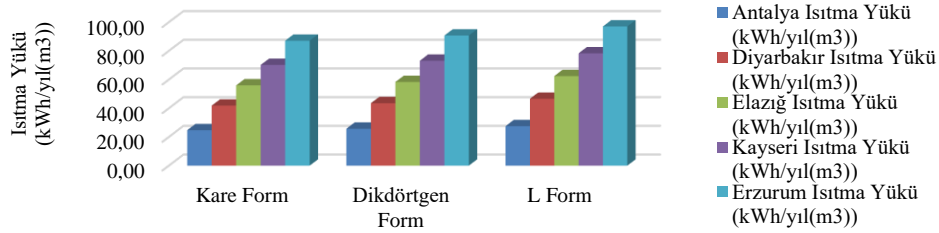
Tablo 5. Standart ve yeşil çatı sistemleri için yapı bileşen fiziksel özellikleri [17, 21, 23].

Malzeme	Kalınlık (cm)	Isıl İletkenlik (W/m.K)	Malzeme	Kalınlık (cm)	Isıl İletkenlik (W/m.K)
Tavan Sıvası	1.2	0.70	Bitümlü Su Yalıtımı	0.6	0.19
Betonarme Döşeme	12	2.50	Cam Yünü Isı Yalıtımı	8	0.035
Eğim Betonu	7	1.65	Filtre Katmanı	0.031	0.19
Astar Katmanı	0.04	0.19	Kök Tutucu Örtü	0.045	0.19
Bitümlü Su Yalıtımı	0.6	0.19	Koruyucu Katman	0.1	0.19
Cam Yünü Isı Yalıtımı	8	0.035	Delikli Drenaj Levhası	2.5	0.19
Geotekstil Keçe	0.18	0.19	Filtre Katmanı	0.031	0.19
Çakıl	5	0.70	Yetiştirme ortamı	5-50	0.25
			Bitki	10	0.3

3. Bulgular

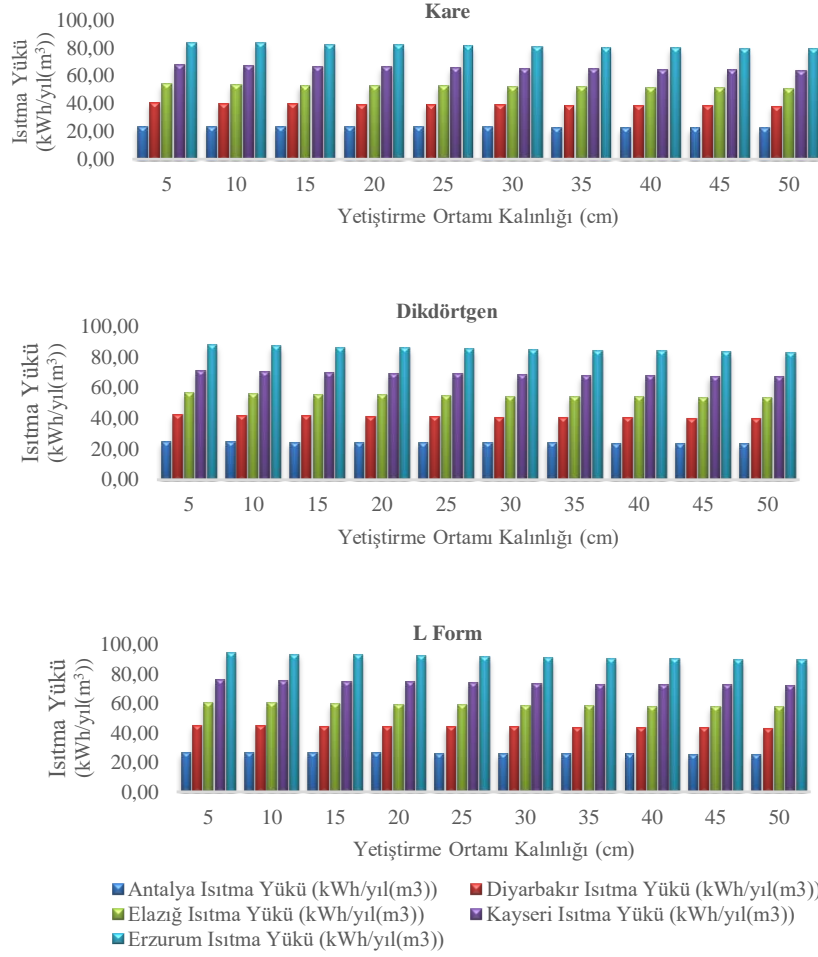
3.1. Yeşil çatı sistemlerinin bina ısıtma yüküne etkisinin TS 825'e göre değerlendirilmesi

