



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**FARKLI İKLİM KARAKTERİSTİK BÖLGELERDE VEJETATİF
(YEŞİL) ÖRTÜLÜ ÇATILARIN ENERJİ YÜKÜNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah Buğra YÜREKLİ

Danışman: Doç. Dr. Murat ÇAVUŞ

TOKAT- 2024

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisans Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Murat ÇAVUŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum **“Farklı İklim Karakteristikli Bölgelerde Vejetatif (Yeşil) Örtülü Çatıların Enerji Yüküne Etkisi”** adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../...

Abdullah Buğra YÜREKLİ

JÜRİ KABUL VE ONAY

Abdullah Buğra YÜREKLİ tarafından hazırlanan “**Farklı İklim Karakteristikli Bölgelerde Vejetatif (Yeşil) Örtülü Çatıların Enerji Yüküne Etkisi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 28/08/2024 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Üye (Başkan) : Doç. Dr. Murat ÇAVUŞ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DAYI

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Şinasi BİNGÖL

ONAY

...../...../.....

Doç. Dr. Yusuf TEMUR
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

FARKLI İKLİM KARAKATERİSTİKLİ BÖLGELERDE VEJETATİF (YEŞİL) ÖRTÜLÜ ÇATILARIN ENERJİ YÜKÜNE ETKİSİ

Yürekli, Abdullah Buğra
Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat ÇAVUŞ
Ağustos 2024, iv + 77 sayfa

Hızlı nüfus artışı yanında kırsal yerleşim alanlarından kent alanlarına doğru oluşan göç ile kentsel alanlardaki yapılaşmada bu oranda artış göstermektedir. Bunun bir sonucu olarak kentsel alanlardaki enerji ihtiyacı da artmaktadır. Kentsel alanlardaki binalar tarafından tüketilen enerjinin dünyadaki tüketilen enerjinin %32'sine karşılık geldiği, sera gazı emisyonunun ise üçte birlik kısmının konutlar tarafından üretildiği belirtilmektedir. Diğer taraftan ülkemiz açısından konutlar tarafından tüketilen enerjinin %20 olduğu, elektrik tüketiminin ise %22'sinin konutlarda gerçekleştiği belirtilmektedir. Konutlarda tüketilen enerjinin %60'ının ısıtmada kullanıldığı vurgulanmıştır. Konutlardaki enerji tüketiminin önemli kısmını ısıtma ve soğutma yükleri oluşturmaktadır. Bu bağlamda yapılan birçok çalışmada konutlarda ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin azaltılması yönündedir. Bu gayretlerden birisi de binaların düşey cephe ve çatısının vejetatif örtü ile kaplanmasıdır. Bu uygulama ile hem ısıtma ve soğutma yükünün azaltılması hem de konutlar tarafından üretilen sera gazı emisyonunun azaltılarak küresel ısınmanın sınırlandırılmasında etkin bir rol oynamak hedeflenmiştir.

Bu çalışmada birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece gün bölgelerinde bulunan Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinde geleneksel ve 5, 10 ve 15 cm toprak katmanlı vejetatif örtülü çatıların ısıtma ve soğutma yükleri performansları karşılaştırılmıştır. Isıtma yükü TSE 825 hesap yöntemi ile soğutma yükü ise soğutma yükü sıcaklık farkı yöntemi (CLTD) tahmin edilmiştir. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinde vejetatif örtülü çatı uygulaması ile en fazla ısıtma yükü kazancı sırasıyla %7.83, 6.72, 1.58 ve 4.72 olmuştur. Bu iller için günlük en fazla soğutma yükü kazancı sırasıyla %1.12, 0.71, 0.36 ve 0.28 olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Çatılar, Enerji Tasarrufu, Sürdürülebilir Mimari.

ABSTRACT

THE EFFECT OF VEGETATIVE (GREEN) COVERED ROOFS ON ENERGY LOAD IN REGIONS WITH DIFFERENT CLIMATE CHARACTERISTICS

Yürekli, Abdullah Buğra

Master's Thesis, Department of Civil Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat ÇAVUŞ

Aug 2024, iv + 77 pages

In addition to the rapid population growth, the migration from rural settlements to urban areas has also increased the number of buildings in urban areas. As a result, urban regions now require more energy. It is stated that the energy consumed by buildings in these areas corresponds to 32% of the energy consumed in the world, and one-third of greenhouse gas emissions are provided by residences. On the other hand, it is reported that in our country, the energy consumed by residences is 20%, and 22% of electricity consumption occurs in residences. It has been emphasized that 60% of the energy consumed in residences is used for heating. Heating and cooling loads constitute a significant part of the energy consumption in residences. In this context, many researchers are making efforts to reduce energy consumption for heating and cooling purposes in residences. One of these efforts is to cover the vertical facades and roofs of buildings with vegetative cover. With this application, as well as reducing the heating and cooling load, an active role is taken in limiting global warming by reducing the greenhouse gas emissions provided by residences.

In this study, the heating and cooling load performances of traditional and 5, 10, and 15 cm soil layer vegetated roofs were compared in Mersin, Ordu, Ankara and Kayseri provinces located in the first, second, third and fourth-degree day zones. The TSE 825 calculation method and the cooling load temperature difference method (CLTD) were used to estimate the heating load and cooling load, respectively. The highest heating load gain with vegetated roof application in Mersin, Ordu, Ankara and Kayseri provinces was 7.83, 6.72, 1.58, and 4.72%, respectively. For these provinces, the maximum daily cooling load gain with vegetated roof application was 1.12%, 0.71, 0.36 and 0.28%, respectively.

Keywords: Green Roofs, Energy Savings, Sustainable Architecture.

ÖNSÖZ

Tez konumun seçilmesinde ve yürütülmesinde beni yönlendiren, çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve önerilerini esirgemeyen, yüksek lisans eğitimim boyunca bana yardımcı olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Murat Çavuş'a teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca bilgi ve birikimiyle çalışmamda bana yardımlarını esirgemeyen, beni bugünlere getirerek emek veren ve beni yetiştiren aileme teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum. Bu çalışmanın ülkeme ve bilim dünyasına faydalı olmasını dilerim.

ABDULLAH BUĞRA YÜREKLİ

28 Ağustos 2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME.....	ii
JÜRİ KABUL VE ONAY.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. VEJETATİF ÖRTÜLÜ (YEŞİL) ÇATILAR.....	20
3.1. Vejetatif Örtülü Çatıların Sınıflandırılması.....	22
3.1.1. Seyrek (ekstensif) dokulu yeşil çatılar.....	22
3.1.2. Yoğun (intensif) dokulu yeşil çatılar.....	24
3.1.3. Yarı-yoğun (yarı-entansif) dokulu yeşil çatılar.....	26
3.2. Vejetatif Örtülü Çatıların Geleneksel Çatılara Göre Üstünlükleri.....	29
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
4.1. Isıtma Yüğü.....	40
4.2. Soğutma Yüğü.....	45
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	48
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. Ur şehrinde inşa edilmiş olan Ziggurat	20
Şekil 2. Seyrek dokulu yeşil çatı yapısal bileşenleri.....	23
Şekil 3. Seyrek dokulu yeşil çatı (Autofamily House, Polonya)	23
Şekil 4. Seyrek dokulu yeşil çatı (Meera Sky Garden House, Singapur)	24
Şekil 5. Yoğun dokulu yeşil çatı yapısal bileşenleri	25
Şekil 6. Yoğun dokulu yeşil çatı (The Solaire, NYC, the first green residential building, ABD).....	25
Şekil 7. Yoğun dokulu yeşil çatı (City Hall, Chicago)	26
Şekil 8. Yarı intensif (yarı-sık) yeşil çatı (The Kensington Building, Londra)	27
Şekil 9. Yarı intensif (yarı-sık) yeşil çatı	27
Şekil 10. Yarı intansif (yarı-sık) yeşil çatı	28
Şekil 11. Farklı vejetatif örtülü çatıların yapısal bileşenlerinin karşılaştırılması	28
Şekil 12. Kentsel ısı adası etkisi değişimi.....	30
Şekil 13. Türkiye Derece Gün Bölgeleri	33
Şekil 14. Model Binanın 3D Görünümü	35
Şekil 15. Model Bina Duvar Kesiti.....	36
Şekil 16. Model Bina Temel Kesiti	36
Şekil 17. Model Bina Yeşil Çatı Kesiti.....	37
Şekil 18. Geleneksel Çatı Kesit Detayı.....	37
Şekil 19. Vejetatif Çatı Kesit Detayı	37
Şekil 20. Mersin ili ısı kaybı değişimi	52
Şekil 21. Ordu ili ısı kaybı değişimi	53
Şekil 22. Ankara ili ısı kaybı değişimi.....	53
Şekil 23. Kayseri ili ısı kaybı değişimi	53
Şekil 24. Mersin ili geleneksel çatı uygulaması ısı kazanım değişimleri	55
Şekil 25. Mersin ili yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur (a) ve toplam duyulur (b) soğutma yükü değişimi	58
Şekil 26. Ordu ili yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur (a) ve toplam duyulur (b) soğutma yükü değişimi	59

Şekil 27. Ankara ili yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur (a) ve toplam duyulur (b) soğutma yükü değişimi	59
Şekil 28. Kayseri ili yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur (a) ve toplam duyulur (b) soğutma yükü değişimi	59



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge

Sayfa

Çizelge 1. Konut Binalarına ait bileşen detayları	39
Çizelge 2. Yapı elemanları için seçilen yalıtım kalınlıkları.....	40
Çizelge 3. Yapı Elemanlarının Maksimum Isı Geçirgenlik Katsayıları	40
Çizelge 4. En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri.....	41
Çizelge 5. Maksimum ısıtma enerji ihtiyacının belirlenmesi	41
Çizelge 6. İller için Hesaplanan Isı Geçirgenlik Katsayıları	48
Çizelge 7. Mersin ili iletim, taşınım yoluyla oluşan ısı kaybı	49
Çizelge 8. Mersin ili havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybı.....	49
Çizelge 9. Mersin ili ocak ayı model bina toplam ısı kazancı	50
Çizelge 10. Mersin ili geleneksel çatı ısıtma yükü hesabı.....	51
Çizelge 11. Geleneksel ve vejetatif çatı uygulamalı model binaların ısıtma yükleri.....	54
Çizelge 12. Mersin geleneksel çatı uygulamasında yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü	56
Çizelge 13. Mersin geleneksel çatı uygulamasında pencerelerden kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü	57
Çizelge 14. Mersin geleneksel çatı uygulamasında sızma ve havalandırmadan kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü	57
Çizelge 15. Mersin geleneksel çatı uygulamasında insanlardan ve cihazlardan kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü	57
Çizelge 16. Mersin geleneksel çatı uygulamasında toplam soğutma yükü..	58
Çizelge 17. Mersin, Ordu ve Kayseri illeri için Ağustos, Ağustos ve Temmuz aylarında geleneksel ve vejetatif çatı uygulamalı model binaların soğutma yükleri...61	

1. GİRİŞ

Kentleşmenin hızla arttığı günümüz koşullarında nüfus artışı ve buna bağlı olarak yapısal yoğunluktaki artış kentlerdeki yeşil alanların da azalmasına sebebiyet vermiştir. Kentsel bölgelerde binalardaki sayısal artışa bağlı olarak enerji ihtiyacı da yükselmiştir. Diğer taraftan dünyamızı etkisi altına alan küresel ısınma tehdidi de kentsel alanlarda karşılaşılan bu olumsuzlukları arttırmaktadır. Kentsel alanlardaki bu sorunlar insanların konforlu yaşam kalitesinin arzu edilen seviyede gerçekleşmesine engel teşkil etmektedir. Bu olumsuz koşulların üstesinden gelmek için ulusal ve uluslararası ölçekte sarf edilen gayretler ile farkındalık oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunun etkisiyle kullanıcılar doğal kaynakları daha rantabl olarak tüketmek yanında daha çevreci düşünce ile hareket etme bilincine ulaşmaya başlamıştır. Bunun bir sonucu olarak enerji tasarrufu sağlayan çevreye duyarlı mimariye yönelim ve yapı malzemelerinin üretimi de son dönemlerde artış göstermiştir. Böylece binalarda enerji tasarrufuna katkı veren yüksek kaliteli malzemeler ve mimari tasarım ile sürdürülebilir ve çevre dostu binaların inşası başlamıştır. Enerji kaynaklarının yaklaşık olarak %50'sinin binalar tarafından kullanıldığı içinde yaşadığımız yüzyılda, doğal enerji kaynaklarının hızla tükendiği de göz önünde tutularak binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak bir zorunluluk olmuştur. Bu açıdan mimar ve mühendislerin enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binalarda enerji etkinliğinin artırılmasına dönük tasarım ve planlama kriterlerine önem vermeleri gerekmektedir. Son zamanlarda kent alanlarında bina yoğunluğunun artmasıyla ortaya çıkan çevresel sorunların azaltılması ve enerji tasarrufu için vejetatif örtülü yapı elemanlarının tasarlanması yoluna gidilmiştir. Yeşil çatı uygulamaları 1960'lı yıllardan önce çoğunlukla görsel ve mikroklima faktörleri değerlendirme amaçlı inşa edilmiş olmakla birlikte bahse konu bu yıldan sonra küresel ısınma ve enerji tasarrufu göz önünde tutularak yapı bileşenlerinin bitki yetiştirme yolu ile örtülmesinde görsellik ve enerji etkinliğinin artırılması amaçlanmıştır (Kınalı, 2013).

Yeşil çatılar, son yıllarda çevre dostu bir alternatif olarak yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür çatılar, çatı yüzeyine bitki örtüsü eklenerek oluşturulur ve çevre üzerinde birçok olumlu etkiye sahiptir. Yeşil çatı uygulaması ile gerek çevre gerekse kullanıcılar açısından önemli faydalar sağlanmaktadır. Bunlar arasında enerji tasarrufu,

evre dostu bir yapı, yağmur suyu yönetimi, hava kalitesinin iyileştirilmesi, rekreasyon alanı oluşturulması, güneşin zararlı ışınlarından korunma, gürültü kontrolü, estetik görünüm ve sıcaklık düzenlemesi gibi faydalar sayılabilir. Bu atılar, özellikle şehirlerdeki binalarda, evre dostu bir seçenek olarak kabul edilmekte ve giderek uygulama yoğunluğu artmaktadır.

Vejetatif rtl çatılar, çatı yüzeyine özel bir yalıtım malzemesi ve bir su yalıtım membranı yerleştirildikten sonra, bitki örtüsü eklenerek oluşturulur. Uygulamada genellikle su tutma kapasitesi yüksek, yerel iklim ve toprak koşullarına uyumlu bitkiler tercih edilir. Bitki rts, toprak tabakasının altında köklenir ve bu sayede çatının yalıtım özellikleri artar. Yeşil atı uygulamasının yapımı ve bakımı zahmetli olsa da, uzun vadede faydaları oldukça fazladır ve gelecekte daha fazla tercih edilebilecek bir yapı seçeneği olarak görülmektedir. Bu alışmada, Türkiye’de farklı iklim karakteristiğine sahip dört ilde (Ordu, Ankara, Kayseri ve Mersin) geleneksel çatı sistemi ile aynı özellikli vejetatif örtülü çatıların ısıtma ve soğutma yükleri benzetim programı kullanılarak hesaplanmış ve karşılaştırması yapılmıştır. Bu bağlamda ülkemizin farklı iklim bölgelerinde inşa edilecek yapılar için yeşil çatı uygulamasının etkisi ortaya konulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yeşil çatılar ve serin çatılar, kentsel ısı adası etkilerini azaltan ve bina enerji performansını iyileştiren alternatif çatı kaplama stratejileridir. Yeşil çatılar, yüzey akışı azaltma, ısı yalıtımı ve potansiyel doğal yaşam alanı sağlayan, ancak düzenli bakım gerektirebilen toprak ve bitki örtüsü katmanlarından oluşur. Buna karşın serin çatılar, geleneksel çatı kaplama malzemelerine göre daha fazla güneş ışığını yansıtan, ancak kış aylarında ek yalıtım gerektiren yansıtıcı bir katman içerir (William ve ark., 2016). Bu araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada farklı çatı kaplama stratejilerinin enerji performansı, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, su tüketimi ve ekonomik maliyet açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Onlar hem yeşil çatıların hem de serin çatıların, geleneksel çatı simülasyonuna kıyasla yüzey sıcaklığını önemli ölçüde azalttığını buldular. Serin çatıların yüzey sıcaklığının hava sıcaklığından her zaman daha düşük olduğunu, geleneksel çatılarda olduğu gibi az bakım gerektirdiğini vurguladılar. Yeşil çatıların ise hava sıcaklığına yakın sıcaklıkta kaldığını ve ayrıca ısı yalıtımı, yüzey akışı azaltma ve karbon alımı sağladığını, ancak kurak dönemlerde sulama gerektirebileceğini ifade ettiler. Onlar çalışmaya konu olan diğer çatı uygulamalarına göre yeşil çatıların daha uzun ömürlü olmasından dolayı uzun dönem maliyet açısından daha uygun bir tercih olduğunu belirttiler.

Calheiros ve Stefanakis (2021), yeşil çatıların, kentsel büyüme ve iklim değişikliği ile ilgili çeşitli çevresel ve sosyo-ekonomik sorunlara karşı koymak için doğa temelli çözüm olarak son zamanlarda ilginin arttığını bildirdiler. Onlar yeşil çatıların kentsel peyzaja etkili bir şekilde dahil edilmesi ve çoğaltılmasının gerekli olduğunu işaret ettiler. Yeşil çatıların, iklim değişikliğinin getirdiği zorluklara karşı daha dayanıklı olmak için kentsel ekosistemleri güçlendirmemeyi amaçlayarak, düşük karbon ekonomisine geçişe katkıda bulunarak kentleşmenin etkilerinin azaltılmasında önemli bir rol oynadığını vurgulanmıştır.

Cristiano ve ark., (2021), yeşil çatıların, sürdürülebilir ve dirençli şehirlerin oluşumunda önemli rol oynayabilecek stratejik araçlar olduğuna, ve onların yağmura bağlı taşkın riskini azaltma, binanın ısı yalıtımını artırması ve enerji tasarrufu sağlamaları gibi özelliklerinden dolayı son zamanların yaygın araştırma konusu haline geldiklerine işaret ettiler. Ayrıca yeşil çatıların, kentsel çevredeki bitki örtüsünün geri kazanılmasına,

biyoçeşitliliğin artmasına ve şehre estetik değer eklenmesine katkıda bulunduğunu da belirttiler.

Evangelisti ve ark., (2020), Yeşil çatıların eski çağlardan beri bilinen ısı yalıtım etkisinin olduğunu, yapı sektöründe yeşil çatıların, hem kış hem de yaz aylarında enerji tasarrufu elde etmek için sürdürülebilir bir pasif çözümü temsil ettiğini vurguladılar. Ayrıca gürültü kirliliğine karşı doğal bir bariyer görevi görerek ses yansımalarını azaltıp, kentsel alanlarda temiz hava ve biyolojik çeşitliliğe katkıda bulunduğunu ifade ettiler. Onlar farklı çevre koşullarında bulunan iki binanın çim çatı sisteminin ısı davranışlarını geleneksel çatılarla karşılaştırdılar. Yeşil sistemin ısıtma ve soğutma enerji talebine etkisini ölçmek için dinamik bir simülasyon modeli oluşturdular. Çimle kaplı çatı uygulamasının yaz aylarında aşırı ısınma olamadan termal bir durağanlık, kış aylarında ise yüksek bir enerji tasarrufu sağlayan yüksek yalıtım kapasitesi gösterdiği dolayısı ile iyi bir iç termal koşullar sağladığını tespit ettiler.

Kentsel alanlardaki olması gereken yeşil alanlar, yoğun konut ve iş yeri inşaat faaliyetleri nedeniyle yerini betonarme yapılar almıştır. Bu gibi faaliyetler ile yetersiz yeşil alanlar şehrin iklimini etkilemektedir. Bunun bir sonucu olarak da hava kirliliği gibi çevresel sorunlar kentsel yaşamı tehdit eder hale gelmiştir. Bugün bu çeşit sorunların üstesinden gelmede yeşil çatılar sürdürülebilir bir mimari açılarından bir gereklilik haline gelmiştir (Beyhan ve Erbaş, 2013). Onlar çalışmalarında yeşil çatı kavramı, yeşil çatıların avantaj ve dezavantajları, uygulanabilirlikleri ve bir mimari eleman olarak yapı tasarımındaki yerini irdediler ve Türkiye ve diğer ülkelerdeki yeşil çatı örneklerini analiz ederek karşılaştırdılar.

Göbner ve ark., (2021), yeşil çatıların, buharlaşmalı soğutma ve yağmur suyu tutma yoluyla kentsel alanlarda pik sıcaklıkları azaltmak ve selleri kontrol etmek için bir çözüm olduğunu ifade ettiler. Onlar Almanya’da yaz ayları için farklı yeşil çatı uygulamalarında evapotranspirasyon değişimini analiz ettiler. Kalıcı su depolamalı çatı sisteminin, diğer çatılara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek substrat nemini koruduğunu, aynı zamanda da en yüksek seviyede evapotranspirasyonu ürettiğini belirttiler. Yaz aylarında, en sık çatı, bitki örtüsü seviyesinde en yüksek yüzey sıcaklığını ve hava sıcaklığını gösterdiğini buldular. İklim değişikliğine dayanıklı kentsel alanların oluşturulmasında farklı yeşil çatı özelliklerinin bilinmesinin önemini vurguladılar.

Yirminci yüzyıldan itibaren başlayan kentleşmedeki artış, beraberinde çevre kirliliği, küresel ısınma, düzensiz kentleşme gibi istenmeyen koşulların ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir. Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması yada etkilerinin en aza indirilmesi bağlamında çevreye karşı duyarlı mimari tasarım gayretleri artmıştır. Bu manada son dönemlerde bina yapı elemanlarının vejetatif örtü ile kaplanması da bu çalışmalarındandır. Vejetatif örtü ile bina elemanlarının kaplanması ile kentsel yaşamda biyoçeşitlilikte artış, kent havasındaki toz ve partikülleri tutulması ve hava kalitesinin iyileşmesi, şehir havasına salınan karbondioksit oranında azalma ve oksijen miktarında artma ile küresel ısınmanın etkisinin azaltılması, ayrıca nem oranındaki artışla ısı adası etkisini azalması, bitkisel örtü ile çevre ve trafik gürültüsüne tampon oluşturulması yanında soğuk rüzgâr etkisini en aza indirilmesi gibi katkılar sağlanmaktadır (Koby, 2017). Bu araştırmacı yapmış olduğu çalışmasında Türkiye'nin farklı iklim özelliklerine sahip dört ili için düşey cephe ve yeşil çatı elemanlarının enerji verimliliğine etkisini incelemiştir. Bu manada en fazla fayda Erzurum ilinde sağlanırken en az fayda da Antalya ilinde tespit edilmiştir.

Ece (2021), sıcak kuru iklimin etkili olduğu bölgelerde sıcaklık ve nemin yapılardaki meydana getirdiği olumsuzlukların azaltılmasında yeşil çatının uygulamasının etkisi, Batman ilinde örnek bir yeşil çatı dikkate alınarak sıcak dönemde ölçüm cihazları ile analiz etmiştir. Yeşil çatı uygulamasının bina yüzey ve iç sıcaklığını yaz aylarındaki yüksek sıcaklıktan koruduğunu belirtmiştir. Ölçüm süresince dış ortam sıcaklığının 12,7°C ile 41,6 °C değiştiğini, aynı dönem için geleneksel çatıda yapılan yüzey ölçüm sıcaklığının 26,5°C ile 34,3°C arasında olduğunu, buna karşın yeşil çatı yüzey sıcaklığı ise 23.8 °C ile 30.9°C olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan yeşil çatı uygulamasının olduğu binada iç mekan sıcaklık değişimleri daha düzenli ve düşük seviyelerde kalmış, geleneksel çatılı binanın iç ortam sıcaklıkları daha değişken ve daha yüksek seviyelerde olmuştur.

Madre ve ark., (2013), Yeşil çatı uygulamasında kullanılan bitki çeşitliliğinin yeşil çatı biyoçeşitliliğini nasıl etkilediği üzerine çalışmaların daha fazla yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Onlar bu amaçla, Kuzey Fransa'daki 115 bölgedeki üç farklı bitkiyle kaplı yeşil çatı örtülü binalardan birkaç eklem bacaklıyı dikkate almışlar. Taksonların çoğunun tür zenginliği ve bolluğu, yosun/sedum, çayır ve çalı ile örtülü binalarda daha yüksek

olduğunu tespit ettiler. Buradaki popülasyonda çoğunlukla eklem bacaklıların olduğu vurgulanmıştır.

Yeşil çatılar, bina ve kentsel düzeyde iç ve dış çevreyi iyileştirmek için etkili bir çözüm olarak kabul edilmektedir. Geleneksel çatılara kıyasla, yeşil çatılar, çatı yüzeyinin ve çevredeki havanın sıcaklığını düşürmek, hava kirliliğini azaltmak, gürültüyü azaltmak, yağmurdan kaynaklı yüzey akış su yönetimini iyileştirmek, kentsel biyoçeşitliliği artırmak ve enerjiyi azaltmak gibi birçok fayda sunar. Araştırmalar, yeşil çatı sıcaklıklarının geleneksel çatılardan 30–40°F daha düşük olabileceğini ve şehir genelindeki ortam sıcaklıklarını 5°F'ye kadar azaltabileceğini göstermiştir. Ayrıca yeşil çatılar, geleneksel çatılara kıyasla binanın enerji kullanımını %0,7 oranında azaltabilir (Marafa & Alibaba, 2019). Onlar çalışmalarında yeşil çatının geleneksel çatıya göre enerji tasarrufunu belirlemek için İtalya Palermo'da bir binanın dinamik simülasyonunu kullandılar. Elde ettikleri bulguya dayanarak yeşil çatı uygulamasının enerji tasarrufu sağladığını belirttiler.

Yıldırım ve ark., (2023), Kıbrıs'ta farklı yeşil çatı bitki örtüsü türleri ile bitki örtüsü olmayan bir kontrol çatısı ve bunların iç ortam sıcaklıkları üzerindeki etkilerini karşılaştırdılar. Çalışmayı Yakın Doğu Üniversitesi Yerleşkesinde 12 ay süreyle üç farklı çatı tipinde gerçekleştirmişlerdir. Onlar yeşil çatıların yaz döneminde daha düşük bir ortalama iç ortam sıcaklığı sağladığını, çalı bitkileriyle kaplı çatı uygulamasının yaz döneminde en düşük iç ortam sıcaklığını oluşturduğunu bildirdiler.

He ve ark., (2020), yeşil çatılar ve serin çatılar, iç mekan termal ortamını iyileştirmek, klima yükünü azaltmak ve kentsel ısı adası etkisini azaltmak için yaygın olarak kullanıldığını belirttiler. Onlar Şanghay'da iki farklı çatı tipi arasındaki termal ve enerji performansı farklılıklarını karşılaştırmak amacıyla bir çalışma yaptılar. Yeşil çatı, serin çatı ve yaygın kullanılan çatının yaz ve kış termal performanslarını ölçtüler. Yaygın kullanılan çatı ile karşılaştırıldığında, serin çatının yazın dış çatı yüzeyinde ortalama 3,3 °C'lik bir soğutma etkisine sahip olduğunu, yeşil çatının ise yalnızca 2,9 °C'lik bir soğutma etkisine sahip olduğunu buldular. Kışın ise, yeşil çatının soğuk çatıya kıyasla iyi bir yalıtım sağladığını, çatı dış yüzey sıcaklığını ortalama 3,3 °C iyileştirebildiğini tespit ettiler. Onlar bir model ile, her iki çatı tipinin bir kamu binasının enerji performansı üzerindeki etkisini tahmin ettiler. Simülasyon sonuçları, yeşil çatının en üst katın soğutma

ve ısıtma yüklerini sırasıyla %3,6 ve %6,2 oranında azaltabileceğini göstermiştir. Serin çatının, soğutma yükünü %3,6 azaltabildiğini ve ısıtma yükünü %10,4 artırabileceğini buldular.

Sonne (2006), Florida'da geleneksel ve yeşil çatı uygulamasının çatı sıcaklığı ve ısı akışı karşılaştırmasının yapıldığı bir proje sonuçlarını rapor etti. Yaz mevsimi verilerinin, yeşil çatı uygulamasının önemli ölçüde daha düşük pik çatı yüzey sıcaklıklarını ve daha yüksek gece yüzey sıcaklıklarını gösterdiğini belirtti. Geleneksel çatı yüzeyi için görülen maksimum ortalama gündüz sıcaklığı 130°F (54°C) iken, maksimum ortalama yeşil çatı yüzeyi sıcaklığı 91°F (33°C) olduğunu bildirdi. Minimum ortalama çatı yüzeyi sıcaklığı geleneksel çatı için 71°F (22°C) iken yeşil çatı için bu miktarın 84°F (29°C) olduğunu vurguladı. Isı akışının geleneksel çatıda maksimum noktaya öğle saatlerinde ulaştığını, yeşil çatıda ise gece yarısında olduğunu belirtti.

Liu ve Bass (2005), Tronto'da yapılan araştırmada, geleneksel çatı ile kıyaslandığında, minimum bitki örtüsüne sahip iki yeşil çatının, bir spor salonunun yazın en yüksek çatı membranı sıcaklıklarını 35°F'den (1,6°C) fazla ve yazın çatıdan geçen ısı akışını %70 ila %90 oranında azalttığını buldular.

Jim ve Peng (2012), Hon Kong'da bulunan ekstensif bir yeşil çatının termal performansına havanı etkisini araştırdılar. İki yıl boyunca kaydedilen mutlak ve bağıl (azalma büyüklüğü) ortam ve yüzey sıcaklıkları, önceki çıplak çatı, yeşil çatı ve kontrol çıplak çatı arasında karşılaştırıldı. Güneş radyasyonu, bağıl nem, toprak nemi ve rüzgar hızının etkileri araştırıldı. Yeşil çatının, 160 cm'de önemli bir etki olmaksızın günlük maksimum kiremit yüzey sıcaklığını 5,2 °C ve 10 cm yükseklikteki hava sıcaklığını ise 0.7 °C azalttığını buldular. Diğer taraftan yeşil çatı pasif soğutmasının, güneşli yaz günlerinde yüksek güneş radyasyonu ve düşük bağıl nem ile arttığını ve sulama ile desteklenen yüksek toprak neminin, hava ve bitki yüzey sıcaklığını düşürdüğünü ve günlük sıcaklık dalgalanmalarını azalttığını tespit ettiler. Yüksek rüzgar hızının, yeşil çatının evapotranspirasyon soğumasını artırdığı, ancak aynı zamanda çıplak çatıyı da soğuttuğunu gözlemlediler. Çalışmada yağmurlu günlerde, yeşil çatının, soğutma yükünü azaltmak yerine hafif bir artışla enerji tasarrufu rolünü üstlendiği ve yeşil çatıdan geçen ısı akışının da hava durumuyla ilişkili olduğu açıklandı.

Silva ve ark., (2016), yeşil çatıların Akdeniz ikliminde ısıtma ve soğutmaya bağlı enerji tasarrufunu incelediler. Portekiz'in Lizbon kentindeki bir yeşil çatı uygulamasının termal davranışını, 2013 yılının ısıtma ve soğutma dönemlerinde deneysel analiz ettiler. Buradan elde ettikleri sonuçları EnergyPlus'ta bir bina enerji simülasyonunu kalibre etmek için kullandılar. Daha sonra yoğun (intansif), yarı seyrek (yarı intansif) ve seyrek (ekstansif) çatıların enerji performanslarını değerlendirmek için kullandılar. Her üç çatı uygulaması benzer ısıtma enerji ihtiyacı göstermesine rağmen, seyrek çatıların soğutma enerji ihtiyacı yarı seyrek ve yoğun çatılarınkinden 2,8 ve 5,9 kat daha fazla olduğu belirlendi. Diğer taraftan yarı seyrek ve yoğun yeşil çatıların enerji kullanımının, siyah ve beyaz çatılara göre sırasıyla %60–70 ve %45–60 daha düşük olduğu bulunmuştur.

Jaffal ve ark., (2012), yeşil çatıların, bina enerji verimliliğini artırmak gibi çeşitli çevresel faydalarının olduğunu açıkladı. Onlar, yeşil çatının bina termal enerji performansı üzerindeki etkisini araştırmak için Fransa'da ılıman bir ikliminde geleneksel ve yeşil çatılı tek ailelik bir ev için simülasyon yaptılar. Onlar yaz aylarında, çatı döşeme sıcaklığındaki dalgalanma genliğinin yeşil çatı sayesinde 30 °C azaldığını, yeşil çatı ile çatı pasif soğutma etkisinin üç kat daha verimli olduğunu buldular. Kışın ise, yeşil çatının, soğuk günlerde çatıdaki ısı kayıplarını azalttığını belirttiler. Yeşil çatı uygulamasının yazlık iç hava sıcaklığını 2 °C düşürdüğü ve yıllık enerji ihtiyacının da %6 oranında azalttığını tespit ettiler.

Kılıç Turan (2019), Türkiye'de enerji tüketiminin yaklaşık %30'unun konutlarda gerçekleştiğini, bu alanda kullanılan enerjiden tasarrufun ise konutları oluşturan yapı bileşenlerinin uyum şeklinde planlanmasıyla, özellikle de vejetatif örtülü yapı mimarisinin kullanımıyla sağlanabileceğini belirtti. Çalışmasında, standart teras çatı ve yeşil teras çatının bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisini karşılaştırmıştır. Ayrıca yeşil çatı bileşenlerinden bitki taşıyıcı katman kalınlığı değiştirilerek enerji etkinliğine etkisi de çalışmada araştırılmıştır. Yeşil çatılar ısıtma ve soğutma yüklerinin azalmasında etkili olmuş. Ancak binaların kare ve L formunda inşasının enerji verimliliğine artan etkisi kare formdaki yeşil çatılarda daha fazla bulunmuş.

Kınalı (2013), enerji kaynaklarının önemli bir kısmının binalar tarafından tüketilmesi ile bina yapı unsurlarının iklimlendirme çözümlerinde pasif sistemler olarak dikkate alınan enerji etkin-ekolojik bina tasarımına son zamanlarda yoğunlaşıldığını belirtmiştir. Yeşil

çatı uygulamaların da bu bağlamda kullanıldığını ifade etmiştir. Çalışmasında vejetatif örtülü teras çatılı ofis binalarının ısıtma ve soğutma yüklerine etkisini araştırmıştır. Bu amaçla Design Builder bina enerji simülasyon modeli, seyrek yeşil çatı ve çalışılan iklim bölgesi verilerine dayanarak uygulanmıştır. Ayrıca seyrek yeşil çatı sisteminin verimliliği de, bitki taşıyıcı katman kalınlığı ve kullanılan bitki yaprak yüzey alanı gibi ölçütler değiştirilerek analiz edilmiştir. Yeşil çatıların bina enerji performansı sıcak iklimlerde ortalama %4.64 olurken, soğuk iklimlerde ise %3.01 oranında bulunmuştur. Enerji performansının çatı yüzey alanı ve yaprak yüzey alanı katsayısıyla doğru orantılı, bitki taşıyıcı katman kalınlığıyla ters orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Vejetatif örtülü çatıların avantajları hem ekolojik hem de sosyal açıdan fazladır. Şehrin ve bölgenin iklimine olduğu kadar binaların iç iklimine de olumlu katkı sağlamaktadırlar. Pasif soğutmada ana faktör olan güneş radyasyonundan korurlar. Bu çatı uygulamaları çatının dış yüzeyindeki ısı dalgalanmaları azaltarak ve ısı kapasitelerini arttırarak, çatı altındaki bina bölümlerinin yazın soğumasına, kışın ise ısılarının artmasına katkıda bulunurlar. Isı kayıplarının azalması nedeniyle yeşil çatılar enerji tüketiminden tasarruf sağlar (Niachou ve ark., 2001).

He ve ark., (2016), yeşil çatıların, kentsel yeşil alanı artırmanın ve bina mikro çevresini iyileştirmenin etkili bir yolu olarak kabul edildiğini belirtmişler ve çalışmalarında yazları sıcak ve nemli olan bir kıyı kenti olan Şanghai'da seyrek dokulu bir yeşil çatının termal ve enerji performansını araştırdılar. Bu amaçla kullanılan binanın odalarının biri yeşil çatı ile diğeri geleneksel çatı ile örtülmüş, sonuçlar, yeşil çatının serinletici etkisi yaz aylarında güneşli günlerde bulutlu ve yağmurlu günlerdekinden daha fazla bulunmuş, geceleri iç hava sıcaklığı yeşil çatıda yaklaşık 2.5 °C daha yüksek olmuş. Yeşil çatı ile geleneksel çatı arasındaki çatı yerel hava sıcaklığı farkı güneş radyasyonu arttıkça artmış, maksimum değer 5 °C'ye ulaşmıştır. Yeşil çatı gündüz ısı emici, gece ise ısı kaynağı olarak görev yapmıştır, halbuki geleneksel çatıda tam tersi şekilde bulgulara ulaşılmış.

Pisello ve ark., (2015), binaların yaşam döngüsüyle ilişkili dünya çapında büyük miktarda enerji kullanımı göz önüne alındığında, son yıllarda binaların çevresel etkilerini azaltmak için yeşil ve serin çatılar gibi çeşitli enerji verimli stratejiler önerildiğini bildirmiş. Onlar çalışmalarında yeşil ve serin çatıların özelliklerinin birleştirildiği serin yeşil çatının performansını analiz ettiler. Serin yeşil çatının %98,2 oranında yaz aylarında iç mekan

aşırı ısınma saatlerinin sayısını azaltabildiğini tespit ettiler. Bu çatı uygulamasının kentsel çevre kalitesini iyileştirmeye yönelik bir çözüm olarak düşünülebileceğini, kentsel ısı adası oluşumuna karşı umut verici bir hafifletme stratejisini temsil edebileceğini bildirdiler.

Tsang ve Jim (2011), tropikal yeşil çatıların termal ve enerji verimliliğini, teorik bir modelle değerlendirdiler. Bu amaçla bir yeşil çatının iklim ve mikroklimatik-toprak izleme verileri, hesaplamalar için kullanıldı. Onlar çatının yeşillendirilmesiyle güneş enerjisinin büyük bir miktarının binaya girmesine engel olunduğunu, daha fazla gizli ısı yayılımına sahip nemli-tropikal yeşil çatıların termal performansını, ılıman olanlardan iki kat daha etkili bulduklarını belirttiler. Enerji dengesi modeli, çıplak ve yeşil çatılar tarafından güneş enerjisi emiliminin uzun dalga radyasyondan ziyade kısa dalga radyasyona bağlı olduğunu gösterdiğini bildirdiler. Çalışmada, kısıtlı evapotranspirasyon ile çıplak çatıların, yeşil çatılardan daha fazla hissedilir ısı ve ısı depolama özelliğine sahip olduğu, topraktaki su mevcudiyetinin iki katına çıkarılmasıyla, yeşil çatıların ısı depolamasını yarıya indirebileceği vurgulanmıştır.

Rakotondramiarana ve ark., (2015), yeşil çatıların bina enerji performansını iyileştirmekte ve sürdürülebilir binalara bir alternatif oluşturduğunu belirttiler, çalışmalarında yeşil ve geleneksel çatıların enerji performanslarını karşılaştırdılar. Onlar, yeşil çatıların çatı yapısının aşırı sıcaklık ve büyük sıcaklık dalgalanmaları altında korunduğunu tespit ettiler. Bitki örtüsünün maksimum iç hava sıcaklığını azalttığını ve yazın bina termal konforunun iyileştiğini buldular. Vejetatif örtünün minimum hava sıcaklığı üzerinde etkisinin olmadığını, ancak ilave toprak kalınlığının sıcaklığı artırabileceğini ifade ettiler.

Peñalvo-López ve ark., (2020), yeşil çatıların yağmur kaynaklı oluşan yüzey akışları kontrol etmek için iyi bir uygulama olduğunun kanıtlanmış olmasıyla birlikte, enerji tasarrufu, karbondioksit emisyonunun ve ısı stresinin azaltılması gibi birçok faydalarının olabileceğini vurguladılar. Onlar İspanya’da yeşil çatı uygulamalı bir kamu binasının enerji tüketimini araştırdılar. Elde edilen sonuçlara göre, standart bir yaz günü için binanın soğutma enerjisi talebinde yeşil çatı kurulumunun %30 mertebesinde önemli bir iyileşme sağladığını ve bir kış günü için ısıtma enerjisi talebinde yaklaşık %15 oranında azalma olduğunu buldular.

Parizotto ve Lamberts (2011), yeşil çatıların, binaların enerji verimliliğini artırmak için biyoiklimsel bir strateji olarak araştırıldığını, birçok spesifik iklim koşulu için bu konudaki nicel verilere hala ihtiyaç duyulduğunu bildirdiler. Bu amaçla, Brezilya'da ılıman bir iklime sahip bir şehirde müstakil bir konutun yeşil çatı termal performansının araştırmasını yaptılar. Bu amaçla iki farklı dönem (sıcak ve soğuk) için arazi ölçümleri, çatıların iç hava sıcaklığı, üç çatı tipinin (yeşil, seramik ve çelik) iç ve dış yüzey sıcaklıkları, bu çatılara ısı akışı, yeşil çatının sıcaklık profili, toprak nem içeriği ve meteorolojik verileri kapsamıştır. Sıcak dönemde, yeşil çatının seramik ve metal çatılara kıyasla ısı kazancını sırasıyla %92-97 oranında azalttığını ve ısı kaybını %49 ve %20'ye çıkardığını bulmuşlardır. Soğuk dönemde ise yeşil çatı ısı kazancı %70 ve %84 olurken, ısı kaybı ise seramik ve metal çatılara göre %44 ve %52 oranında azaltmıştır.

Foustalieraki ve ark., (2017), Yunanistan Atina kentinde iki katlı bir ticari binaya kurulan orta ölçekli bir yeşil çatı sisteminin enerji performansını ve yeşil çatı uygulamasının kentsel ısı adası olayının hafifletilmesine olası katkısını araştırdılar. Araştırmanın amacı doğrultusunda, yılın soğuk döneminde yerinde sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmıştır. Geleneksel beton zeminin yüzey sıcaklığının gün içinde ekili alana göre daha yüksek olduğu tespit edilirken, günün ilk saatlerinde yeşil çatının yüzey sıcaklığının beton döşemeli yüzeye göre daha yüksek olduğu belirlendi. Yeşil çatının farklı bitkileri üzerindeki yüzey sıcaklıkları ölçülerek en iyi performansı veren optimum bitkinin seçimi yapılmıştır. Ayrıca EnergyPlus programı kullanılarak bu bina için simülasyonlar yapılmış ve binanın klimasız durumu için iç hava sıcaklığının tipik bir yaz gününde 1,1 K'ye kadar düştüğü ve tipik bir kış gününde 0,7 K'ye kadar çıktığı hesaplanmıştır. Ayrıca binanın enerji tüketiminde bir yıl boyunca toplam %15,1 tasarruf hesaplanmıştır.