Tasarlanan örnek binaların TS 825'e göre yıllık ısıtma yükleri beş farklı derece gün bölgesinin iklimsel verileri kullanılarak hesaplanmıştır [19]. Bu veriler doğrultusunda standart teras çatıya sahip binaların ısıtma yükleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Veriler incelendiğinde her iki duvar tipinde de 1. derece gün bölgesinden 5. derece gün bölgesine doğru gidildikçe yıllık ısıtma yükü miktarında artış gözlemlenmiştir. Örneğin kare form dıştan yalıtımlı standart teras çatıya sahip bina, Antalya'da 24.72 kWh/yıl(m³), Diyarbakır'da 41.82 kWh/yıl(m³), Elazığ'da 56.00 kWh/yıl(m³), Kayseri'de 70.24 kWh/yıl(m³) ve Erzurum'da 87.08 kWh/yıl(m³) ısıtma yüküne sahiptir. Ayrıca yüzey alanı arttıkça ısıtma yükü de artmıştır. Çatı tipinin değiştirilmesiyle yeşil çatı faktörü farklı kalınlıklarda yetiştirme ortamı kullanılarak hesaplamalara dâhil edilmiştir. Örnek bina formlarının illere göre yıllık ısıtma yükleri Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre en düşük ısıtma yükleri 23.92-79.46 kWh/yıl(m³) değerleri arasında kare form için elde edilmiştir. Ayrıca bitki yetiştirme ortamı kalınlığının artmasıyla bütün bina formları için ısıtma yükünde azalma meydana gelmiştir.



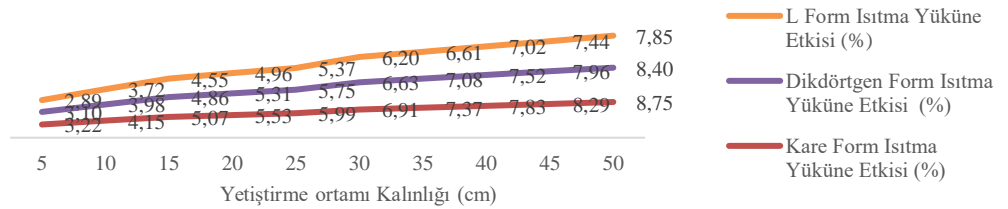
Şekil 5. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, standart teras çatılı, örnek bina formlarına ait bina ısıtma yükleri

Yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi ise standart teras çatı verileri referans alınarak yüzdelik oranlar bazında değerlendirilmiştir. Yetiştirme ortamı derinliğinin artışı ile orantılı bir şekilde, tüm bina formlarında ve derece gün bölgelerinde yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi artmaktadır (Şekil 7). Bu değer kare form için bitki yetiştirme ortamı 5 cm olduğunda %3.22, 25 cm olduğunda %5.99, 50 cm olduğunda %8.75 olarak belirlenmiştir. Dikdörtgen form için bitki yetiştirme ortamı kalınlığı 5 cm olduğunda %3.10, 25 cm olduğunda %5.75, 50 cm olduğunda %8.40 olarak hesaplanmıştır. L form için ise bitki yetiştirme ortamı kalınlığı 5 cm olduğunda %2.89, 25 cm olduğunda %5.37, 50 cm olduğunda %7.85 olarak elde edilmiştir.