Karachaliou ve ark., (2016), Atina, Yunanistan'da tamamen yalıtılmış, düşük enerjili bir ofis binasının 10.000 m²'lik çatısına kurulan, az sulama ihtiyacı olan yerli aromatik bitkilerden oluşan yoğun bir yeşil çatı sisteminin ısı davranışını ve enerji verimliliğini araştırdılar. Çatı alanı, 14 farklı türden yaklaşık 16.000 Akdeniz bitkisi ve stabilize seramik zeminli bir koşu parkuru şeklinde planlanmış. Yeşil çatının kentsel ısı adasını azaltma potansiyeli ve enerji katkısı deneysel ve teorik metodolojiler kullanılarak araştırılmıştır. Yeşil çatının yüzey sıcaklığının geleneksel bir çatıdan 15 K daha düşük olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan yoğun bir bitki örtüsü ile birlikte güneş radyasyonunu

düşük soğurma özelliğine sahip bitkiler çok daha düşük bir yüzey sıcaklığı ve daha yüksek bir hafifletme potansiyeli sunmuştur. Bitkilerin yüzey sıcaklığının, ortam hava sıcaklığından oldukça etkilendiği gözlemlenmiştir. Simülasyon teknikleri ile, bu tip yeşil çatıların klimasız bir binanın ortalama iç sıcaklığını 0,7 K'ye kadar düşürebileceği, buna karşın yıllık soğutma ve ısıtma ihtiyacını önemli ölçüde azaltabileceği hesaplanmıştır.

Yeşil çatılar yazın konfor, enerji tasarrufu, yağmur suyu tutma ve dayanıklılık konularında iyi bir üne sahiptir. Bununla birlikte, ahşap yapılar gibi neme duyarlı alt tabakalar üzerine uygulandığında, bunların yüksek termal ataletleri ve sınırlı kuruma potansiyelleri, özellikle yetersiz tasarım veya işçilik durumunda başarısızlığa yol açabilmektedir (Zirkelbach ve ark., 2017). Onlar çalışmalarında arazi ve laboratuvar testlerine dayalı yeni bir higrotermal yeşil çatı modelini tanıttılar. Bu modelde, bitki örtüsü için daha basit yaklaşımlar, drenaj ve yetiştirme ortamındaki nem dengesi için daha ayrıntılı yaklaşımlar kullanarak yeşillik altındaki nem ve sıcaklık koşullarına yoğunlaşıldığını bildirdiler. Model, yeşil çatı test alanlarının altında ölçülen sıcaklık koşullarının yanı sıra hassas ahşap çatıların kritik katmanlarındaki nem koşullarıyla ilgili olarak da doğrulanmış. Doğrulama, yeşil çatının performansının tüm yıl boyunca ve yağmur suyu emme ve depolama, buharlaşma ve donma etkileri dahil olmak üzere tüm iklim koşullarında iyi bir şekilde yeniden üretilebileceğini göstermiş.

Suudi Arabistan, hızla büyüyen bir enerji sektörüne sahiptir ve toplam elektriğin %76'sından fazlası binalarda tüketilmektedir. Evlerdeki toplam elektrik tüketimi %51'dir. Sıcak iklim koşulları nedeniyle, binalardaki enerji tüketiminin çoğu ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme yüklerine atfedilir. İhtiyacın karşılanması bağlamında, ülke enerji gereksinimlerini karşılamak için tamamen petrol ve gaza güvenmektedir. Enerji talebindeki yüksek büyüme, Suudi Arabistan için katı enerji, çevresel ve ekonomik sorunları getirmektedir (Khan & Asif, 2017). Onlar Suudi Arabistan'ın sıcak-nemli ve sıcak-kuru iklim koşullarında yönlendirme ve yeşil çatının binaların enerji performansı üzerindeki etkisini araştırdılar. Modelleme çalışmasından, seçilen binanın enerji performansında değişen yönlerde nominal bir fark olduğunu ortaya koydular. Yeşil çatının sıcak ve kuru iklimde marjinal olarak daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Analiz sonuçları, Riyad'ın sıcak ve kuru ikliminde ve Dhahran'ın sıcak ve nemli koşullarında

yeşil çatının enerji tüketimini sırasıyla %6,7 ve %6,8 oranında azaltabileceğini göstermiştir.

Ávila-Hernández ve ark., (2020), Meksika'daki sekiz şehirdeki sosyal konutların geleneksel ve yeşil çatı bağlamında termal, çevresel ve ekonomik davranışını analiz ettiler. EnergyPlus yazılımı kullanılarak termal simülasyonları gerçekleştirdiler. Simülasyonların validasyonu için her iki çatı grubu için iç yüzey sıcaklığı ve çatı ısı akışı ölçmüşler. Simülasyon sonuçları, havanın sıcak olduğu yerlerde yeşil çatının evin iç mekan sıcaklığını 4,7 °C'ye kadar düşürdüğünü göstermiş. Ilıman iklime sahip lokasyonlarda yeşil çatı, soğutma enerjisi talebini %99'a kadar azaltırken, aynı zamanda ısıtma enerjisi talebini de %25 oranında artırdı. Ayrıca, yeşil çatı uygulamasının CO₂'i %45,7 oranında azalttığı bulundu.

Yeşil çatılar genellikle arzu edilen bir yapı elemanı olarak görülür ve su kısıtının olmadığı koşullarda çok sayıda fayda sağlar. Ancak, çoğu Akdeniz bölgesi, uzun kurak dönemler boyunca bitki örtüsünü sürdürmek için sulama gerektiren uzun ve kurak yazlara sahiptir (Schweitzer & Erell, 2014). Onlar çalışmalarında seyrek dokulu yeşil çatı sistemlerine uygun birkaç bitki türünün soğutma etkisi ve su kullanımını gerçek binalarla karşılaştırılabilir bir termal yanıt sağlamak için yalıtılmış ve dahili termal kütle ile donatılmış küçük test hücreleriyle değerlendirdiler. Test edilen bitki türlerinin su gereksinimleri günde 2,6 ila 9,0 L/m² arasında değiştiğini belirttiler. Çalışmada kullanılan bitkilerden Aptenia cordifolia, sulama için gereken birim su başına en yüksek soğutma faydasını sağlamış, su kullanımında en verimli olduğu tespit edilmiştir.

Peng Lilliana ve ark., (2019), Çin'in nemli bir subtropikal kentinde iki farklı büyük ölçekli yeşil çatının (seyrek ve yoğun dokulu) uzun vadeli termal ve enerji performansını değerlendirdiler. Çatı yüzey sıcaklığı, 10 ve 150 cm yükseklikteki hava sıcaklığı, çatı ısı akısı ve soğutma/ısıtma yükünü, yeşil çatılar ve kontrol çıplak çatı için saatlik, günlük ve mevsimsel bazda analiz ettiler. İki yeşil çatının, gün boyunca çatı yüzeyinin soğutulması ve geceleri ısıtılması ve tersine, ortam havasının gündüzleri ısıtılması ve geceleri soğutulması ile karakterize edilen, yıl boyunca benzer ve tutarlı bir performans modeli sergilediğini belirttiler. Yoğun dokulu yeşil çatının, gündüz ve gece çatı yüzey sıcaklığının düşürülmesinde, ortam havasının soğutulmasında ve yazın soğutma yükünün kesilmesinde seyrek dokulu yeşil çatıdan daha etkili olmuş, ancak kışın binaya daha fazla

ısıtma yükü eklediğini vurguladılar. Onlar yeşil çatıların her zaman kentsel ısı adasının (KSE) hafifletilmesi ve enerji tasarrufu için uygun şekilde işlev görmediğini, ancak belirli hava koşullarında olumsuz etkilerinin olabileceğinin göz önünde tutulması gerektiğini açıkladılar. Ayrıca çok daha karmaşık bir yapıya sahip olmasına rağmen yoğun yeşil çatıların, termal faydalar açısından seyrek dokulu yeşil çatılardan daha iyi performans göstermediği bildirilmiştir.

Mahmoodzadeh ve ark., (2020), yeşil çatı tasarım parametrelerinin Kuzey Amerika'daki dört farklı iklim bölgesinde bir ortaokul binasının termal veya enerji performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için kapsamlı bir parametrik analiz yaptılar. Tasarım değişkenleri olarak toprak nem içeriği, toprak termal özellikleri, yaprak alan indeksi, bitki boyu, yaprak albedosu, ısı yalıtım kalınlığı ve toprak kalınlığını kullandılar. Yeşil çatıların optimal parametrelerinin, her şehirdeki meteorolojik koşullarla işlevsel olarak ilişkili olduğunu buldular. Enerji tasarrufu açısından, hafif subsrat (toprak katmanı) yalıtılmamış yeşil çatı için daha iyi termal performans göstermiş ve dört şehir için toprak kalınlığı 15 cm ve yaprak alan indeksi 5 olarak önerilmiştir. Soğutma ağırlıklı iklimler için optimum bitki boyu 30 cm, ısıtma ağırlıklı şehirler için ise 10 cm olarak belirlenmiştir. Bitki albedosu, ısı adası etkisini azaltmada etkili olurken, enerji tüketimi üzerinde en az etkiye sahip olmuştur. Soğutma yükünün büyük ölçüde subsrat ve bitki örtüsünden etkilendiği, ısıtma yükünün ise yeşil çatı tasarım parametreleri yerine ısı yalıtımından önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir.

Yeşil çatılar, özellikle enerji seviyesinde bina için farklı avantajlar sağlayabildikleri için sürdürülebilir yapılar için çekici bir çözüm olarak görünmektedir. Bununla birlikte, genellikle yeşil çatı performanslarının simülasyonu için benimsenen dinamik modeller, dış çevre ile termal alışverişi doğru bir şekilde tanımlamak için genellikle tahmin edilmesi zor olan çeşitli parametrelerin bilgisini gerektirir (Bevilacqua ve ark., 2020). Onlar, bu sınırlılığın üstesinden gelmek için, deneysel bir yeşil çatıda deneysel iklim verileri ve izlenen sıcaklıklar kullanılarak dinamik saatlik simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonuçları, dikkate alınan iklim bağlamında yıllık düzeyde, yalıtılmamış bir yeşil çatının soğutma enerji talebinde önemli azalama sağladığını göstermiş. İncelenen binanın sondan ikinci katına kadar yeşil çatının etkisini olduğu tespit edilmiştir. Yeşil

çatının hem kış hem de yaz mevsiminde iç mekan termal konforunu sürekli olarak iyileştirme kabiliyeti olduğu vurgulandı.

Liu (2014), bir yeşil çatının enerji faydalarının nicelleştirilmesi üzerine yapılan çalışmalarda şimdiye kadar parametre değerlerinin yalnızca deterministik olarak ele alındığını, gerçekte, bu değerlerin, bitki örtüsünün ve toprak özelliklerinin doğasında var olan değişkenlik ve ayrıca bir yeşil çatının inşası ve/veya fiili işletimi sırasında belirlenen değerlerden bertaraf edilemez sapma nedeniyle farklı aralıklara dağılabileceğini ifade etti. Bu tür parametre belirsizliği altında, yeşil çatı performansının artık deterministik olarak değil, probabilistik olarak tahmin edilebileceğini belitti. Örnek bir ofis binasını, bir yeşil çatı ile soğutma ve ısıtma enerjisi taleplerinin nasıl azaltılabileceğini sistematik olarak incelemek için kullandı. Bu amaç doğrultusunda duyarlılık analizi ile belirlenen yeşil çatının en önemli parametre değerlerini rasgele değişkenler olarak ele aldı. Bir Latin hiperküp örnekleme tekniği ile Monte Carlo simülasyonu kullanılarak bir yeşil çatı konfigürasyonları oluşturdu. Daha güvenilir yeşil çatı tasarımı için probabilistik enerji analizinin önemini vurguladı.

Günümüzde yeşil çatılar, ekolojik, teknik, ekonomik faydaları ve estetik nitelikleri nedeniyle popülerdir. Yeşil çatılar konut, ticari, hükümet ve kamu binalarında kullanılmaktadır. Yenilikçi enerji tasarruflu inşaat teknolojileri, ekolojiye büyük fayda sağlayacak ve ısı adası etkisinin hafifletilmesine yardımcı olacaktır. Çevre dostu yeşil çatı teknolojisi, sürdürülebilir kalkınma ve kentsel ekolojinin korunması politikasına yöneliktir (Korol & Shushunova, 2014)

Wei ve ark., (2020), yeşil çatıların, özellikle yeşil bina ve sürdürülebilir şehir hedeflerine katkıda bulunduğunu, yeşil çatı enerji performans değerlendirmesinin çoğunlukla yazın soğutma ve enerji tasarrufu faydaları üzerine olduğu, halbuki, kışın ısıtma etkisinin çok az dikkate alındığını belirttiler. Onlar toprak bileşeninin kış ısınmaya katkısını kalınlık ve nem içeriğine göre değerlendirdiler. Bu amaçla Çin'in Fujian Eyaleti, subtropikal Wuyishan şehrinde, üç deneysel deneysel yeşil çatı oluşturdular. Toprak kalınlığını ayarlayarak, nem içeriğini ölçerek, bu parametrelerin kışın çatı dış yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerini izlemişler. Çalışmalarında, ölçülen dış ortam sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu, rüzgar hızı, toprak kalınlığı ve toprak nemi içeriğini bağımsız değişkenler olarak ve çatı dış yüzey sıcaklığını bağımlı değişken olarak göz önüne aldılar.

Oluşturulan sayısal modelin, farklı toprak kalınlığı ve nem içeriği kombinasyonlarında kış çatı dış yüzey sıcaklığını başarıyla tahmin ettiğini ve enerji tasarrufu performansı için en iyi değeri belirlediğini tespit ettiler. Onlar, kontrol edilebilir toprak değişkenlerini ayarlayarak yeşil çatı tasarımını optimize etmenin fizibilitesini ve yapay sinir ağı modelinin çatı dış yüzey sıcaklığını farklı toprak durumlarında makul olarak tahmin edilebildiğini buldular.

Nüfusun hızlı artışına paralel olarak kentsel alanlar yapı yoğunluğunun arttığı beton kaplı yüzeylere dönüşmüş, bunun sonucu olarak da yeşil alanların miktarı azalmıştır. Kentsel alanlardaki yeşil ve açık alan daralmasının mimari ölçekte tekrar kazanılmasında, çevresel, ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel bağlamda bir çok faydası bulunan yeşil çatıların kullanımına dair gayretler son zamanlarda artış göstermiştir (Sağsöz, 2019). Çalışmasında yurt içi ve yurt dışından yeşil çatı uygulamalarını analiz etmiş ve yeşil çatı hakkında insanların düşünce ve algılarını tespit etmek için anket düzenlemiştir. Ülkemizde yeşil çatı uygulamalarının yeterli seviyede olmadığını, daha çok nüfus yoğunluğun olduğu kentlerde yeşil çatılara rastlandığını belirtmiştir. Türkiye’deki yeşil çatı örnekleri, temel işlevleri kent ekolojine katkı sağlamak olan seyrek dokulu yeşil çatı uygulamaları olduğu vurgulanmıştır. Anket çalışma sonuçları, insanların yeşil çatı hakkında yeterli bilgiye sahip olmadığını ancak binalarında yeşil çatı uygulamalarını istediklerini göstermiştir. Çalışmada, yeşil çatı uygulamalarının bazı ülkelerde olduğu gibi ülkemizde zorunlu hale getirilmesi ve devlet teşviki yapılması önerilmiştir.

Vejetatif örtülü (yeşil) çatılar, sürdürülebilir ve çevreci bir yapı sistemi özellikleriyle ve bu manada geleneksel çatılara göre sağladığı olumlu katkılar nedeniyle geniş uygulama alanı bulmaktadır. Yeşil çatıları farklı malzeme ve yöntemlerle ile inşa edilmektedir. Gerek yapılar ve gerekse kullanıcılar yapıların hizmet ömrü boyunca suya bağlı olarak sorunlar yaşamaktadır. Bu sorunlar yeşil çatılarda özellikle çatı eğimi ve üzerinde yetiştirilen bitki ortamının suyla doğrudan ilişkili olması nedeniyle daha sık su sorunu görülme ihtimalini artırmaktadır. Bu durum kullanıcıların yeşil çatı uygulamasından uzaklaşmasına sebep olabilmektedir. 2018 yılında yayınlanan binalarda su yalıtımına dair yönetmelikte yeşil çatıların kapsamamaktadır (Temur, 2022). O çalışmada ilgili yönetmelikte yer almayan yeşil çatılarda su yalıtımına yönelik esasların belirlenmesi üzerinde durmuştur. Bu bağlamda, yeşil çatılarda karşılaşılan su temelli yalıtım sorunları

ve oluşan sorunlara karşı alınması gerekli önlemleri, suyun yapıdan uzaklaştırılmasına dair yöntemleri belirlemeye çalışmıştır.

Kent yaşamındaki çevresel sorunlardan biri olan kentsel ısı adası etkisi, çatı yüzeylerinin yeşil ya da serin örtü ile kaplanması ile azaltılabilmektedir. Isı enerjisini depolayan çatı malzemeleri yerine çatı yüzey alanının vejetatif örtü ya da serin örtü ile kaplanmasıyla çatı yüzeyleri daha serin tutularak bina sakinlerine daha konforlu ortamda yaşama imkanı sağlanmaktadır. Bu çatı uygulamaları yazın soğutma ihtiyacı için gerekli olan enerjiden tasarruf edilmesi yanında kentsel ısı adası etkisinin de hafifletilmesinde önemli rol üstlenmektedirler (Tozam, 2016).

Binalardaki ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tasarrufu sağlanması, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, yağmur kaynaklı yüzey akışın kontrol altında tutulması gibi çevresel katkıları olan yeşil çatılar kentsel alan içinde habitat ve yeni sosyal alan oluşturmaları açısından da önemli faydalar sağlamaktadır. Bu bağlamda yeşil çatı uygulamalarının yaygınlaşması ve kentsel gelişim stratejisine dönüşmesi önemlidir (Asrak, 2019). O çalışmasını, sürdürülebilirlik bağlamında yeşil çatıların değerlendirmesini, yeşil çatıların uygulanmasında karşılaşılan sorunlar, yeşil çatıların tasarım, inşa ve kullanım süreçleri üzerine gerçekteşirmiştir.

Vejetatif örtünün önemli oranda azaldığı, yerini asfalt beton ve sert zeminlerin aldığı kent alanları hava kirliliği, kentsel ısı adası etkisi ve yağmur kaynaklı yüzey akışın verdiği tahribata maruz kalmıştır. Bu bağlamda vejetatif örtülü yapı elemanları ile kentsel alanlar estetik bir yapıya sahip olurken, beraberinde enerji tasarrufu, havadaki zararlı maddelerin filtrelenmesine katkı sağlamaktadırlar. Diğer taraftan bitkilerin yetiştiği ortam itibariyle suyu tutma özellikleri ile oluşması muhtemel taşkın zararını da hafifletmekte, gri suyun tekrar kullanımına imkan tanımaktadırlar. Yeşil çatıların çevresel açıdan birçok yararının olmasına karşın onların yaygın uygulanmasının önündeki en önemli sorunlar olarak ilk tesis masraflarının yüksek olması ve yeterince bu konuyla ilgili bilgiye sahip olunmaması gelmektedir (Demirci, 2019)

Yeşil çatılar, kentlerdeki sürdürülebilir yaşama katkı sağlayarak, çevresel sorunların kentsel alanlardaki olumsuz etkileri en aza indirebilecek mimari tasarım uygulamalarıdır. Bu çatı uygulamalarında kullanılan bitki materyalleri havadaki toz ve partikülleri

filtrelemesi, karbondioksit miktarını azaltmaları, oksijen miktarı artırmaları ile küresel ısınma tehdidinin kontrolünde önemli etkiye sahiptirler. Ayrıca bu bitkiler biyoçeşitliliği artırmasının yanında binanın çevresindeki gürültüyü en aza indirerek yaşam kalitesinin yükselmesine de önemli katkı vermektedirler. Yeşil çatılar, yağmur suyunun tekrar kullanılmasına ve suyun depolanmasına imkan sağlayarak, kuraklık zararının azaltılmasına olumlu katkısı vardır. Diğer taraftan bu çatılan en önemli faydalarından birisi de enerjiden tasarruf sağlamalarıdır (Demirhan, 2021). Çalışmasında yağmur suyu ve güneş enerjisinin en verimli kullanılmasına yeşil çatı uygulamasının etkisi araştırılmıştır. Yağmur suyu ile çatıdaki bitkiler sulanmış ve güneş enerjisi ile elektrik üretilmiştir.

Yeşil çatıların kullanımı çok eski dönemlere kadar gitmesine rağmen ülkemizde yeterince uygulanmamıştır. Çevresel bağlamda ve enerji verimliliği açısından birçok faydası olan bu tasarım üzerine araştırmaların daha yoğun yapılması önemlidir. Türkiye’de son zamanlarda binalarda enerji tasarrufu ve buna ilişkin sertifikalandırma sistemi yeşil çatı uygulaması avantaj sağlamıştır. Bu sebeple yeşil çatıların gerek tasarım gerekse üretim sürecindeki paydaşların bilgi sahibi olmaları için vejetatif örtülü sistemler üzerine farkındalığı artırmak gereklidir (Kaymak, 2014). Araştırmacı yaptığı çalışmada gerek ülkemizde gerekse diğer ülkelerde yeşil çatı üzerine araştırma ve örnekleri incelemiş, onların sürdürülebilirlik açısından üstünlüklerini değerlendirmiş ve ülkemizde yeşil çatı uygulamaları için alt yapı oluşturmayı hedeflemiştir.

Erbaş (2011), sürdürülebilir mimari ve yeşil çatı üzerine Karadeniz Teknik Üniversitesi, mimarlık, iç mimarlık ve peyzaj mimarlığı bölümü öğrencileri ile akademik personeline anket düzenlemiştir. Anket çalışması görsel olarak semantik diferansiyel anket yöntemi ve kapalı uçlu anket yöntemiyle yapılmıştır. Araştırma mimar, iç mimar, peyzaj mimarı ve akademisyenleri sürdürülebilir mimari ve yeşil çatı konusunda bilgilendirmek ve teşvik etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ankete katılanlar küresel ısınma ve etkileri hakkında bilgiye sahip ve bu konuda gerekenin yapılmasını talep etmişler, yeşil çatı kavramını çoğunlukla duymuşlar ve bulundukları binaların yapı elemanlarının yeşil örtü ile kaplanmasını istemişler ancak maliyet anlamında çekimser kalmışlardır.

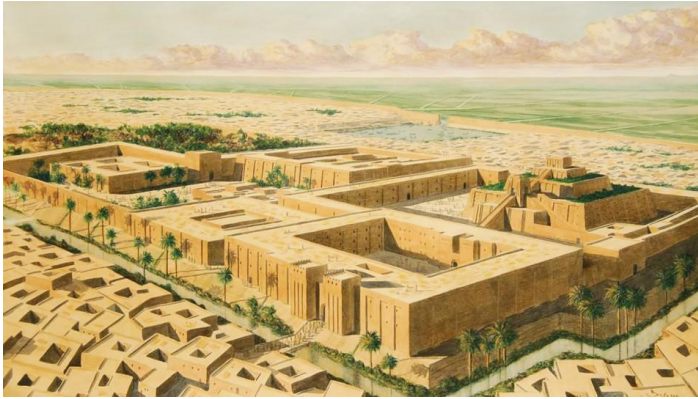
Kırşan (2015), küresel ısınma ve çevre kirliliğinin kentsel alanları tehdit ettiğini, bu sorunların üstesinden gelmek için de çevreye duyarlı ve enerji tasarrufu yüksek çözümler

geliştirildiğini, bu çözüm yollarından birinin de bina yapı elemanlarının vejetatif örtü ile kaplanması olduğunu vurgulamıştır. Çalışmasında vejetatif örtülü yapı elemanlarının binanın ısıtma ve soğutma bağlamında enerji tüketimine etkisi Ankara koşullarında araştırmıştır. Yapılan analizler ile geleneksel yapı elemanlarıyla karşılaştırıldığında yeşil çatıların ısıtma yüklerini azalttığı soğutma yüklerini arttırdığı belirlenmiştir. Düşey yeşil cepheler ise hem ısıtma hem de soğutma yüklerini azaltmıştır. Ancak gerek yeşil çatı gerekse düşey cephelerin birlikte tasarlandığı bina örneğinde ısıtma yükü büyük oranda azalmış, ancak soğutma yükü bir miktar fazlalaşmıştır.

Erdoğan (2014), çalışması kapsamında düşey yeşil sistemleri tanıtmış, onların sağladığı faydaları ve sınıflandırmasını belirtmiş, bu amaçla kullanılan malzemelere değinmiş, yurt dışından verdiği örneklerle birlikte düşey yeşil örtülü bina unsurlarının enerji etkin tasarımında dikkate alınma parametreleri üzerinde durmuş ve referans bir binanın benzetim programıyla enerji etkinliğini değerlendirmiştir. Analizler düşey yeşil cephelerin enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir.

3. VEJETATİF ÖRTÜLÜ (YEŞİL) ÇATILAR

Yeşil çatılar, tarihi oldukça eskilere dayanan bir yapısal tasarım ögesidir. Antik dönemlerde de kullanılmış olan yeşil çatılar, günümüzde de özellikle çevre dostu mimari projelerde tercih edilmektedir. Yeşil çatıların tarihi, bazı kaynaklara göre binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Antik dönemdeki ilk yeşil çatı örnekleri, MÖ 2000 yıllarda Ur şehrinde inşa edilmiş olan Ziggurat piramidine benzeyen mabet ve tapınaklarda tespit edilmiştir. Diğer taraftan antik dönemin en ünlü ve en sofistike yeşil çatı uygulaması dünyanın yedi harikasından biri olan Babil Asma Bahçeleri gösterilmektedir. İskandinavya'da Miladi 800-1000'li yıllarda Vikingler döneminde çim örtülü çatılar geliştirilmiştir. Bu bölgelerde yaşayan insanlar, kışın soğuk havadan korunmak ve yazın sıcaktan kaçmak için evlerinin çatılarını toprakla kaplamışlardır. Toprağın yalıtım özelliği sayesinde evlerin içi daha sıcak ve kuru kalırken, yazın çatıdaki toprak bitkileri sayesinde evin içi daha serin tutulmuştur (Anonim, 2013; Magill, 2011; Osmundson, 1999; Seçkin & Seçkin, 2016).



Şekil 1. Ur şehrinde inşa edilmiş olan Ziggurat

Yeşil çatıların modern kullanımı ise 20. yüzyılın başlarına kadar dayanmaktadır. Almanya'da çıkan bir yasal düzenleme, çatılarda yalıtım malzemesi olarak kullanılan saman ve kum gibi yanıcı malzemelerin kullanımını yasaklamıştır. Böylece, yalıtım için yeşil bitki örtüsü kullanmak daha yaygın hale gelmiştir. Yeşil çatı uygulamaları gerek endüstrideki standart ve prensiplerde gerekse malzeme ve uygulamaya dair gelişme ve tecrübe sonucu bugünkü konumuna evrilmiştir. Avrupa'da yeşil çatı kullanımına dair

örnekler arasında, Almanya'nın başkenti Berlin'de bulunan Federal İdare Mahkemesi binasının yeşil çatısı gösterilebilir. Bu çatı, 2002 yılında inşa edildiğinde, Avrupa'nın en büyük yeşil çatısı olarak kaydedilmiştir (Anonim, 2010; Getter & Rowe, 2006; Velazquez, 2005). Almanya'da 1975 yılında kurulan Alman Peyzaj Araştırma Geliştirme ve İnşaat Derneği bu ülkede yeşil çatının yaygınlaşması ve gelişmesinde önemli bir paya sahip olmuştur. Daha da ilerisi bu dernek yeşil çatı sistemlerinin planlanması, uygulanması ve bakımı ile alakalı rehber ilkeler oluşturmuştur. Bu manada Almanya'da vejetatif örtülü çatı sistemlerinin tasarımı ve testlerinde başvuru niteliğindeki en saygın rehber olma özelliğini devam ettirmektedir (Magill, 2011). Almanya'da yeşil çatı uygulamaları 1980'li yıllardan sonra önemli bir artış göstermiş (% 15-20), 1989 yılına kadar bir milyon metrekare çatı alanında vejetatif örtü kullanılmıştır. Bu miktar 1996 yılında on milyon metrekareye ulaşmıştır. Almanya'da yeşil çatı uygulamalarındaki bu denli artış trendinin sebebinin yasalar yanında belediyeler tarafından yeşil örtüyle kaplanmış çatı yüzey alanının metrekaresi başına 35-40 Alman markı ödeme yapılarak vatandaşların özendirilmesi olarak gösterilmektedir. Almanya Stuttgart ve Mannheim kentleri 1989 yılında belediye tarafından çıkarılan yönetmelik ile düz çatılı sanayi binalarına yeşil çatı uygulamasını getirmiştir. Avusturya'da yeşil çatı kullanımı hibe ile teşvik edilmiştir (Ece, 2021). Peck ve Colloghan (1999), bugün birçok Avrupa ülkesinde yeşil çatı uygulamaları bu gibi gayretler ile yaygın kullanılmaya başladığını ifade etmiştir.

Binaları üzerini örtmek yanında bina ve içinde barınanları dış etkenlere karşı koruyan yapı elemanı olan çatının bitkilendirilmesi (vejetatif örtü) marifetiyle kaplanması işlemi, literatürde yeşil çatı, ekolojik çatı, yaşayan çatı, kahverengi çatı ve çatı bahçesi gibi isimlerle anılmaktadır. Ancak bunlar arasında çatı bahçesi temelde işlevi bakımından yeşil çatı kavramıyla farklılık göstermektedir (Coffman, 2007; Erkul & Sönmez, 2014). Yeşil çatı ile bir binanın izolasyonu, ısıtma ve soğutma maliyetindeki enerji verimliliği hedeflenirken, çatı bahçesinde ise öncelikli olarak estetik ve rekreasyon alanı olma özelliği göz önünde bulundurulmaktadır (Tohum, 2011).

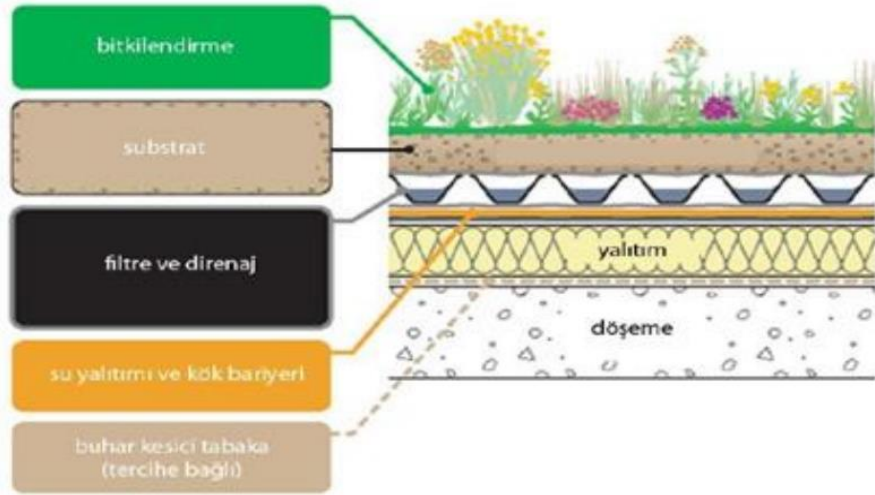
3.1. Vejetatif Örtülü Çatıların Sınıflandırılması

Yeşil çatılar, genellikle çatı katmanlarının yapısal, estetik veya çevresel işlevlerine göre geleneksel çatılar, ekstensif yeşil çatılar, intensif yeşil çatılar, yaşam alanı yeşil çatılar, çift amaçlı yeşil çatılar ve üç amaçlı yeşil çatılar olarak sınıflandırılmaktadır. Diğer taraftan yeşil çatıların su tutma kapasitesi, bitki türü, substrat kalınlığı, kurulum yöntemi gibi özellikleri dikkate alınarak "yoğun", "orta yoğunluklu" ve "hafif" olarak sınıflama da yapılmıştır (Getter & Rowe, 2006; Liu, 2004; Lanham, 2007). Köhler ve ark., (2002), çatıya yerleştirildiği yapı türüne göre yeşil çatıları çatı bahçeleri, çatı tarlaları, çatı ormanları ve çatı habitatları olarak sınıflamıştır. Berardi ve ark., (2014), de ise çatı bahçeleri su tutma kapasitesine göre "hafif su tutma", "orta derecede su tutma" ve "yüksek su tutma" durumlarına göre yeşil çatıların sınıflandırılması yapılmıştır. Seyrek, sık ve orta yoğunluklu yeşil çatılar ile ilgili bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

3.1.1. Seyrek (ekstensif) dokulu yeşil çatılar

Bu tip yeşil çatı uygulamasında daha sığ substrat tabakası, daha az bakım ve daha düşük bitki çeşitliliği vardır. Bu çatının vejetatif örtüsünü oluşturacak bitkilerin (sıklıkla sedum, yosun ve benzeri bitkilerden oluşan) yaşamını kendi kendine sürdürebilecek ve üreyebilecek niteliklere sahip olması istenir. Böylece fazla bakım gerektirmeden yeşil aksamalarını muhafaza edebilirler. Bu çatılar için kullanılacak bitkilerin çevre koşullarına adaptasyon kabiliyeti göz önünde tutulmalıdır. Seyrek dokulu yeşil çatılarda bitkilerin için ayrılan taşıyıcı katman kalınlığı 2 ile 15 cm arasında değişmektedir. Çatıda % 1.5-2 gibi eğimin varlığı doğal drenajın olmasına imkan tanımaktadır. Bu yeşil çatı uygulamasında vejetatif örtünün 1 metrekaresi çatıya 100 kg ilave bir yük oluşturmaktadır. Bu çatılar çoğunlukla görsel ve işlevsel amaçlı tesis edilmektedir (Kongjian ve ark., 2013; Velazquez, 2005). Seyrek dokulu yeşil çatıların en göze çarpan üstünlükleri arasında binaya sağladığı yükün daha az olması, sulama ihtiyacının çok fazla olmaması yanında düşük bakım ve maliyete sahip olmasının olduğunu bildirmiştir. Ayrıca değiştirilmesinin kolay olması ile binaların sürdürülebilirliğini artırmak için yapılan yenileme hareketlerine daha uygundur. Diğer taraftan bu çatıların rekreasyon alanı olarak kullanılmaması ve üzerinde yürünememesi gibi belirgin dezavantajlarının

olduğunu belirtmiştir (Doug ve ark., 2005; Tolderlund, 2010). Seyrek dokulu bir yeşil çatının bileşenleri Şekil 2’de gösterildiği gibidir (Aytin & Ovalı, 2016).



Şekil 2. Seyrek dokulu yeşil çatı yapısal bileşenleri

Şekil 3 ve 4’te seyrek dokulu yeşil çatılara ilişkin bir örnekler verilmiştir (Anonim, 2017a) .



Şekil 3. Seyrek dokulu yeşil çatı (Autofamily House, Polonya)

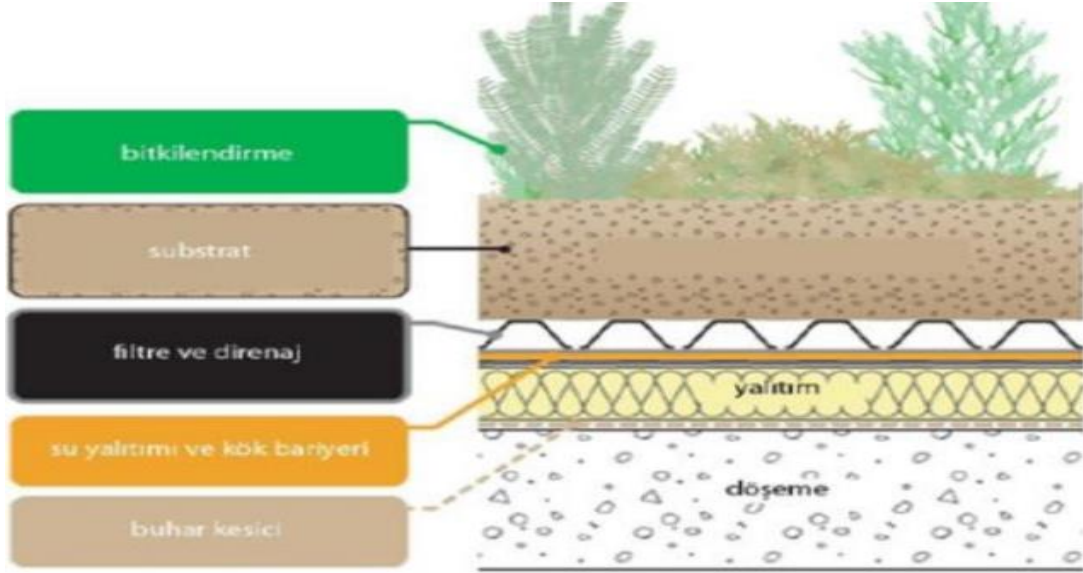


Şekil 4. Seyrek dokulu yeşil çatı (Meera Sky Garden House, Singapur)

3.1.2. Yoğun (intensif) dokulu yeşil çatılar

Yoğun dokulu yeşil çatılar substrat tabakaları daha derin, bitki çeşitliliği daha fazla ve daha sık aralıklarda bakım gerektirirler. Bu çatılar çok daha fazla bakım ihtiyacı isteyen ve bitki kök bölgesi gelişimi için 15 cm'den daha fazla bitki büyüme katmanı olan vejetatif örtülü çatılardır (Getter ve ark., 2009; Weiler & Scholz-Barth, 2009). Bu yeşil çatı uygulamasının diğer çatı sistemlerine göre ısıya dayanma dirençlerinin daha yüksek ve yağmur suyunu daha fazla tutma kapasitesine sahiptir (Ting Au, 2007). Yoğun dokulu yeşil çatı uygulamasında metrekareye 300-400 kg ilave yükün geleceği göz önüne tutularak bina statik hesaplamasının yapılması gerekmektedir. Ayrıca bitki su ihtiyacının karşılanması amacıyla sulama sistemi de beraberinde düşünülmelidir. Bu çatı sisteminin seyrek dokulu çatı sistemine göre diğer bir ayırt edici özelliği de bu çatıların işlevsel kullanımları yanında rekreasyon amaçlı kullanıma uygun olarak tasarlanmış olmalarıdır. Bu çatılarda geleneksel bahçe bitkileri ile vejetatif örtü oluşturulur. Tasarlanırken insan trafiği ve bakım koşullarının kolay olarak gerçekleştirilme imkanları göz önünde bulundurulmalıdır (Velazquez, 2005). Çok fazla bitki çeşitliliği, daha iyi yalıtım özellikleri ile enerji verimliliğine önemli katkı sağlamaları, görsellik bağlamında çekicilik sunmaları ve rekreasyon alanı oluşturmaları en önemli üstünlükleri iken yapıya ek yük ilavesi, sulama ve drenaj sistemlerine ihtiyaç duymaları, maliyetinin yüksek olması ve inşası

uzmanlık gerektirmesi önemli dezavantajlarıdır (Peck ve ark., 1999). Yoğun dokulu yeşil çatının bileşenleri Şekil 5’te verilmiştir (Aytin & Ovalı, 2016). Şekil 6 ve 7’de yoğun dokulu yeşil çatılara ilişkin bir örnekler verilmiştir (Anonim, 2018a) .



Şekil 5. Yoğun dokulu yeşil çatı yapısal bileşenleri



Şekil 6. Yoğun dokulu yeşil çatı (The Solaire, NYC, the first green residential building, ABD)



Şekil 7. Yoğun dokulu yeşil çatı (City Hall, Chicago)

3.1.3. Yarı-yoğun (yarı-entansif) dokulu yeşil çatılar

Literatürde çok fazla sınıflaması yapılmamış olsa da seyrek ve sık dokulu yeşil çatı uygulamalarının karışımı şeklinde inşa edilen yarı-sık (yarı-entansif) yeşil çatılar da mevcuttur. Yarı yoğun yeşil çatılar, çatı yüzeyinin bir bölgesindeki bitki örtüsü ile kaplı olduğu çatılardır. Bu tür çatılar, tamamen yoğun yeşil çatılardan farklı olarak, bitki örtüsünün daha az yoğun olduğu ve daha az bakım gereksinimi bir seçenektir. Bu tür çatılar, özellikle küçük ölçekli uygulamalar için uygundur ve şehirlerdeki çevresel sorunların hafifletilmesine yardımcı olabilir (Güzel & Keleş, 2009; Snodgrass & McIntyre, 2010; Li ve ark., 2014).



Şekil 8. Yarı intensif (yarı-sık) yeşil çatı (The Kensington Building, Londra) (Anonim, 2023a)

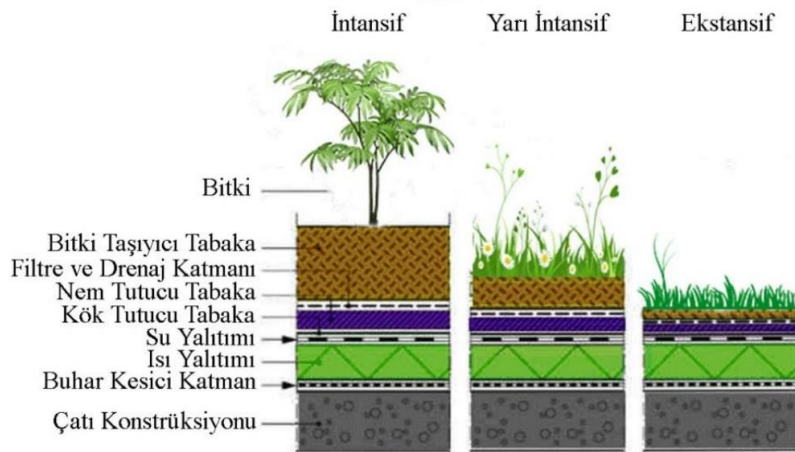


Şekil 9. Yarı intensif (yarı-sık) yeşil çatı (Anonim, 2017b)



Şekil 10. Yarı intansif (yarı-sık) yeşil çatı (Anonim, 2022)

Yoğun, yarı-seyrek ve seyrek yeşil çatı uygulamaları, kullanım hedefleri, yapısal ihtiyaçlar, bitki çeşitliliği ve bitki taşıyıcı tabaka derinliği bakımından farklılık göstermektedir. Koby (2017) de üç farklı vejetatif örtülü çatı tipinin yapısal bileşenlerinin şematik olarak karşılaştırmasını aşağıdaki şekilde sunmuştur.



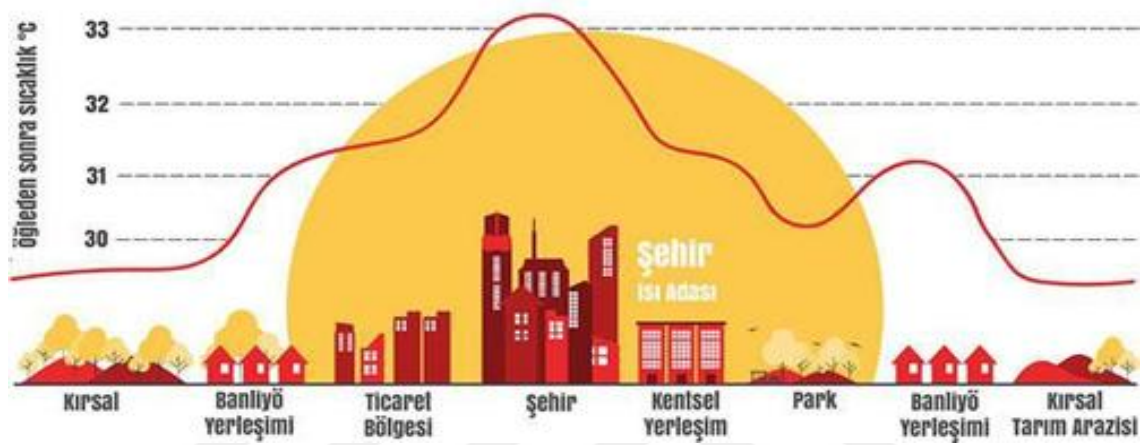
Şekil 11. Farklı vejetatif örtülü çatıların yapısal bileşenlerinin karşılaştırılması

3.2. Vejetatif Örtülü Çatıların Geleneksel Çatılara Göre Üstünlükleri

Kentsel alanlar kırsal alanlara göre, fosil yakıtların fazlaca kullanıldığı, çevresel kirliliğin yoğun yaşandığı, geçirimsiz yüzeylerin daha fazla olduğu, kentsel ısı adası etkisinin hissedildiği, yeşil alanların daha az olduğu ve sıcaklığın daha yüksek olduğu yerlerdir. Kentsel alanlardaki bu olumsuz baskıların kısmi olarak azaltılmasında vejetatif örtülü bina unsurlarının önemli katkısı bulunmaktadır (Sögüt & Şenol, 2014). Aksoy ve İçmek (2010), kaliteli kent yaşamının kenti oluşturan unsurlar ile yeşil alanlar arasındaki dengenin doğru kurulumuyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Çağdaş kentsel yaşam kalitesinde, kentlerdeki yeşil alanların işlevleri ve büyüklüklerinin belirleyici bir role sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Aras (2019), kentsel sürdürülebilirlik açısından en önemli ana unsurların ekolojik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin olduğunu belirtmiştir.