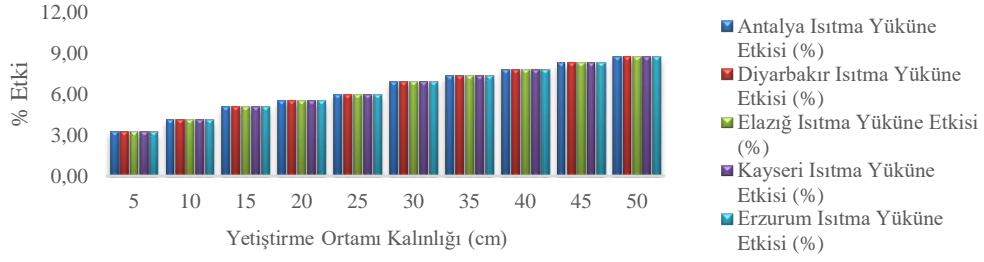


Şekil 6. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek binalara ait bina ısıtma yükleri

Tüm illerde standart teras çatılı ve yeşil çatılı örnek binaların yıllık ısıtma enerjisi miktarları birbirinden farklı olmasına rağmen yeşil çatı faktörünün ısıtma yüküne yüzde olarak etkisi açısından farklılık olmadığı, kare formlu binaların karşılaştırılması örneği üzerinden Şekil 8’de belirtilmiştir. Buna göre farklı iller için aynı bina formu üzerinden yapılan değerlendirmeler, Kazanç Kullanım Faktörünün sıfır çıkması nedeniyle, yeşil çatının ısıtma yüküne yüzde (%) olarak etkisini eşitlemiştir.



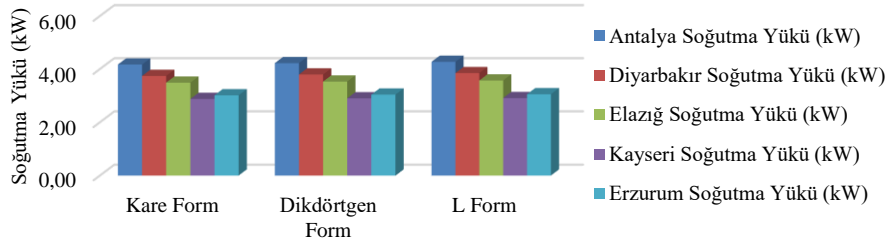
Şekil 7. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek binalarda yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi



Şekil 8. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek kare formlu binalarda yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi

3.2. Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin soğutma yükü sıcaklık farkı yöntemi ile değerlendirilmesi

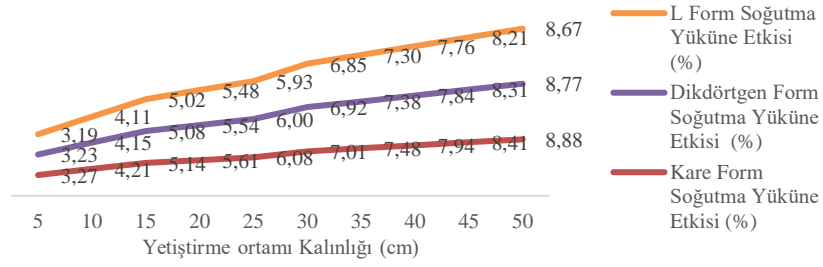
Farklı derece gün bölgelerinde bulunan Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illerine ait iklimsel veriler kullanılarak örnek binaların Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı (CLTD) yöntemi ile son on yılın 21 Temmuz günlerinin en yüksek sıcaklık değerlerinin ortalamasına göre soğutma yükleri hesaplanmıştır. Bu veriler doğrultusunda standart teras çatı ve farklı formdaki binaların soğutma yükleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Buna göre yüzey alanı arttıkça tüm illerde soğutma yükünün arttığı görülmektedir. Veriler incelendiğinde, 1. derece gün bölgesinden 5. derece gün bölgesine doğru gidildikçe 21 Temmuz günü için hesaplanan soğutma yükü miktarında azalış gözlemlenmiştir. Ancak 4. ve 5. derece gün bölgeleri arasında iklimsel verilerden dolayı bir farklılık tespit edilmiştir. Nem/sıcaklık oranı olarak ifade edilen LF değeri 5. derece gün bölgesinde, 4. derece gün bölgesine göre daha yüksek olduğu için bina soğutma yükü miktarını da değiştirmiştir. Buna göre Erzurum ilindeki örnek binaların 21 Temmuz günü için hesaplanan soğutma yükü miktarı, Kayseri ilindeki örnek binaların 21 Temmuz günü için hesaplanan soğutma yükü miktarından fazladır. Örneğin kare formlu dıştan yalıtımlı standart teras çatıya sahip bina 21 Temmuz günü için, Antalya ilinde 4.17 kW, Diyarbakır ilinde 3.74 kW, Elazığ ilinde 3.49 kW, Kayseri ilinde 2.88 kW ve Erzurum ilinde 3.01 kW soğutma yüküne sahiptir. Yapı yüzey alanı arttıkça soğutma enerjisi ihtiyacının arttığı görülmüştür.