Kentlerde artan nüfusa bağlı olarak doğal arazi örtüsünde değişiklikler olmaktadır. Dolayısı ile gerek kent içerisinde gerekse çevredeki doğal peyzaj alanları taş, beton ve asfalt yüzeylerle yer değiştirmektedir. Kente ait oluşan bu sert yüzeyler gündüz güneşten gelen enerjiyi depolayıp (absorbe) gece serbest bırakmaktadır. Bitki örtüsü ile kaplı alanlarda absorbe edilen güneş enerjisinin geri yayılımı daha az olmaktadır. Kentsel alanlarda gündüz depolanan enerji gece tekrar yayılarak kentsel alanların sıcaklığını kırsal alanlardan daha fazla yapar, yani kentsel ısı adası oluşur. Isı adası etkisi yoğunluğu kentsel geometri ve yeşil alan miktarı ile doğrudan etkilenmektedir (Chapman et al., 2018; Sobstyl ve ark., 2018; Dinsdale, 2006; Kabuloğlu, 2005; Tozam, 2018). Canan (2017), kentsel ısı adasının hava kalitesini düşürdüğü, binalarda enerji tüketimini yükselttiği, kent üzerindeki havayı kirlettiği, rüzgâr, nem ve yağış gibi atmosferik olayların döngüsünde değişimlere neden olduğunu bildirmiştir. Rakotondramiarana ve ark., (2015), bina yapı elemanlarının vejetatif örtü ile kaplanması gerek bina gerekse kent düzeyinde iç ve dış çevresel koşulların beklenen duruma getirilmesinde etkili bir çözüm yolu olduğunu belirtmiştir. Luckett (2009), kentsel bir alanda binaların çatılarının %50-%60 kadar miktarı vejetatif örtü ile kaplandığında 12 °C'ye kadar bir sıcaklıkta düşüşün tecrübe edilebileceğini öngörmüştür. Luvall ve Holbo (1989), yeterince yeşil örtünün bulunmadığı kentsel alanlardaki sıcaklığın yaz aylarında 50 °C'ye çıktığı, buna karşın yeşil örtünün belirli bir düzeyde bulunduğu alanlarda ise sıcaklık değerinin 25 °C'de

kaldığını ifade etmişlerdir. Vejetatif örtünün bulunduğu alanlarda evapotranspirasyondan dolayı kullanılan enerjinin ısıya dönüşmesi engellenmektedir (Kınalı, 2013). Yeşil örtülü çatı uygulamalarında, bitkilerin gölgeleme ve bitki taşıyıcı katmanın ısı tutma özelliği ile hava sıcaklığının artmasına engel olunmaktadır (Ayçam & Kınalı, 2013). Şekil 12’de kentsel ısı adası etkisinin kırsal ve yerleşim alanlarına göre değişimini göstermektedir (Anonim, 2023b).



Şekil 12. Kentsel ısı adası etkisi değişimi

Kentsel alanlardaki hızlı nüfus artışı, vejetatif alanların ya da diğer bir ifade ile yeşil örtüyle kaplanmış doğal alanların insan kaynaklı tahribi ekosistem üzerindeki baskıyı artırmıştır. Doğal çevre üzerindeki bu aşırı ve bilinçsiz kullanma eğilimi sanayi devrimi ile başlamış ve günümüze devam edegelmiştir. Doğal çevrenin korunması bir alandaki bitki ve hayvan çeşitliliğinin ölçüsü olan biyoçeşitliliğin devamlılığı açısından önemlidir. Bu bakımdan ekolojik çevre ve insan için sürdürülebilir geleceğin sağlanması planlanan tasarımların doğal çevreye baskısı ile doğrudan ilişkilidir (Yeang, 2006). Bu açıdan bakıldığında vejetatif örtülü bina yüzeyleri gerek bitki gerekse hayvan çeşitliliğine katkı sağlamaktadır. Bu alanlar yeni habitatların oluşmasına imkan tanımaktadır (Ayçam & Kınalı 2013; Williams ve ark., 2014; Sihau, 2008).

Kentsel yaşam alanlarında hava kirliliği ve buna bağlı yaşanan çevre sağlığı, dünya genelinde yaşamı tehdit eden önemli bir sorun olarak güncelliğini korumaktadır. Bitkiler kirlenici maddelerin zararlı etkilerini azaltıcı filtreleme özelliğe sahiptirler. Özellikle kentlerdeki fosil yakıt tüketimlerinin fazla olmasıyla birlikte kentsel alan üzerindeki hava

tabakasında oluşan zararlı gazlar ve kirleticiler kırsal alanlardakine göre daha yoğundur. Bu sebeptendir ki kentsel alanlarda bina elemanlarının vejetatif örtüyle kaplanması, kent havasındaki kirleticilerin bitkiler tarafından tutularak sürdürülebilir bir kentsel yaşam ve çevre açısından gereklilik olmuştur. Diğer taraftan bitkiler doğal gelişim süreci boyunca gerçekleştirdikleri fotosentez ile karbondioksit kullanarak ortama oksijen salmaktadırlar. Böylece hem ortama havzasını temizlemekte hemde küresel ısınma etkisini azaltmaktadır (MacDonagh, 2005; Yüksel, 2013; Ngan, 2004). Yılmaz (2021), 150 metrekare bitki ile kaplı bir alandan bir kişinin günlük ihtiyacını karşılayacak kadar oksijen üretildiğini belirtmiştir. Ayrıca bitkilerin oksijen üretimi yanında insan sağlığını tehdit eden benzol, formaldehit, trikloretilen gibi havadaki kimyasalları filtre ettiğini, böylece daha sağlıklı hava ve temiz bir çevre oluşumuna katkıda sağladığını ifade etmiştir. Ngan (2004), de yeşil çatılar karbondioksit kullanmaları ve oksijen üretme yanında güneş enerjisini yansıtma kabiliyetleri ile klima kullanım ihtiyacını azaltarak, ortama sera gazı salınımının azalmasına öncülük ettiğini vurgulamıştır.

Kentsel alanlarda konforlu yaşamı etkileyen gürültü etkisi yeşil örtüyle kaplı bina elemanları tarafından azaltılmaktadır. Bu manada düşük frekanslı gürültüler toprak tarafından absorbe edilirken, daha yüksek frekanslı olan gürültüler bitki tarafından emilmektedir (Ayçam & Kınalı, 2013). Loh (2008, sert yüzeylerdeki sesin emilmesi amacıyla ses bariyeri ve estetik amaçlı olarak kentsel yaşam alanlarında ve yol kenarlarında kullanıldığını belirtmiştir. MacDonagh (2005), yeşil örtülü bina unsurlarının bina içine ulaşan sesi 40 desibelden daha fazla azalttığını bildirmiştir. Diğer taraftan Peck ve ark. (1999), yeşil örtüde kullanılan bitki sıklığının sesin iç mekana ulaşmasındaki bariyer etkisinin farklılaştığını açıklamıştır. Ayçam ve Kınalı (2013), Almanya’da yapılmış bir çalışmada 10 cm derinlikli bir yeşil örtülü unsurun 5 desibel civarında sesi azalttığı vurgulanmıştır.

Kentsel alanlardaki sert yüzeylerin fazlalığından dolayı düşen yağmurun önemli bir miktarı infiltrasyonun yeterince olamamasına bağlı olarak yüzey akışa geçer. Bunun bir sonucu olarak taşkın ve sel olayları meydana gelmektedir. Vejetatif örtülü çatılar infiltrasyon kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle sert zeminlerdekinden daha az yüzey akışın olmasına imkan tanımaktadır. 20-40 cm derinlikli bir yoğun yeşil çatı 10-15 cm su tutma kapasitesine sahiptir. Bu özellikleri ile yeşil çatılar yüzey akışı geciktirici etkiye

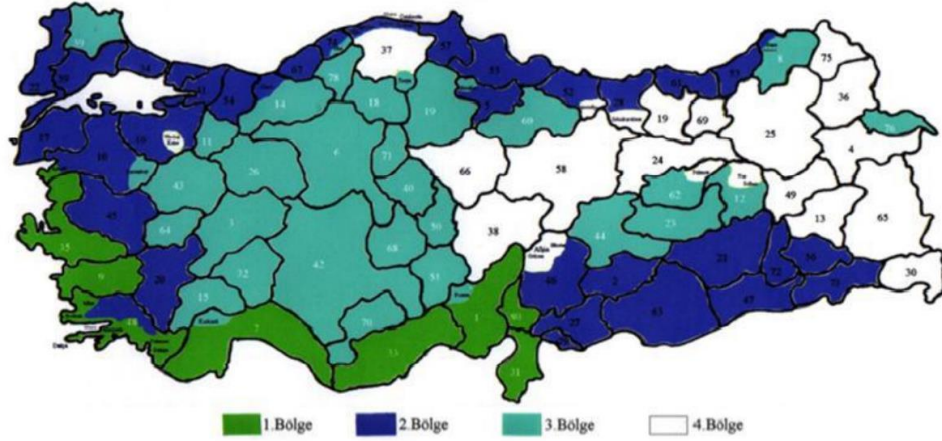
sahiptirler (Ayçam & Kınalı, 2013). Torres (2010), geçirimsiz yüzey miktarının çok fazla olduğu kentsel alanlarda yeşil çatı uygulamalarının yağmur suyunun kontrol altına alınmasında önemli rol oynayacağını açıklamıştır. Yeşil çatılar yağmur suyunu geciktirerek kentsel alanlardaki yağmur suyu tahliye sistemlerinin yükünün azaltılarak olası taşkın ve sel zararı hafifletilir (Scholz-Barth, 2001).

Vejetatif örtülü bina yüzeyleri, insanlara kentsel yapının stres ve huzursuz ortamından doğayla bütünleşik, dengeleyici ve rahatlatıcı bir çevreyle buluşma imkanını sağlarlar. Yeşil çatı uygulamaları insanlara dinlenme ve sosyal aktiviteler için yeni alanlar oluştururlar (Ayçam & Kınalı, 2013; MacDonagh, 2005). White ve Gatersleben (2011), bina yapı elemanlarının yeşil örtüyle kaplandığında, klasik binalardan daha fazla tercih edildiğini tespit etmiştir.

Yeşil çatıların geleneksel çatılara göre yukarıda özetlenen üstünlükleri yanında, ilk yatırım, bakım ve onarım maliyetlerinin yüksek olması, inşasında karşılaşın güçlükler, binaya sağladığı ek yükler ve kullanıcılar tarafından oluşan habitatın istenmemesi gibi olumsuz tarafları da bulunmaktadır (Vijayaraghavan, 2016).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada Türkiye’de farklı iklim karakteristiğine sahip Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri (1., 2., 3. ve 4. iklim bölgelerinde) illerinde geleneksel çatı sistemi ile aynı özellikli vejetatif örtülü çatıların ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanarak ve karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 13’de derece gün bölgeleri verilmiştir. Araştırmaya konu olan illerin genel özellikleri kısaca aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 13. Türkiye Derece Gün Bölgeleri

Mersin ili coğrafik olarak 36-37° kuzey enlemleri ve 33-35° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Mersin ili topografik yapısı itibariyle oldukça yüksek ve engebeli arazi yapısına sahiptir. Ovalık ve hafif eğimli alanlar ise bu dağların denize doğru uzandığı il merkezi, Tarsus, Silifke gibi alanlarda gelişmiştir. Bunun dışında kalan düzlük veya hafif eğimli alanlar, kuzeyde dağların arasında veya yüksek kesimlerinde görülmektedir. Mersin ve çevresinde, Akdeniz iklimi egemendir. Yaz ayları sıcak ve nemli, kış ayları ise yağışlı geçmektedir. Mersin'in uzun yıllar sıcaklık ortalama değeri yaklaşık olarak 22 °C'dir. İlde en fazla yağış Aralık ve Ocak aylarında tecrübe edilmiştir. Yaz aylarında ortalama sıcaklık 28 °C ve nem ise %88 civarındadır. Dolayısı ile bu miktarlardan dolayı yaz ayları bunaltıcı bir özelliğe sahiptir. Kış ayları sıcaklık ortalaması 14 °C. Yıllık ortalama yağış miktarı 583.1 mm'dir (Anonim, 2011).

Ordu ilinin coğrafik konumu 40°18'-41°08' kuzey enlemleri ve 36°52'-38°12' doğu boylamları arasındadır. Topografik olarak dağlık bir karaktere sahip olan ilin, sahil kesiminde daha çok düz arazilere sahiptir. Ayrıca Mesudiye ve Akkuş ilçelerinde küçük düz araziler mevcuttur. Ordu ilinde Karadeniz iklimi hakimdir. Kışın serin yazın ise ılıktır. Yağış yılın tüm aylarında görülmektedir. Yağış Sonbahar aylarında daha fazla meydana gelmektedir. İlde Ocak-Şubat en soğuk aylardır. Bu aylarda sıcaklık -7 °C'ye kadar düşmektedir. Ordu'da en sıcak aylar ise Temmuz-Ağustos'tur. İlin ortalama sıcaklığı ve nispi nemi 13,9 °C ve %73'tür. Yıllık ortalama yağış sahil kesiminde 1103 mm civarındadır (Anonim, 2002).

Ankara ili coğrafik olarak 38°00'-41°00' kuzey enlemleri, 30°75'-34°00' doğu boylamları arasındadır. Toplam yüzölçümü 25706 km² dir. İlde karasal iklim hakimdir. Denizden ortalama yükseltisi 890 m olan ilin yıllık ortalama yağış, nisbi nem, sıcaklık ve rüzgar hızı sırasıyla 395.2 mm, % 62.25, 11.8 °C ve 1.92 mm/s dir (Anonim, 2007).

Kayseri ili 37°45'-38°18' kuzey enlemleri, 34°56'-36°58' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İl merkezinin denizden yüksekliği 1054 metredir. Kayseri ilinde orta Anadolu karasal iklim özelliği hakimdir. Yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ise soğuk ve kar yağışlıdır. İlin ortalama sıcaklığı, 10.6 °C, ve ilde tecrübe edilen en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri ise 40.7 °C ve -32.6 °C'dir. Ortalama nisbi nem ise %64'dür (Özaslan & Şeftalici, 2002).

Çalışmanın amacı bağlamında geleneksel çatı sistemine göre aynı özellikli vejetatif örtülü çatıların ısıtma ve soğutma yüklerine olumlu katkısının ortaya çıkarılması açısından düz çatılı tek katlı konut tipi model bina yapısı dikkate alınmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre en çok kullanımdaki yapı uygulama tipinin konut olduğu belirtilmiştir (Anonim, 2023c). Çatı yüzey alanının ısıtma ve soğutma performanslarına etkisinin araştırılmak amacıyla, çalışma için 100 m² yüzey alanına sahip çatılar dikkate alınmıştır. Diğer taraftan yukarıda bahsedilen çatı yüzey alanına sahip model binalara fazla yük getirmeyecek seyrek yeşil çatı uygulamaları bağlamında 5, 10 ve 15 cm toprak kalınlığı göz önüne alınarak ısıtma ve soğutma performansı üzerindeki etki araştırılmıştır. Araştırmaya konu olan konutlarda dört kişinin ikamet ettiği varsayılmıştır. Ayrık olarak inşa edilecek model binalarda iç mekan duvarlar ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplamasında dikkate alınmamıştır. Model binalar tek hacimli bir bina olarak düşünülmüştür. Yeşil çatıların enerji performansına katkısının etkisinin ortaya konmasında dış ortamdan doğrudan etkileşimli yapı elemanları göz önünde tutulmuştur.

100 metrekare alana sahip (10 m x 10 m) konut binasının modeli Şekil 14'de, yapı elemanlarına ait kesit detayları da Şekil 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 de verilmiştir. Konut binalarının, Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerindeki konumlandırılması, geleneksel ve yeşil çatı uygulamalarında enerji performanslarının farklı iklim karakteristiklerine sahip illerdeki karşılaştırmasının doğru olarak yapılması amacıyla aynı olacak şekilde düşünülmüştür. Her binanın kat yüksekliği döşeme katmanı dahil edilerek üç metre olarak tasarlanmıştır. Farklı alana sahip düz çatı tipine sahip tasarlanan konut binalarının bileşen

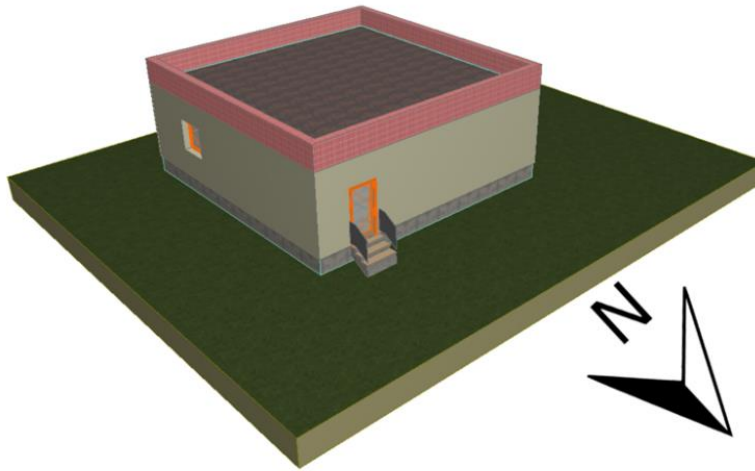
detayları Çizelge 1’de verilmiştir. Çalışmada göz önüne alınan iller bazında her yapı elemanı için seçilen ısı yalıtım malzemesi (extrude polistren köpük, XPS) kalınlıkları Çizelge 2’de verilmiştir. XPS kalınlıkları belirlenirken “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” çerçevesinde önerilen yapı elemanlarının maksimum ısı geçirgenlik katsayıları ve iller bazında asgari miktarları belirtilen (Anonim, 2023d) XPS kalınlıkları göz önünde tutulmuştur.

Çalışmada yapı elemanlarına (dış duvar, geleneksel düz çatı, vejetatif örtülü düz çatı ve zemin döşemesi) ait toplam ısı geçirgenlik katsayıları (U , $W/ W/m^2.K$) Çizelge 1.’de verilenlere göre aşağıdaki verilen formüllerden hesaplanmıştır (Kürekçi ve ark., 2012).

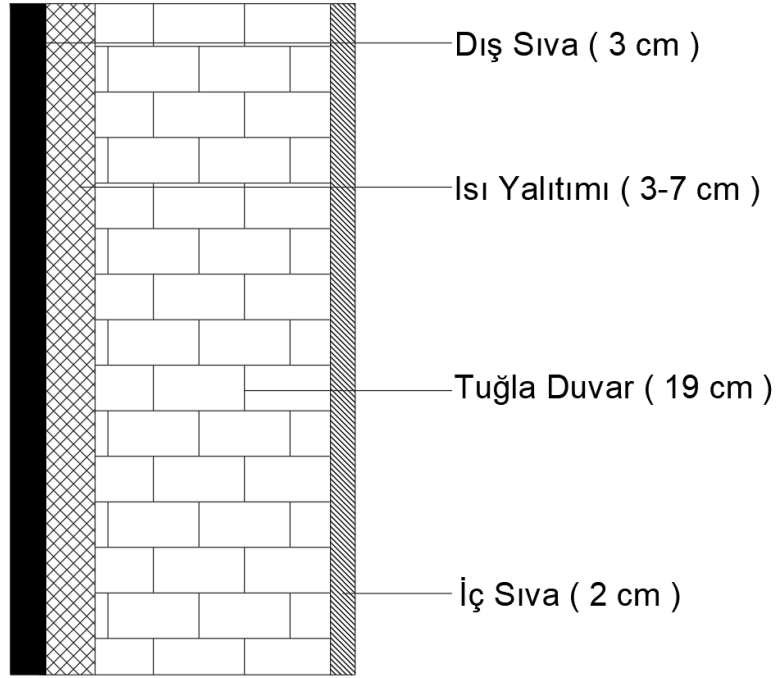
$$U = \frac{1}{R} \quad (1)$$

$$R = f_i + \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} + \dots + \frac{d_n}{k_n} + f_d \quad (2)$$

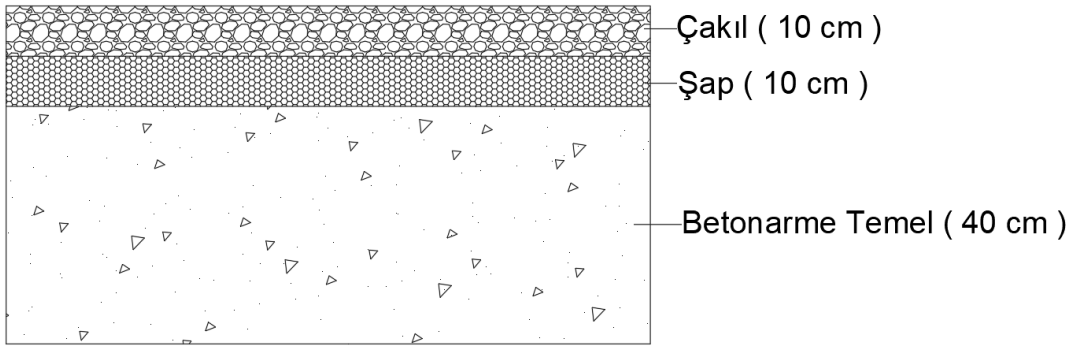
Eşitliklerde, R ; yapı elemanın ısı iletim direnci, f_i ve f_d ($m^2.K/W$); yapı elemanının iç ve dış yüzey ısı transfer direncini, d_1 , d_2 , d_3 , ..., d_n ; yapı elemanının oluşturan “ n ” adet malzemenin (katmanların) kalınlıkları, k_1 , k_2 , k_3 , ..., k_n ; “ n ” adet malzemenin ısı iletim katsayılarıdır. Eşitlik 2’deki f_i değerleri dış duvar, çatı ve zemin döşemesi için sırasıyla 0.13, 0.13 ve 0.17, aynı yapı elemanlarına ait f_d değerleri ise sırasıyla 0.04, 0.04 ve 0.04 olarak alınmıştır (Geliş & Yeşildal, 2020).