Şekil 9. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, standart teras çatılı, örnek bina formlarına ait bina soğutma yükleri

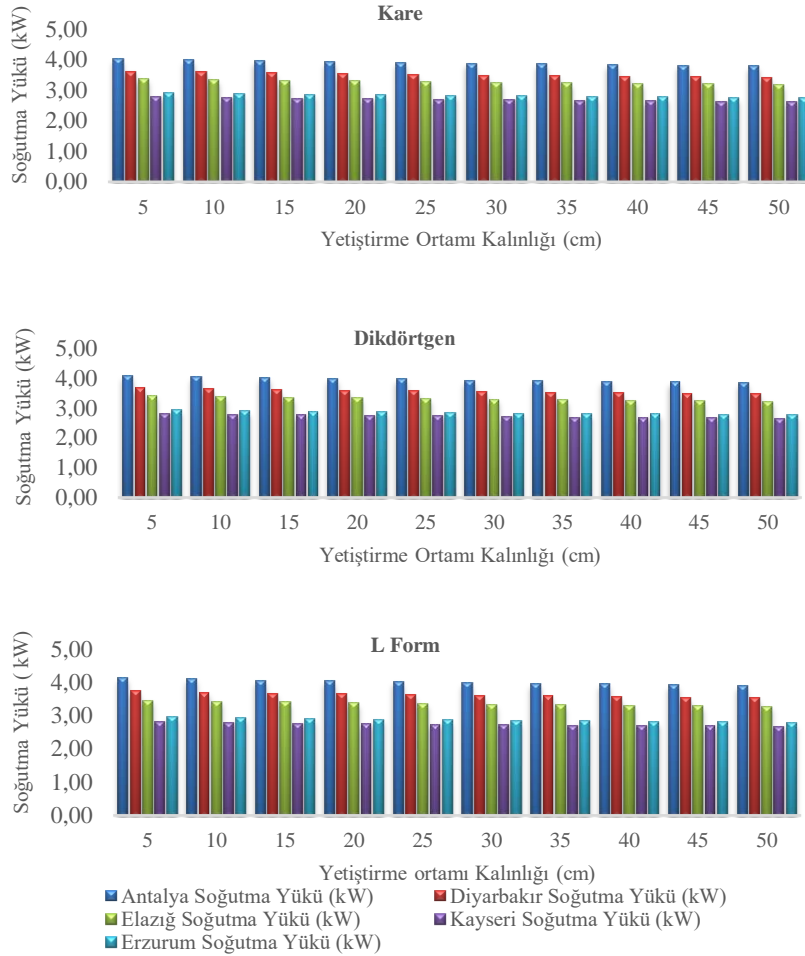
Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi ise standart teras çatı verileri referans alınarak % bazında değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler yetiştirme ortamı kalınlığının tüm illerde yeşil teras çatının bina soğutma yüküne etkisini artırdığını göstermektedir (Şekil 10). Ancak bu artış doğrusal değil, değişken bir artış olup 5-15 cm ve 25-30 cm aralıklarında ciddi oranda bir yükseliş göstermektedir. Bu nedenle yeşil çatının yetiştirme ortamı kalınlığı belirlenirken, maksimum verimin sağlanabilmesi amacıyla ilgili verilerin dikkate alınması önem teşkil etmektedir.

Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin incelenbilmesi amacıyla farklı kalınlıklarda yetiştirme ortamı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Böylelikle yeşil çatının farklı derece gün bölgelerine, yetiştirme ortamı kalınlığına ve bina formuna göre soğutma yükü performansı değerlendirilmiştir.



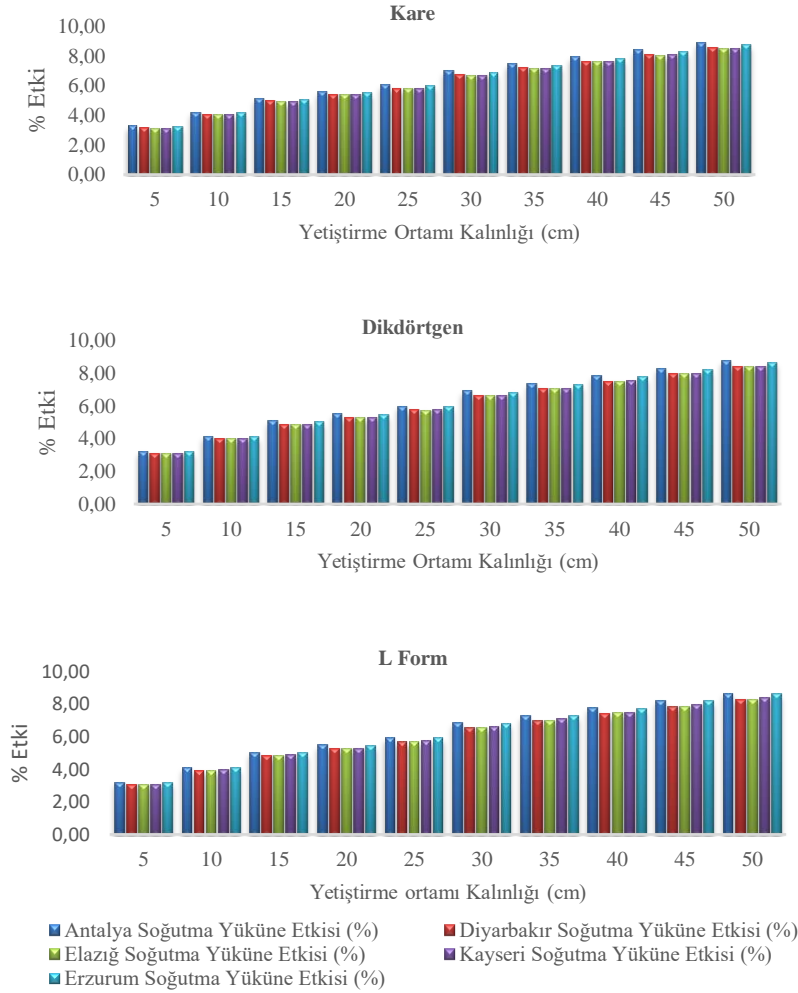
Şekil 10. Antalya ili, yeşil teras çatılı örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi

Örnek bina formlarının farklı derece gün bölgesinde yer alan illere göre 21 Temmuz için hesaplanan soğutma yükleri Şekil 11'de verilmiştir. Veriler incelendiğinde tüm illerde yeşil çatılı kare formdaki örnek binaların soğutma yükünün en az, L formdaki örnek binaların soğutma yükünün en fazla olduğu görülmektedir. Yetiştirme ortamı kalınlığı arttıkça soğutma yükü ihtiyacı azalmaktadır. Soğutma enerjisi ihtiyacı 1. derece gün bölgesinden 5. derece gün bölgesine gidildikçe azalmaktadır ancak 5. derece gün bölgesinin soğutma yükü 4. derece gün bölgesinden fazla olduğu için soğutma enerjisi ihtiyacı en az 4. derece gün bölgesinde olmaktadır.



Şekil 11. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek binalara ait bina soğutma yükleri

Yeşil teras çatının bina soğutma yüküne etkisinin tüm iller kapsamında bina formlarına göre ayrı ayrı değerlendirilmesi Şekil 12’de görülmektedir. Veriler incelendiğinde yetiştirme ortamı kalınlığı arttıkça yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin arttığı görülmektedir. Genel olarak 5cm bitki yetiştirme ortamı kalınlığı için %3 civarlarında olan etki 50 cm yetiştirme ortamı kalınlığı söz konusu olunca %8.5 etki sağlamıştır. Tüm illerde yeşil çatılı kare formdaki örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin en fazla, L formdaki örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin ise en az olduğu görülmektedir. Ayrıca yeşil çatının bina soğutma yüküne olumlu etkisi açısından ilk sırada Antalya, ikinci sırada Erzurum, üçüncü sırada Diyarbakır, dördüncü sırada Kayseri ve son sırada Elazığ yer almaktadır.