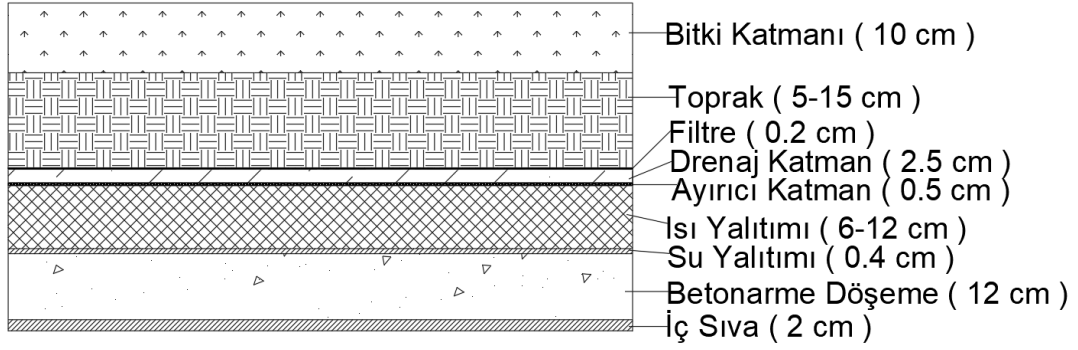
Şekil 14. Model Binanın 3D Görünümü



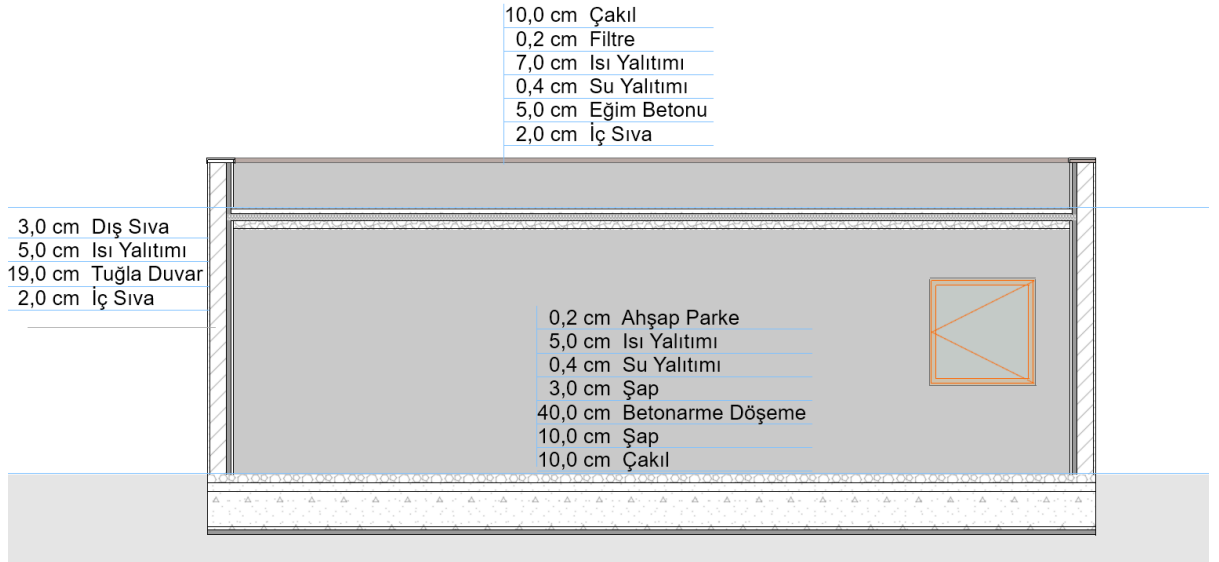
Şekil 15. Model Bina Duvar Kesiti



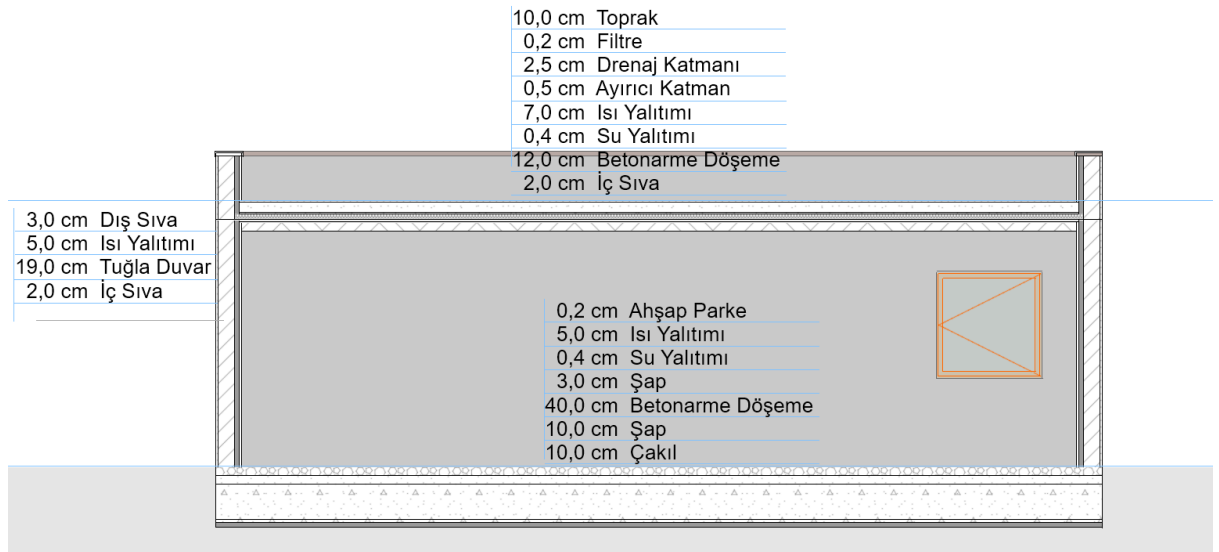
Şekil 16. Model Bina Temel Kesiti



Şekil 17. Model Bina Yeşil Çatı Kesiti



Şekil 18. Geleneksel Çatı Kesit Detayı



Şekil 19. Vejetatif Çatı Kesit Detayı

Çalışma alanı olarak seçilen ve derece gün bölgeleri olarak I., II. III. ve IV. Bölgelerde bulunan Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri için yapı elemanlarına ait maksimum ısı geçirgenlik katsayıları (U_{mak} , $W/m^2.K$) aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Anonim, 2009). Yapı elemanlarına ait U_{mak} değerleri, Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak dış duvar, geleneksel düz çatı, vejetatif örtülü düz çatı ve zemin döşemesi için elde edilen toplam ısı iletkenlik değerleri kritik üst değer olarak göz önüne alınmıştır. Çalışmada hesaplanan toplam ısı iletkenlik katsayı değerlerinin U_{mak} değerlerinden daha küçük olmasına dikkat edilmiştir.



Çizelge 1. Konut Binalarına ait bileşen detayları

Yapı Elemanı	Malzeme	Kalınlık	Isı İletkenlik Değeri, W/m.K
Dış Duvar	Dış Sıva	3	0.72
	Su Yalıtımı	0.4	0.15
	Isı Yalıtımı	4, 5, 6,7	0.034
	Tuğla Duvar	19	0.84
	İç Sıva	2	0.40
Geleneksel Çatı	Çakıl	10	0.36
	Filtre	0.2	0.10
	Isı Yalıtımı	6, 7, 10, 12	0.034
	Su Yalıtımı	0.4	0.15
	Eğim Betonu	5	1.13
	Betonarme Döşeme	12	2.50
	İç Sıva	2	0.40
Vejetatif Örtülü Çatı	Bitki	10	1.00
	Toprak (Substrat)	5, 10, 15	1.28
	Filtre	0.2	0.10
	Drenaj Katmanı	2.5	0.17
	Ayırıcı Katman	0.5	0.05
	Isı Yalıtımı	6, 7, 10, 12	0.034
	Su Yalıtımı	0.4	0.15
	Betonarme Döşeme	12	2.50
	İç Sıva	2	0.40
Zemin Döşeme	Ahşap Parke	0.2	0.14
	Isı Yalıtımı	4, 5,6, 6	0.034
	Su Yalıtımı	0.4	0.15
	Şap	3	0.16
	Betonarme Temel	40	2.5
	Şap	10	0.16
	Çakıl	10	1.30

Çizelge 2. Yapı elemanları için seçilen yalıtım kalınlıkları (cm)

Bölge	Modellemede Kullanılan İller	XPS Kalınlıkları		
		Duvar	Çatı	Döşeme
I.	Mersin	4	6	4
II.	Ordu	5	7	5
III.	Ankara	6	10	6
IV.	Kayseri	7	12	6

Çizelge 3. Yapı Elemanlarının Maksimum Isı Geçirgenlik Katsayıları (U_{mak})

Bölge	$U_{Duv.}$ (W/m ² .K)	$U_{Tav.}$ (W/m ² .K)	$U_{Döş.}$ (W/m ² .K)
I.	0.70	0.45	0.70
II.	0.60	0.40	0.60
III.	0.50	0.30	0.45
IV.	0.40	0.25	0.40
$U_{Duv.}$, dış duvarın maksimum ısı geçirgenlik katsayısı $U_{Tav.}$, tavanın maksimum ısı geçirgenlik katsayısı $U_{Döş.}$, zemine oturan döşemenin maksimum ısı geçirgenlik katsayısı			

Araştırma hedefleri doğrultusunda 100 metrekare yüzey alanına sahip geleneksel çatı uygulamaları ile yeşil çatı uygulamalarının (5, 10 ve 15 cm toprak katmanı) ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması ve karşılaştırılması amacıyla ısıtma yükünün hesaplanmasında TSE 825’de açıklanan yöntem kullanılırken, soğutma yükünün hesaplanmasında Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkı (CLTD) yaklaşımı kullanılmıştır (Anonim, 2009; Erkmen, 2005).

4.1. Isıtma yükü

TSE 825’e göre tek hacimli ayrık bir bina modelinin yıllık ısıtma yükünün hesaplanması iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları ile iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançlarına bağlı olarak yapılmaktadır. TSE 825 hesap yaklaşımına göre bir binanın yıllık maksimum ısıtma enerjisi miktarı, $A_{top}/V_{brüt}$ oranına bağlı olarak 1., 2.,

3. ve 4. iklim bölgeleri için ısıtılacak bina hacmi ($V_{brüt}$) ve binanın kullanım alanına (A_n) bağlı olarak aşağıda verilen çizelgeden belirlenmektedir. Çizelgede verilen değerler oda yüksekliği 2.60 metre ve daha küçük olduğu binalar için kullanılmaktadır (Anonim, 2009). TSE 825 hesap yaklaşımına göre hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi miktarı, bu çizelgeden elde edilecek yıllık ısıtma enerjisi miktarından küçük olmalıdır. Bu çalışmada model binaların oda yükseklikleri 2,60 metreden daha azdır.

Çizelge 4. En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri

Bölge		$A/V < 0.2$	$A/V > 1.05$	
I.	A_n ile ilişkili $Q'_{1,DG}$	19.2	56.7	KWh/m ² , yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1,DG}$	6.2	18.2	KWh/m ³ , yıl
II.	A_n ile ilişkili $Q'_{2,DG}$	38.4	97.9	KWh/m ² , yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2,DG}$	12.3	31.3	KWh/m ³ , yıl
III.	A_n ile ilişkili $Q'_{3,DG}$	51.7	116.5	KWh/m ² , yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3,DG}$	16.6	37.3	KWh/m ³ , yıl
IV.	A_n ile ilişkili $Q'_{4,DG}$	67.3	137.6	KWh/m ² , yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4,DG}$	21.6	44.1	KWh/m ³ , yıl

Binanın yıllık maksimum ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenirken derece gün bölgelerine göre aşağıdaki çizelgede verilen denklemlerden yararlanılmaktadır (Anonim, 2009).

Çizelge 5. Maksimum ısıtma enerji ihtiyacının belirlenmesi

Bölge	İlişki
I.	A_n ile ilişkili, $Q = 44.1(A/V) + 10.4$ (kWh/m ² , yıl)
	$V_{brüt}$ ile ilişkili, $Q = 14.1(A/V) + 3.4$ (kWh/m ³ , yıl)
II.	A_n ile ilişkili, $Q = 70(A/V) + 24.4$ (kWh/m ² , yıl)
	$V_{brüt}$ ile ilişkili, $Q = 22.4(A/V) + 7.8$ (kWh/m ³ , yıl)
III.	A_n ile ilişkili, $Q = 76.3(A/V) + 36.4$ (kWh/m ² , yıl)
	$V_{brüt}$ ile ilişkili, $Q = 24.4(A/V) + 11.7$ (kWh/m ³ , yıl)
IV.	A_n ile ilişkili, $Q = 82.8(A/V) + 50.7$ (kWh/m ² , yıl)
	$V_{brüt}$ ile ilişkili, $Q = 26.5(A/V) + 16.3$ (kWh/m ³ , yıl)

Bir binanın tasarım aşamasında TSE 825’de açıklanan hesaplama yöntemine göre tahmin edilen yıllık ısıtma enerji miktarı Çizelge 5’e göre hesaplanacak maksimum ısıtma enerjisi miktarından daha yüksek olmaması sağlanmalıdır. TSE 825’e göre hesaplanacak yıllık ısıtma enerji miktarı aşağıda açıklandığı şekilde saptanmaktadır. Öncelikle iletim, taşınım (H_i , W/K) ve havalandırma (H_h , W/K) yoluyla oluşan binanın özgül ısı kaybı (H) belirlenir.

$$H = H_i + H_h \quad (3)$$

İletim yoluyla oluşan ısı kaybı eşitlik 4 ile belirlenir;

$$H_i = \sum AU + (I \times U_l) \quad (4)$$

Eşitlikte “ I ” ısı köprüsünü, “ U_l ” ısı köprüsünün ısı geçiş katsayısını ifade etmektedir. Çalışmada tasarlanan model binalarda ısı köprüsünün oluşmadığı varsayılmıştır. Bu nedenle Eşitlik 3’teki ($I \times U_l$) değeri hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. Sezer ve Yeşilyurt (2011), binaların yapı iskeletindeki betonarme kolon ve kirişlerin yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğunu, bundan dolayı bu elemanlar ile ısıнын soğuk tarafa daha fazla iletildiğini, ısı dengenin korunmadığı bu yapıların ısı köprüsü olarak adlandırıldığını belirtmişlerdir. Eşitlikteki “ $\sum AU$ ” model binadan kaybolan toplam ısı miktarıdır ve aşağıda verilen ilişki ile belirlenmektedir.

$$\sum AU = A_D U_D + A_P U_P + A_k U_k + 0.8 A_T U_T + 0.5 A_t U_t + A_d U_d + 0.5 A_{ds} U_{ds} \quad (4)$$

A_D , A_P , A_k , A_T , A_t , A_d ve A_{ds} , sırasıyla dış duvar, pencere, dış kapı, tavan, zemine oturan tabanın/döşemenin, dış hava ile temas eden tabanın ve düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının metrekare olarak alanlarını ifade etmektedir. Eşitlik 4’te “ U_D , U_P , U_k , U_T , U_t , U_d ve U_{ds} ” ısıнын kaybolduğu yüzeylerin ısı geçirgenlik katsayısını (W/m²K) belirtmektedir. Eşitlikteki 0.8 katsayısının, çatı döşemesinin doğrudan dış hava ile temas ettiği durumlarda 1.0 olarak alınmaktadır. Model binasının vejetatif örtüyle kaplı olmadığı, yani düz çatı durumunda bu katsayı bir olarak alınacaktır.

Model binalarda havalandırma yoluyla olan ısı kaybının, doğal havalandırma ile gerçekleşeceği varsayılmıştır. Doğal havalandırma ile oluşan ısı kaybı aşağıda verilen ilişki ile tahmin edilmektedir.

$$H_h = \rho \cdot c \cdot V = \rho \cdot c \cdot n_h \cdot V_h = 0.33 n_h \cdot V_h \quad (5)$$

Eşitlik 5’te, “ ρ ” havanın birim hacim kütlesi (kg/m^3), “ c ” havanın özgül ısısı (J/kgK), “ V ” hacimce hava değişim debisi (m^3/h), “ n_h ” hava değişim oranı (h^{-1}), “ $V_h = 0.8V_{brüt}$ ” havalandırılan hacim (m^3). Havanın birim hacim kütlesi ve havanın özgül ısısı sıcaklık ve basınca göre az olarak değişmesine rağmen, bu iki parametrenin çarpımı 20°C ve 100 kPa için $0.33\text{ Wh/m}^3\text{K}$ olarak alınmıştır. Doğal havalandırmanın yapıldığı durumlarda “ n_h ” $0.8\text{ (h}^{-1}\text{)}$ olarak alınmaktadır. Bu çalışmada doğal havalandırma ile oluşan ısı kaybı ($H_h = 0.33 \times 0.64 \times V_{brüt}$) ilişki ile hesaplanmıştır.

Binalarda iletim ve havalandırma yoluyla oluşan ısı kayıpları yanında, insan kaynaklı metabolik ısı kazancı, sıcak su sistemlerinden kaynaklanan ısı kazancı, yemek pişirme faaliyetinden dolayı oluşan ısı kazancı, aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazancı ve binalarda kullanılan çeşitli elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları olmaktadır. Konutlarda, okullarda ve benzeri yapılarda birim alan başına ısı kazancı (iç ısı) maksimum olarak 5 W/m^2 kabul edilmiştir. Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı binalarda aylık ısı kazancı “ $\Phi_i \leq 5A_n$ ” ilişkisi ile belirlenmektedir. Bu ilişkideki binanın kullanım alanı (A_n), binanın brüt hacminin ($V_{brüt}$) %32’sine karşılık gelmektedir.

Binalar güneş enerjisi ile ısı kazanmaktadır. Bu kazanç pencerelerden sağlanan güneş ışıınının hesaplanması ile belirlenmektedir. Aylık ortalama güneş enerji ile ısı kazanımı aşağıda verilen ilişki ile hesaplanmaktadır.

$$\Phi_s = \sum r_i \times g_i \times I_i \times A_i \quad (6)$$

Eşitlikte, “ r_i ”, “ i ” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü; “ g_i ”, “ i ” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü; “ I_i ”, “ i ” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıını şiddeti (W/m^2); “ A_i ”, “ i ” yönündeki toplam

pencere alanı (m²). Model bina ayırık ve tek katlı tasarlandığı için “ r_i ” değeri 0.8 alınmıştır. Güneş enerjisi geçirme faktörü, $g_i = F_w \times g_{\perp}$ ilişkisinden saptanmaktadır. İlişkideki “ F_w ” camlar için düzeltme faktörüdür ve 0.8’e eşittir. Aynı ilişkide laboratuvar koşullarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü “ $g_{\perp}$ ”, bu çalışmada renksiz yalıtım camı için 0.75 alınmıştır. Eşitlik 6’daki ortalama güneş ışınlamı şiddeti “ I_i ” bütün derece gün bölgeleri için ilgili çizelgeden alınır (Anonim, 2009).

Toplam ısı kazancı, ϕ_T , iç ısı kazancı (ϕ_i) ve güneş enerjisi kazancı (ϕ_s) toplamına eşit olmaktadır. Ancak bu toplam kazanç enerjisi her zaman ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmediği belirtilmiştir. Çünkü toplam kazancın yüksek olduğu dönemlerde kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilmekte veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda oluşabilmektedir. İç ortam sıcaklık kontrol sisteminin yeterli olmaması nedeniyle yapı elemanları bir miktar ısıyı bünyelerinde depolamaktadır. Bu nedenle toplam kazanç miktarı bir yararlanma faktörü (η) ile azaltılmaktadır. Aylık olarak yararlanma (kazanç kullanım) faktörü aşağıdaki ilişkiden elde edilir (Anonim, 2009).

$$\eta = 1 - e^{(-1/KKO)} \quad (7)$$

İlişkideki KKO, bina için kazanılan ısı enerjisinin kaybedilen ısı enerjisine oranıdır ve aşağıda verildiği şekilde hesaplanır.

$$KKO = \frac{\phi_T}{H(T_i - T_d)} \quad (8)$$

Eşitlik 8’deki T_i ve T_d , bina iç ve dış ortam sıcaklığıdır. Sıcaklık değerleri ilgili çizelgeden alınmaktadır (Anonim, 2009). KKO değerinin 2.5 ve üzeri olduğu aylarda ısı kaybı olmadığı kabul edilmektedir.