Şekil 12. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi

4. Sonuç

Bu çalışmada, farklı derece gün bölgelerinde yer alan Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri için, yeşil çatının bina üzerindeki enerji performansına etkisi; üç farklı biçimde (kare, dikdörtgen, L) tasarlanan, aynı alana sahip örnek konutlar ile yetiştirme ortamı kalınlıklarına göre incelenmiştir.

Standart teras çatılı örnek binalarda ısıtma ve soğutma yükü ihtiyacı yapı yüzey alanıyla orantılıdır. Buna göre kare formdaki binanın ısıtma ve soğutma yükü en az, L formdaki binanın ısıtma ve soğutma yükü en fazladır. Seçilen iller soğutma yükü açısından karşılaştırıldığında çoktan aza doğru şu şekilde sıralanmaktadır; Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Erzurum, Kayseri. 4. ve 5. derece gün bölgelerinde yer alan Kayseri ve Erzurum illerinde

oluşan farklılığın sebebi ise hesaplamada kullanılan nem/sıcaklık değerinin Erzurum ilinde Kayseri iline göre daha yüksek olarak belirlenmesidir.

Tablo 5'te yeşil çatıların farklı derece gün bölgelerinde yer alan iller ve bina formları için ısıtma ve soğutma enerji yüküne yüzde olarak etkisi 30 cm bitki yetiştirme ortamı kalınlığı üzerinden ve aşağıda verilen sonuçları somut değerlerle desteklemek üzere kullanılmıştır.

Tablo 5. 30 cm bitki yetiştirme ortamı için yeşil çatı sistemlerinin ısıtma ve soğutma yüküne % olarak etkisi

Yapı biçimi	Soğutma yükü (% etki)					Isıtma Yükü (% etki)				
	Antalya	Diyarbakır	Elazığ	Kayseri	Erzurum	Antalya	Diyarbakır	Elazığ	Kayseri	Erzurum
Kare	7.01	6.73	6.71	6.71	6.90	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91
Dikdörtgen	6.92	6.64	6.63	6.65	6.84	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63
L	6.85	6.55	6.63	6.63	6.81	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20

Buna göre;

- Yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi farklı derece gün bölgelerinde aynı oranda olmakta fakat bina formlarına göre değişmektedir. Kare formulu bina ile kullanılan yeşil çatı sistemi ısıtma yükü üzerinde en iyi etkiyi sağlarken, dikdörtgen ve L form binalarda bu etki düşmektedir.
- Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi hesaplamada kullanılan nem/sıcaklık değerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Buna göre yeşil çatının bina soğutma yüküne olumlu etkisi açısından ilk sırada Antalya (%7.01), ikinci sırada Erzurum (%6.90), üçüncü sırada Diyarbakır (%6.73), dördüncü sırada Kayseri ve Elazığ gelmektedir.
- Bina formu değişken olarak ele alındığında yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi kare formulu binalarda en fazla (%7.01-6.73), L formulu binalarda ise en az (%6.85-6.20) olmaktadır.
- Yeşil çatı bileşenlerinden olan yetiştirme ortamı kalınlığının artması ile bina ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı azalmaktadır.
- Yeşil çatının bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisi yetiştirme ortamı kalınlığının artmasına bağlı olarak artış göstermektedir. Ancak bu artış doğrusal değil değişken bir artış olup 5-15 cm ile 25-30 cm aralıklarındaki artış oranının 15-25 cm ile 30-50 cm aralıklarına oranla daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Yetiştirme ortamı kalınlığının artmasıyla bakım, onarım ihtiyacının, yapıda oluşan yük miktarının, yapım maliyetinin artması öngörülerek 30 cm yetiştirme ortamı kullanılmasının daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır.
- Soğutma yükü yeşil çatı faktörüyle birlikte değerlendirildiğinde, 1. derece gün bölgesinde, L formulu, 5 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada en fazla; 4. derece gün bölgesinde, kare formulu, 50 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada en az hesaplanmaktadır.
- Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi, 1. derece gün bölgesinde, kare formulu, 50 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada en fazla; 3. derece gün bölgesinde, L formulu, 5 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada ise en az olmaktadır.

Tüm veriler ele alındığında yeşil çatı sistemlerinin bina soğutma yüküne etkisinin, bina ısıtma yüküne etkisine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle nem oranının yüksek olduğu iklim bölgelerinde yeşil çatı sistemlerinin soğutma yükünü düşürme anlamında etkin bir çözüm olabileceği görülmüştür. Ayrıca kare ve kareye yakın forma sahip binaların, hem ısıtma hem de soğutma yükü için yeşil çatı sistemleri ile birlikte kullanımının enerji tasarrufuna katkısı daha fazla olmaktadır.