Model bina için aylık ısıtma ihtiyacı “ Q_c ” (joule/ay), TSE 825’e göre aşağıdaki ilişkiden hesaplanmaktadır. İlişkide “ t ” zaman, saniye olarak bir ay için 86400x30. “ Q_c ” değerinin

negatif olduğu aylar, yıllık ısıtma enerji ihtiyacının belirlenmesinde dikkate alınmamaktadır.

$$Q_c = [H(T_i - T_d) - \eta\phi_T].t \quad (9)$$

4.2. Soğutma Yüğü

Çalışmada model binanın geleneksel çatı ve vejetatif örtü ile kaplı olduğu durumda soğutma yüklerini, diğer bir ifadeyle yeşil örtülü çatı sistemlerinin soğutma yüküne katkısının ortaya konulması amacıyla ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers) tarafından önerilen “Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkı (CLTD)” yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntemle göre soğutma yükünün hesaplanması aşağıda açıklandığı şekilde açıklanmıştır (ASHRAE, 1997) . Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü (<https://www.mgm.gov.tr>) adresinden Mersin (1940-2023), Ordu (1959-2023), Ankara (1927-2023) ve Kayseri (1931-2023) illerinin uzun yıllar sıcaklık ortalama değerleri incelenerek en sıcak aylar, Ağustos (28.4 °C), Ağustos (23.5 °C), Ağustos (23.5 °C) ve Temmuz (22.3 °C) seçilmiştir. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri istasyonlarının belirtilen gözlem süresinde Ağustos ve Temmuz aylarında ölçülen maksimum ve minimum sıcaklık ortalama değerleri de sırasıyla 31.6-24.4, 27.4-20.1, 30.5-16.1 ve 30.7-12.1 °C olmuştur. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinin 1970-2022 yılları ortalama bağıl nem miktarları yaklaşık olarak sırasıyla, %67, %75, %61 ve %63’dür. Ayrık bina olarak tasarlanan model binanın iç mekan bölümlerini ayıran duvarlar ısıtma yükü hesabında dikkate alınmadığından, model binanın soğutma yükü hesaplanırken de bu yapı elemanları dikkate alınmamış, bina tek bir bölüm olarak düşünülmüştür. Dolayısı ile dış ortam ile temas eden bina elemanları soğutma yükünün hesaplanmasında dikkate alınmıştır.

CLTD yaklaşımıyla soğutma yükü hesaplanırken, yapı bileşenlerinden (duvarlar, döşemeler, tavanlar), pencerelerden, sızma ve havalandırmadan, insan ve cihazlardan sağlanan ısı kazançlarının oluşturduğu toplam duyulur soğutma yükü belirlenmektedir (Genceli, 1998; Altıparmak, 1999). Ayrıca, soğutma yükünün gizli ısı ile ilişkili kısmı da belirlenir. Gizli ısı kazancı havadaki su buharının yoğunlaşması sonucu ortaya verilen

ısıdır. Duyulur soğutma yükünün gizli ısı yükü çarpanıyla düzeltilmesi, toplam soğutma yükünü belirtmektedir

Yapı bileşenlerinden dolayı oluşan ısı kazancına karşılık gelen soğutma yükü;

$$q_{bc} = U \cdot A_1 \cdot CLTD \quad (10)$$

Eşitlikte, U (W/m^2K), ilgili yapı elemanının ısı geçirgenlik katsayısı; A_1 (m^2), yapı elemanının alanı; $CLTD$ ($^{\circ}C$), soğutma yükü sıcaklık değeridir değeri. $CLTD$ değeri, günlük sıcaklık farkına göre hazırlanmış çizelgeden alınmaktadır (ASHRAE, 1997) .

Pencerelerden oluşan ısı kazancına karşılık gelen soğutma yükü;

$$q_w = (GLF) \cdot A_2 \quad (11)$$

Eşitlikte, GLF (W/m^2), pencere yük faktörü; A_2 (m^2) yapı elemanının alanı. Pencere yük faktörü değeri, pencere yönü, dış ortam sıcaklığı ve pencere özelliğine (tek veya çift cam) göre hazırlanmış çizelgeden alınmaktadır (ASHRAE, 1997) .

Sızma ve havalandırmadan oluşan ısı kazancına karşılık olan soğutma yükü;

$$q_{iv} = 1,23 \cdot Q \cdot \Delta_t \quad (12)$$

Eşitlikte Δ_t ($^{\circ}C$), iç ve dış ortam sıcaklık farkı; Q (L/s), hacimsel hava debisi aşağıdaki ilişkiden saptanmaktadır.

$$Q = ACH \cdot V \cdot 1000/3600 \quad (13)$$

Eşitlik 13'teki ACH ($1/h$), bir saatteki hava değişimidir. ACH değeri bu amaç için hazırlanmış çizelgeden alınmaktadır (ASHRAE, 1997) . İlişkideki V (m^3), odanın hacmini vermektedir. Bu çalışmada iç mekandaki duvarlar dikkate alınmadığından,

model binanın iç mekanı tek oda şeklinde düşünülmüş ve binanın tamamının soğutulacağı öngörülmüştür.

İnsanlardan sağlanan ısı kazancına karşılık gelen soğutma yükü kişi başına “ q_p ” genellikle 67 W alınmaktadır. Diğer taraftan cihazlardan sağlanan ısı yüküne karşılık gelen soğutma yükü “ q_d ” 470 W alınmaktadır. Duyulur soğutma yükü “ q ” aşağıdaki toplam ile edilir.

$$q = q_{bc} + q_w + q_{iv} + q_p + q_d \quad (14)$$

Duyulur soğutma yükü (q) değeri gizli ısı yükü çarpanıyla düzeltilerek toplam soğutma yükü hesaplanmaktadır. Bu amaçla öncelikle model binanın bulunduğu illerin dış hava sıcaklığı (çalışmada uzun yıllar maksimum sıcaklık ortalaması kullanıldı) ve dış ortam bağıl nem değeri (çalışmada uzun yıllar ortalama bağıl nem değeri kullanıldı) dikkate alınarak psikrometrik diyagramdan mutlak nem değeri saptanır. Çalışmada model bina iç ortam sıcaklığı 24 °C ve bağıl nem % 50 kabul edildi. Bu bilgiler ile Genceli (1998), verilen grafikten gizli ısı yükü çarpanı (LF) belirlenmektedir. Toplam soğutma yükü aşağıdaki ilişkiden hesaplanmaktadır.

$$q_{top} = LF. q \quad (15)$$

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırma alanı olan Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinde 100 metrekare alana sahip konut binalarının yapı elemanları için hesaplanan toplan ısı iletim katsayı değerleri Çizelge 6’te verildiği gibidir. Çizelgenin incelenmesinden anlaşılabacağı üzere hesaplanan ısı iletkenlik değerleri Çizelge 3’te Türkiye derece gün bölgeleri için önerilen maksimum ısı geçirgenlik katsayılarından daha küçük olmuştur.

Çizelge 6. İller için Hesaplanan Isı Geçirgenlik Katsayıları, (U, W/m².K)

Araştırma İlleri	Duvar	Normal Çatı (Ç _G)	Vejetatif Örtülü Çatı (ÇVÖ ₅ [*])	Vejetatif Örtülü Çatı (ÇVÖ ₁₀ ^{**})	Vejetatif Örtülü Çatı (ÇVÖ ₁₅ ^{***})	Zemin Döşemesi
Mersin	0.59	0.42	0.41	0.40	0.39	0.40
Ordu	0.50	0.37	0.36	0.36	0.35	0.36
Ankara	0.44	0.28	0.27	0.27	0.27	0.33
Kayseri	0.39	0.24	0.24	0.23	0.23	0.33
* 5 cm toprak (substrat)						
** 10 cm toprak (substrat)						
*** 15 cm toprak (substrat)						

Her dört il için tasarlanan konut binalarının ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplaması yapılırken tuğla duvarla aynı doğrultuda olan zemin ve çatı betonarme yüzeylerde hesaplamaya dahil edilmiştir. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinin tuğla duvarla aynı doğrultuda zemin betonarme yüzeyin (ZBY) ısı iletkenlik hesabında, Çizelge 1’de zemin döşemesi kısmında verilen bileşen detaylarından ahşap parke çıkarılmış yerine dış sıva dahil edilerek ısı geçirgenlik katsayıları Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinin tuğla duvarla aynı doğrultudaki zemin betonarme yüzeyin ısı iletkenlik katsayıları sırasıyla 0.399, 0.357, 0.323 ve 0.323 W/m².K olarak hesaplanmıştır. Duvar ile aynı doğrultudaki çatı betonarme yüzeyin (ÇBY) ısı iletkenlik katsayısı hesaplanırken, Çizelge 1’de çatı döşemesi kısmında verilen bileşen detaylarından ısı yalıtımı, su yalıtımı, betonarme döşeme ve dış sıva hesaplamada dikkate alınmıştır. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinin tuğla duvar doğrultusundaki

betonarme yüzeyin ısı iletkenlik katsayıları sırasıyla, 0.488, 0.426, 0.310 ve 0.262 W/m².K olarak hesaplanmıştır.

Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri için tasarlanan model binaların yıllık ısıtma enerjisi miktarını belirlemek için ilk olarak TSE 825'e göre iletim, taşınım (H_i , W/K) ve havalandırma (H_h , W/K) yoluyla binalardaki özgül ısı kaybı ($H = H_i + H_h$) belirlemiştir. Hesaplamaya örnek olması açısından Mersin ili için geleneksel çatı uygulamasında iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla ısı kaybı aşağıdaki çizelgelerde özetlenmiştir. Binada mekanik havalandırma olmadığından, hesaplamalar doğal havalandırmaya göre yapılmıştır.

Çizelge 7. Mersin ili iletim, taşınım yoluyla oluşan ısı kaybı (H_i , W/K)

Isı kaybeden Yüzey	U (W/m ² .K)	Alan (m ²)	Isı Kaybı, (W/ K)
Duvar	0.59	86.72	51.16
ÇBY	0.42	13.44	5.64
ZBY	0.40	26.96	10.78
Tavan	0.42	100	42
Zemin Döşeme	0.40	100	20
Dış Kapı	4.00	2	8
Pencere	2.40	4.32	10.37
TOPLAM (iletim, taşınım yoluyla oluşan ısı kaybı)			147.96
ÇBY, ZBY; Çatı ve Zemin betonarme yüzey			

Çizelge 8. Mersin ili havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybı (H_h , W/K)

Model Bina				n _h	Doğal Havalandırma ile ısı kaybı
En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	Hacim V _{brüt}	0.8	$(H_h = 0.33 \times 0.64 \times V_{brüt})$ $H_h = 0.33 \times 0.64 \times 300$ $= \mathbf{63.36 \text{ W/K}}$
10	10	3	300		
n _h ; Hava değişim oranı					

Mersin ili için geleneksel çatı uygulamasında özgül ısı kaybı (H), 147.96 ve 63.36 toplamı olan **211.32 W/K** olmuştur.

Binalarda, insan kaynaklı metabolik ısı kazancı, sıcak su sistemlerinden kaynaklanan ısı kazancı, yemek pişirme faaliyetinden dolayı oluşan ısı kazancı, aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazancı ve binalarda kullanılan çeşitli elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları iç ısı kazancı olarak belirtilmektedir. Binalar iç ısı kazancına ilaveten güneş enerjisi ile de ısı kazancı sağlamaktadır. Model bina konut olarak kullanılacağından birim alan başına iç ısı kazancı, çalışmada 5 W/m^2 alınmıştır. Bina brüt hacminin ($V_{\text{brüt}}$) %32'sine karşılık gelen bina kullanım alanı A_n ($0.32 \times 300 = 96 \text{ m}^2$) ile birim alan başına iç ısı kazancı çarpılarak model bina için aylık iç ısı kazancı (ϕ_i), $5 \times 96 = \mathbf{480 \text{ W}}$ olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisi ile model binanın kazandığı aylık (örnek olarak ocak ayı alınmıştır) ısı kazancı ve bina ocak ayı toplam ısı kazancı aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 9. Mersin ili ocak ayı model bina toplam ısı kazancı (ϕ_T)

İç Isı Kazancı (W), (ϕ_i)	Güneş Enerjisi Isı kazancı (W), (ϕ_s)								
	r_i^*	$g_i = F_w \times g_{\perp}$		I_i^+			$A_i \text{ (m}^2\text{)}$		
		F_w	$g_{\perp}^{**}$						
480		0.8	0.75	Güney	Doğu	Batı	Güney	Doğu	Batı
	0.8	0.6		72	43	43	1.44	1.44	1.44
	Güney			Doğu			Batı		
	0.8x0.6x72x1.44			0.8x0.6x43x1.44 =			0.8x0.6x43x1.44 =		
	=			29.72			29.72		
	49.77								
$\phi_s = 49.77 + 29.72 + 29.72 = 109.21$									
$\phi_T = 480 + 109.21 = 589.21$									
*model bina ayırık ve tek katlı tasarlandı. Anonim (2009)’da Çizelge 5.									
** çalışmada renksiz yalıtım cam kullanıldı. Anonim (2009)’da Çizelge 6.									
+Anonim E (2009)’da Ek C tablosundan alındı.									

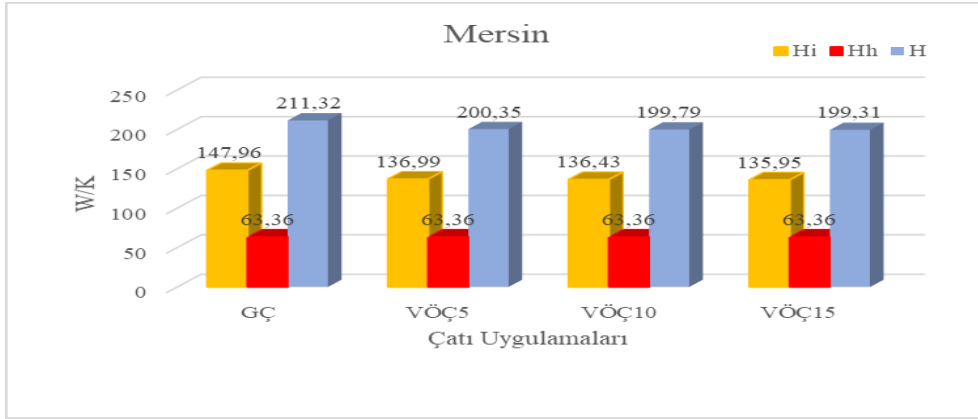
Mersin ili geleneksel çatı uygulamasında yıllık ısıtma enerji yükü Çizelge 10'da hesaplanmıştır. Çizelgede 10'da T_d ile gösterilen dış sıcaklık değerleri Anonim (2009)'da

farklı derece gün bölgeleri için hazırlanmış tablodan alınmıştır. Aynı çizelgede T_i ile gösterilen iç sıcaklık değeri çalışmada, Anonim (2009)'da EK B B.1 tablosuna göre, 19 °C seçilmiştir. Model bina için aylık ısı kaybı (W), özgül ısı kaybı (H) ile ilgili aya ait iç ve dış sıcaklık farklarının çarpılmasıyla elde edilmektedir.

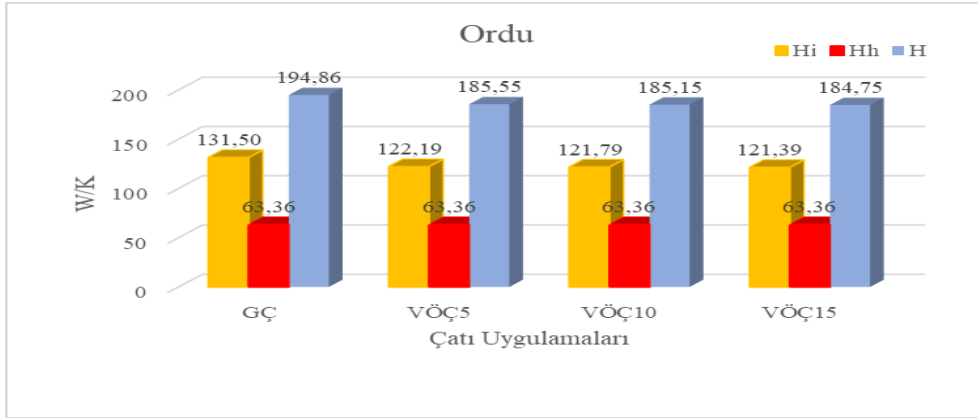
Çizelgede 10. Mersin ili geleneksel çatı ısıtma yükü hesabı

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazancı			KKO	η	Isıtma Yükü (Q_c) (kWh)
	H (W/K)	T_i-T_d (K, °C)	$H(T_i-T_d)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	ϕ_T (W)			
1	211.32	10,6	2240.0	480	109.2	589.2	0.263	0.978	1239.0
2		10	2113.2		136.9	616.9	0.292	0.967	1129.1
3		7.4	1563.8		166.6	646.6	0.413	0.911	725.8
4		3.2	676.2		186.6	666.6	0.986	0.637	187.1
5		*	*		221.2	701.2	*	*	*
6		*	*		234.3	714.3	*	*	*
7		*	*		227.4	707.4	*	*	*
8		*	*		210.8	690.8	*	*	*
9		*	*		173.5	653.5	*	*	*
10		0.5	105.7		138.2	618.2	5.851⁺⁺	*	*
11		6	1267.9		103.0	583.0	0.460	0.886	559.3
12		9.7	2049.8		95.4	575.4	0.281	0.972	1110.0
Yıllık ısıtma enerjisi (on iki ayın ısıtma yükü toplamı, kWh) $Q_{yıl} = \Sigma Q_c$									4950.3
Model binanın ısı kaybı açısından uygunluğu; $A_{top}/V_{brüt} = 333.44/300 = 1.11$, Mersin ili 1.bölge için Çizelge 5’den maksimum ısıtma enerjisi ihtiyacı, $Q = 44.1(A/V) + 10.4$ ilişkisinden Q_{mak} değeri 59.42 kWh/m² bulunur. A_{top} değeri ısı kaybedilen toplam alanı belirtmektedir. Eşitlik 9’a göre hesaplanan $Q_{yıl} (\Sigma Q_c)$ değeri A_n değerine bölünerek model bina için birim alan başına ısıtma yükü (Q) yada ısıtma enerjisi miktarı belirlenmektedir. Bu çalışma için, $Q=Q_{yıl}/A_n = 51.57$ kWh/m² olmuştur. Bu değer maksimum ısıtma enerjisi miktarından daha küçüktür. Model bina ısıtma yükü açısından uygundur.									
* $T_d > T_i$ olduğundan hesaplama yapılmadı.									
++ KKO değerinin 2.5 ve üzeri olduğu aylarda ısı kaybı olmadığı kabul edilmektedir.									

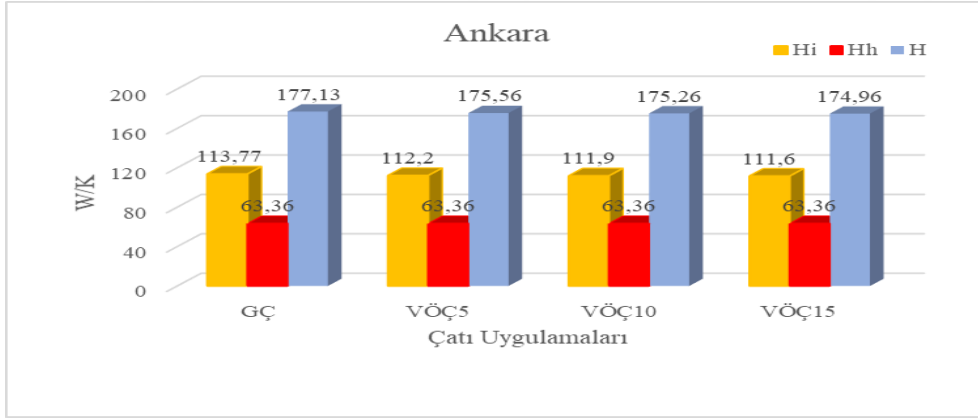
Araştırma illerinde geleneksel çatı ve vejetatif örtülü çatı uygulamalarında model binalar için yıllık ısıtma enerjisi yükleri, Mersin ili geleneksel çatı uygulamasında örneklendiği şekilde hesaplanmıştır. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinin geleneksel ve vejetatif örtülü çatı uygulamalarında model binaların yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla oluşan ısı kaybı (H_i), havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybı (H_h) ve bunların toplamıyla elde edilen özgül ısı kaybı ($H=H_i+H_h$) değişimleri Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24 ve Şekil 25’de verilmiştir. Şekillerin incelenmesinden görüleceği üzere birinci derece gün bölgesinde bulunan Mersin ilinde örnek konut binasının yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla olan ısı kaybı daha fazla olmuştur. Bu iller arasında iletim ve taşınım yoluyla oluşan ısı kaybı dördüncü derece gün bölgesinde bulunan Kayseri ilinde en az olmuştur. Bunun sebebi ise Mersin ilinde duvar, çatı ve döşemede kullanılan ısı yalıtım (XPS) kalınlıkları özellikle Kayseri ili için kullanılan önemli ölçüde daha azdır. XPS yalıtım malzemesinin kalınlığındaki farklılık en fazla çatıda, daha sonrada duvarda belirgindir. Duvar alanının fazla oluşu da iller arasında iletim ve taşınım yoluyla oluşan ısı kaybının farklılaşmasına sebep olmuştur. Bu illerin geleneksel ve vejetatif örtülü çatı uygulamalarındaki yıllık ısıtma enerjisi miktarları Çizelge 11’de verilmiştir.