Çatıların binanın üzerini kapatan bir yapı elemanı olmasından öte, binanın ihtiyaç duyduğu enerji miktarını azaltan, binaya estetik değer katan, kullanıcılara sosyal etkinlik alanı sunan işlevleriyle birlikte düşünmek gerekmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir çevrelerin oluşabilmesi için yeşil çatı uygulamalarının artırılması ile hem çevresel hem ekonomik hem de toplumsal açıdan fayda sağlanacaktır.

Kaynaklar

- [1] Yıldırım A. Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Çerçevesinde Kapalı Konut Yerleşkeleri; Antalya Örneği, Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2017; 2 (3):135-142.
- [2] Ayçam İ. Enerji Etkin Ofis Binalarında Gelişmiş Cephe Sistemlerinin İncelenmesi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bina Fiziği Sempozyumu, 2011, 13-16 Nisan, İzmir. s:1593-1609
- [3] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, Kasım, Ankara,2017.

- [4] Erkmen F İ. Sıcak İklim Bölgelerinde Yapıların Soğutma Yüklerinin Karşılaştırılması (Antalya, Diyarbakır Örneği), Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- [5] Gazioğlu A, Akşit Ş F, Manioğlu G. Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Tüketimini Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2013; 136:41-52.
- [6] Zoroğlu F, Atmaca A, Zorer B, Gedik G. Çevresel Sürdürülebilirlik Kapsamında Konutta Isıl Konforun Sağlanması ve Enerji Tüketiminin Azaltılması, İstanbul 1. Konut Kurultayı, 2018. ss:1702-1713.
- [7] Dağdır C, Bolattürk A. Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2011; 124:64-77.
- [8] Kınalı M. Farklı İklim Bölgelerindeki Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [9] Akpınar Külekçi E. Geçmişten Günümüze Yeşil Çatı Sistemleri ve Yeşil Çatılarda Kalite Standartlarının Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma. ATA Planlama ve Tasarım Dergisi 2017; 1(1):35-53.
- [10] Tokaç T. Bitkilendirilmiş Çatı Sistemleri İçin Tasarım Seçeneklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [11] Söğüt Z, Şenol D. Kentsel Çevre Kapsamında Yeşil Çatı ve Cephelelerin Değerlendirilmesi. Akademik Platform Dergisi ISEM 2014: 733-742.
- [12] Ekşi M, Uzun A. Yeşil çatı sistemlerinin su ve enerji dengesi açısından değerlendirilmesi. Journal of the Faculty of Forestry İstanbul University 2016, 66: 119-138
- [13] Erkul E. Yeşil Çatı Sistemlerinin Yapım Açısından İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2012.
- [14] Demir R, Yiğit Avdan Z, Avdan U, Demircioğlu Yıldız N. (2016). Yaşayan Duvarların Kentin Isı Değişimine Etkisi, 6. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2016), s:1089-1098, 5-7 Ekim, Adana.
- [15] Yao L, Chmi A, Zeng R. Integrating cost-benefits analysis and life cycle assessment of green roofs: a case study in Florida, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 2018; 26:2, 443-458.
- [16] Ebadati M, Ehyaei M A. Reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs in three different climates of Iran. Advances in Building Energy Research 2018; 10.1080/17512549.2018.1489894
- [17] Binalarda Isı Yalıtım Kuralları- TS 825. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Mayıs 2008.
- [18] ASHRAE Temel El Kitabı. Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, Alaş Ofset, İstanbul, 1997.
- [19] Atmaca U. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2016;154:21-35.
- [20] <https://www.mgm.gov.tr> Türkiye'deki İllere Ait Veri Değerlendirmesi (Erişim Tarihi:14.06.2019)
- [21] <https://www.havaturkiye.com> Türkiye'deki İllere Ait Sıcaklık ve Nem Değerleri (Erişim Tarihi:14.06.2019)
- [22] Kılıç Turan B. Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı İklim Bölgeleri için Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2019.
- [23] Watson D, Labs K. Climatic Buildig Design. Mc Gram-Hill Book Company,1983.