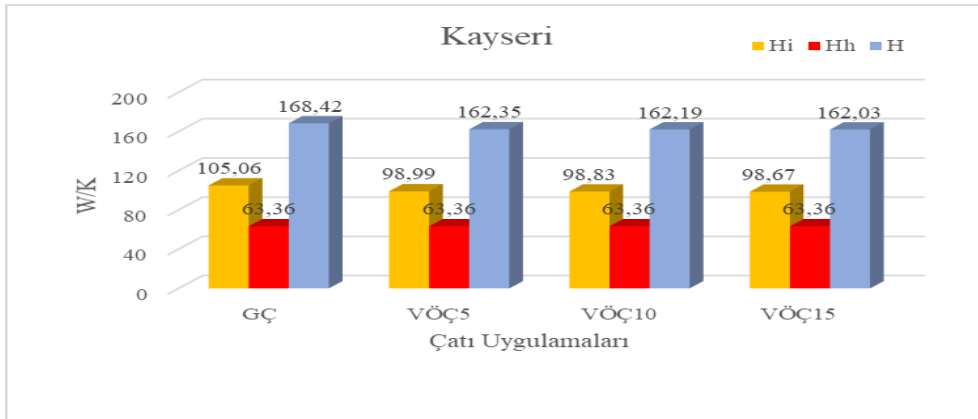
Şekil 20. Mersin ili ısı kaybı değişimi



Şekil 21. Ordu ili ısı kaybı değişimi



Şekil 22. Ankara ili ısı kaybı değişimi

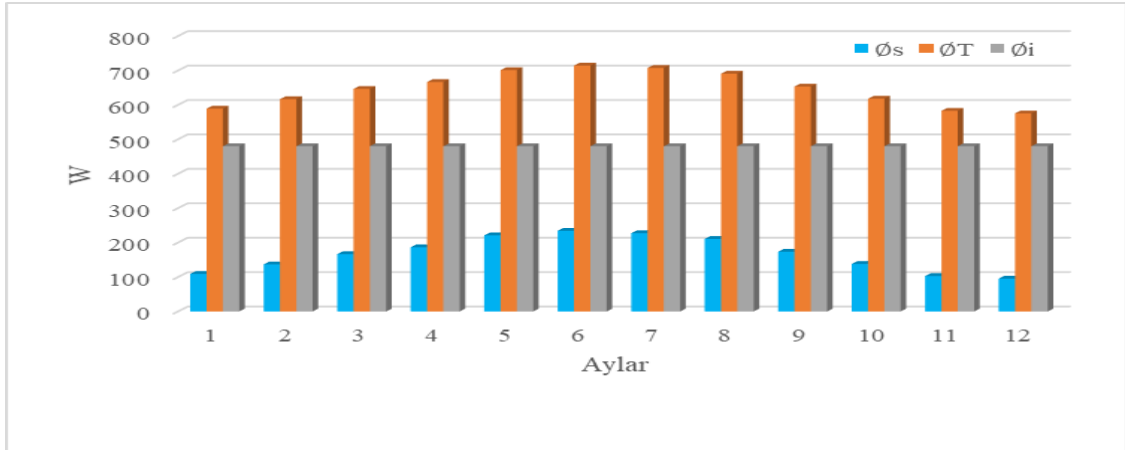


Şekil 23. Kayseri ili ısı kaybı değişimi

Çizelge 11. Geleneksel ve vejetatif çatı uygulamalı model binaların ısıtma yükleri

İller	Model	Özgül Isı Isı (W/K)	A _n m ²	Isıtma Yüğü, Q, (kWh/m ²)	Maksimum Isıtma Yüğü, Q _{mak} , (kWh/m ²)	Isıtma Yüğü Kazancı, %
	Bina					
Mersin	GÇ	211.32	96	51.57	59.42	---
	VÖÇ ₅	200.35		47.88	58.70	7.16
	VÖÇ ₁₀	199.79		47.69	58.70	7.52
	VÖÇ ₁₅	199.31		47.53	58.70	7.83
Ordu	GÇ	194.86		88.63	102.30	---
	VÖÇ ₅	185.55		83.14	101.16	6.19
	VÖÇ ₁₀	185.15		82.90	101.16	6.47
	VÖÇ ₁₅	184.75		82.67	101.16	6.72
Ankara	GÇ	177.13		109.13	121.61	---
	VÖÇ ₅	175.56		107.89	120.37	1.14
	VÖÇ ₁₀	175.26		107.65	120.37	1.37
	VÖÇ ₁₅	174.96		107.41	120.37	1.58
Kayseri	GÇ	168.42		134.66	143.39	---
	VÖÇ ₅	162.35		128.63	142.04	4.48
	VÖÇ ₁₀	162.19		128.47	142.04	4.60
	VÖÇ ₁₅	162.03		128.31	142.04	4.72
GÇ; Geleneksel çatı VÖÇ ₅ ; 5 cm toprak katmanlı vejetatif örtülü çatı VÖÇ ₁₀ ; 10 cm toprak katmanlı vejetatif örtülü çatı VÖÇ ₁₅ ; 15 cm toprak katmanlı vejetatif örtülü çatı						

İç ısı, güneş enerjisi ve bu ikisinin toplamına eşit olan toplam ısı kazancının aylık değişimi, Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri için tasarlanan model binalara (geleneksel ve vejetatif örtülü çatı uygulamaları) örnek olması açısından Mersin ili geleneksel çatı uygulaması için Şekil 26'da verilmiştir. Tüm model binalar için iç ısı kazanımının (Φ_i) aynı olmasının nedeni, tasarlanan model binaların brüt hacminin 300 m³ olması ve buna bağlı hesaplanan bina kullanım alanının ($A_n = 0.32 \times 300 = 96 \text{ m}^2$) birim alan başına iç ısı kazanımının (5 W/m^2) ile çarpımıyla ($96 \times 5 = 480 \text{ W}$) elde edilmesidir. Diğer taraftan güneş enerjisi ile ısı kazanımının (Φ_s) tüm model binalar için aynı değerlerin elde edilmesi, model binaların pencerelerinin güney, doğu ve batı yönlerinde tasarlanması ve her yöndeki pencere alanlarının aynı büyüklükte planlanmasıdır. Toplam ısı kazanımı (Φ_T) ise iç ısı ve güneş enerjisi ısı kazanımının toplamına eşittir.



Şekil 24. Mersin ili geleneksel çatı uygulaması ısı kazanım değişimleri

Mersin ili geleneksel çatı ve vejetatif çatı uygulamaları için Kazanç Kayıp Oranı (KKO) hesaplanmıştır. Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının ortalama sıcaklık değerleri (dış sıcaklık), iç sıcaklık değerinden (19 °C) daha büyük olduğundan ve Ekim ayı KKO oranı 2.5'tan daha büyük hesaplandığından yıllık ısıtma yükünün hesaplanmasında dikkate alınmamıştır. Ordu ilinin model binaları için yıllık ısıtma yükü hesaplanırken Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının ortalama dış sıcaklık değerleri iç sıcaklık değerinden ve Mayıs ayının KKO değerinin 2.5'tan daha büyük olmasından dolayı a dikkate alınmamıştır. Ankara ve Kayseri ilinin geleneksel ve vejetatif örtülü çatı model binalarının yıllık ısıtma enerjisi miktarının hesaplanmasında Temmuz ve Ağustos aylarının ortalama dış sıcaklık değerleri iç sıcaklık değerinden ve Haziran ayının KKO değerinin 2.5'tan daha büyük olmasından dolayı a dikkate alınmamıştır.

Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri için tasarlanan model binaların günlük soğutma enerjisi miktarını belirlemek için ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers) tarafından önerilen “Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkı (CLTD)” yaklaşımı kullanılmıştır. Bu amaçla Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinin uzun yıllar sıcaklık ortalama değerlerine göre en sıcak aylar bu illerde sırasıyla Ağustos, Ağustos, Ağustos ve Temmuz ayları tespit edilmiştir. Bu aylarda ölçülen maksimum ve minimum sıcaklık ortalama değerleri de Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri için sırasıyla 31.6-24.4, 27.4-20.1, 30.5-16.1 ve 30.7-12.1 °C olmuştur. Çalışmada sıcaklığın en fazla olduğu zamandaki soğutma yükünün belirlenmesi amaçlandığından maksimum sıcaklık ortalama değeri analizde kullanılmıştır. Bu illerinin 53 yıllık ortalama bağıl nem

miktarları da sırasıyla, %67, %75, %61 ve %63 olarak hesaplanmıştır. Soğutma yükünün hesaplanmasında ısıtma yükünün hesaplanmasında olduğu gibi dış ortam ile temas eden yapı elemanları dikkate alınmıştır. CLTD yaklaşımına göre soğutma yükü hesaplanmasına örnek olması açısından Mersin ili için geleneksel çatı uygulaması göz önünde tutularak, öncelikle yapı bileşenlerinden (duvarlar, döşemeler, tavanlar), pencerelerden, sızma ve havalandırmadan, insan ve cihazlardan sağlanan ısı kazançlarının oluşturduğu toplam duyulur soğutma yükü aşağıdaki çizelgelerde hesaplanmıştır. Çizelgelerde elde edilen sonuçlar çalışmada göz önüne alınan illerin bir günlük soğutma enerji ihtiyacının belirlenmesinde kullanılacaktır. Bu bağlamda çalışmada geleneksel çatı ve vejetatif çatı uygulamalarında gerekli bir günlük soğutma yükleri hesaplanmış ve kazançlar bir günlük soğutma yükü üzerinden değerlendirilmiştir.

Çizelge 12. Mersin geleneksel çatı uygulamasında yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü

Yapı Elemanı	Alan m ²	U W/m ² .K	CLTD, °C				q _{bc} W
			Doğu	Batı	Güney	Kuzey	
Duvar	23.26	0.59	13	13	9	---	480.3
Duvar Kuzey	21.26*	0.59	---	---	---	7	87.8
ÇBY	3.36	0.42	13	13	9	7	59.3
ZBY	6.74	0.40	13	13	9	7	113.2
Tavan	100	0.42	7				294
Zemin Döşeme	100	0.40	7				280
Dış Kapı	2	4.00	---	---	---	7	56
Yapı elemanları kaynaklı toplam soğutma yükü, Σq _{bc} , (W)							1370.6
Δ _t = 31.6-24.4 = 7.2 °C olduğundan CLTD değerleri ASHRAE (1997)'de verilen çizelgeden “L (Low)” ve 31.6 °C’ye göre seçilmiştir. Sıcaklık farkı değeri 14 °C’den fazla olduğunda “H (High)”, 9-14 °C arasında ise “M (Medium)” kullanılmaktadır.							
*kapı alanı çıkarıldı							

Çizelge 13. Mersin geleneksel çatı uygulamasında pencerelerden kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü

Pencere	Alan (m ²)	GLF (W/ m ²)	q _w (W)	Σq _w (W)
Doğu	1.44	246	354.24	921.6
Batı	1.44	246	354.24	
Güney	1.44	148	213.12	
GLF, cam yükü faktörü, 31.6 °C ve çift cam için ASHRAE (1997)'de verilen çizelgeden alınmıştır.				

Çizelge 14. Mersin geleneksel çatı uygulamasında sızma ve havalandırmadan kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü

Bina Hacmi V, (m ³)	t _d °C	t _i °C	Δ _t °C	ACH* (1/h)
2.326 x 10 x 10 =232.6	31.6	24.0*	7.6	0.34
Q, (L/s)	0.34 x 232.6 x (10/36) = 21.97			
q _{iv} , W	1.23 x 21.97 x 7.6 = 205.35			

*ASHRAE (1997)’de verilen çizelgeden alınmıştır. ACH, çizelgedeki üç sınıf (sıkı, orta ve gevşek) içinden sıkı olan ve 31.6 °C’ye bağlı olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan model bina için sıkı sınıfının seçilmesi “Yerlerine iyi oturan kapılar, pencereler ve sızdırmaz duvarlardan oluşan ve 140 m² değerinin altında döşeme alanına sahip evler bu sınıfa girer” açıklamasından dolayıdır.

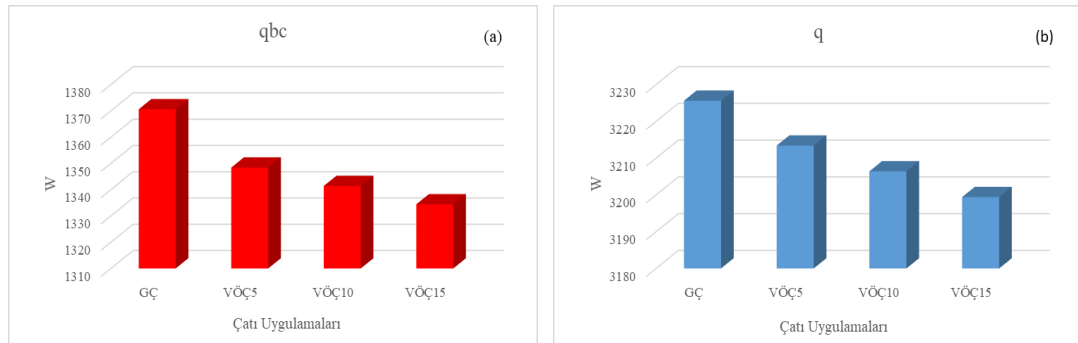
Çizelge 15. Mersin geleneksel çatı uygulamasında insanlardan ve cihazlardan kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü

İnsan kaynaklı soğutma yükü, q _p , W	Cihaz kaynaklı soğutma yükü, q _p , W
Model binada 4 kişinin ikamet ettiği kabul edildi. Kişi başı soğutma yükü ihtiyacı 67 W uygun bulunmuştur. q _p = 4 x 67 = 268 W .	Cihazlardan sağlanan ısı yüküne karşılık gelen soğutma yükü q _d , 470 W alınmaktadır.

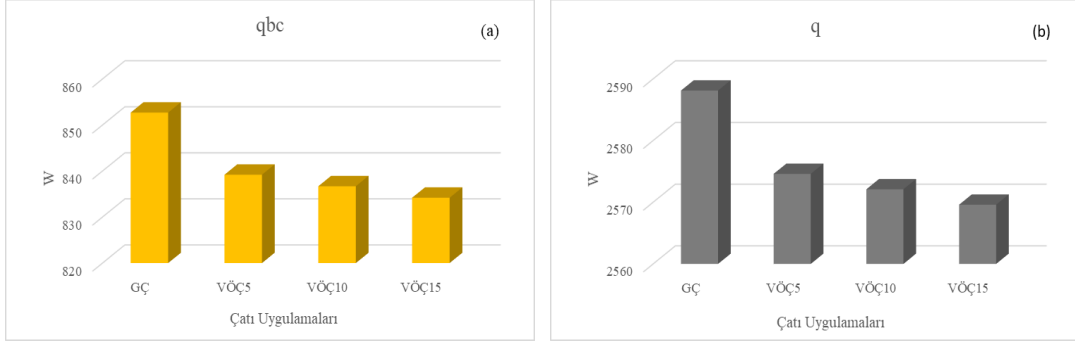
Çizelge 16. Mersin geleneksel çatı uygulamasında toplam soğutma yükü

Soğutma Yükleri	(W)	Toplam Duyulur Soğutma Yüğü, q, (W)	LF*	Toplam soğutma Yüğü q x LF (W)
Σq_{bc}	1370.6	3235.58	1.39	4497.46
Σq_w	921.6			
q_{iv}	205.35			
q_p	268			
q_d	470			
* Gizli ısı çarpanı. Çalışmada LF hesaplanırken, model bina dış sıcaklığı (31.6 °C) ve dış ortam bağıl nem (%67) değeri kullanılarak psikrometrik diyagramdan mutlak nem değeri 0.02 kg buhar/kg olarak elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen mutlak nem değeri ile model bina için kabul edilen iç ortam sıcaklığı (24 °C) ve iç ortam bağıl nem (% 50) değerlerine bağlı olarak Genceli (1998) de verilen grafikten gizli ısı yükü çarpanı (LF) belirlenmiştir.				

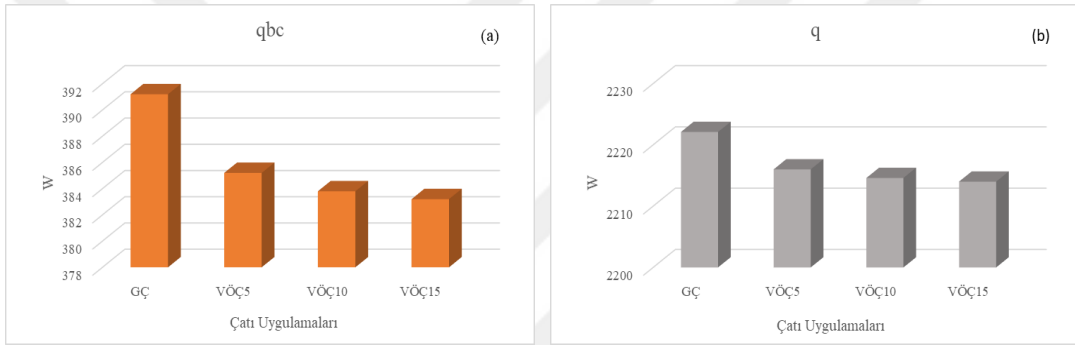
Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri için geleneksel ve vejetatif örtülü çatı uygulamalı tasarlanan model binaların her bir ildeki toplam soğutma yüklerindeki farklılığın yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü farkından kaynaklanmıştır. Dört ilin yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur ve toplam ısı yükünün değişimi Şekil 20, Şekil 21, Şekil 22 ve Şekil 23’de verilmiştir.



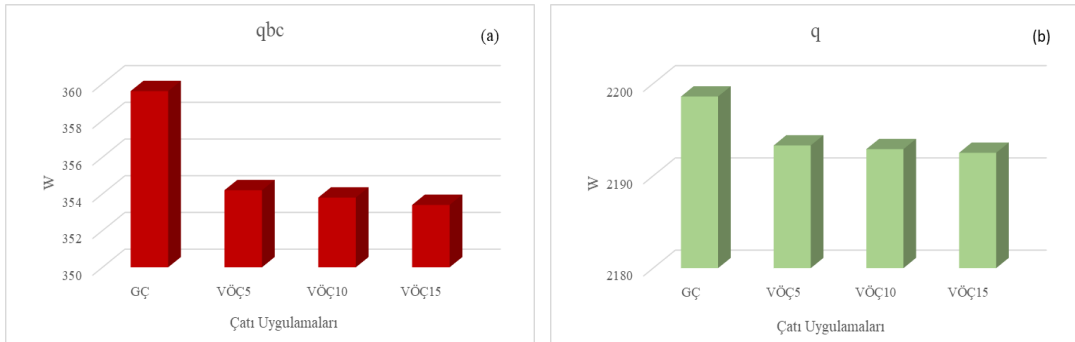
Şekil 25. Mersin ili yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur (a) ve toplam duyulur (b) soğutma yükü değişimi



Şekil 26. Ordu ili yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur (a) ve toplam duyulur (b) soğutma yükü değişimi



Şekil 27. Ankara ili yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur (a) ve toplam duyulur (b) soğutma yükü değişimi



Şekil 28. Kayseri ili yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur (a) ve toplam duyulur (b) soğutma yükü değişimi

Şekil 25-(a), Şekil 26-(a), Şekil 27-(a) ve Şekil 28-(a)'nın incelenmesinden görüleceği üzere birinci derece gün bölgesinde bulunan Mersin ilinde tasarlanan farklı çatı uygulamalarına sahip model binaların yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur ısı miktarlarından kaynaklı soğutma yükü miktarı daha fazla olmuştur. Bu iller arasında yapı elemanlarından kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı duyulur ısı

miktarlarından kaynaklı soğutma yükü miktarı dördüncü derece gün bölgesinde bulunan Kayseri ilinde en az olmuştur. Bunun sebebi ise dört ilde duvar, çatı ve döşemede kullanılan ısı yalıtım (XPS) kalınlıklarının farklı olmasıdır.

Her üç il için tasarlanan model binalar için insan kaynaklı soğutma yükü (q_p) ve cihaz kaynaklı soğutma yükü (q_p), 268 W ve 470 W hesaplanmıştır. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri model binaları için pencerelerden kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü sırasıyla 921.6 W, 908.6 W, 918.7 ve 921.6 W olarak hesaplanmıştır. Bu iller için sızma ve havalandırmadan kaynaklanan ısı kazançlarına bağlı toplam duyulur soğutma yükü miktarları sırasıyla 205.4 W, 88.8 W, 174.1 W ve 179.5 W olmuştur. Çizelge 17’de dört il için tasarlanan model binaların toplam duyulur ve toplam soğutma yükü miktarları verilmiştir. Ayrıca vejetatif çatı uygulamalarının geleneksel çatıya göre bir günlük soğutma yükü kazançları da verilmiştir. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinin geleneksel çatı ve vejetatif örtülü çatı uygulamalarında soğutma ihtiyacının olduğu ayların “Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkı (CLTD)” yaklaşımına göre aylık soğutma yükünün belirlenmesi için soğutma yükünün hesaplanacağı ayın her gününe ait yukarıda hesaplamada dikkate alınan iklim parametreleri kullanılmalıdır. Dolayısı ile yukarıda Mersin ili geleneksel çatı uygulamasındaki model bina için yapılan hesaplamalar her gün için tekrarlanır. Göz önüne alınan ildeki model bina için elde edilmiş günlük soğutma yükü değerleri toplanarak aylık soğutma yükü değeri elde edilir. Yıllık soğutma yükü hesabı ise soğutma ihtiyacının olduğu aylara ait soğutma yükü toplamlarından belirlenmektedir. Bu çalışmada sıcaklığın maksimum olduğu koşul dikkate alınarak soğutma yükü ihtiyacının en fazla olduğu durum tespiti yapılmıştır. Çalışmada model binalar için hesaplanmış soğutma yükü değeri, sıcaklığın maksimum olduğu koşullarda binaların istenilen sıcaklığa düşürülmesinde günlük olarak ihtiyaç olan enerji miktarını belirtmektedir.

Çizelge 17. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri için Ağustos, Ağustos ve Temmuz aylarında geleneksel ve vejetatif çatı uygulamalı model binaların soğutma yükleri

İller	Model Bina	Duyulur Soğutma Yüğü (W)	LF	Toplam Soğutma Yüğü, (W)	% soğutma Yüğü Kazancı
Mersin	GÇ	3235.6	1.39	4497.5	---
	VÖÇ ₅	3213.4		4466.6	0.69
	VÖÇ ₁₀	3206.4		4456.8	0.90
	VÖÇ ₁₅	3199.4		4447.1	1.12
Ordu	GÇ	2588.1	1.25	3235.1	---
	VÖÇ ₅	2574.6		3218.2	0.52
	VÖÇ ₁₀	2572.1		3215.1	0.62
	VÖÇ ₁₅	2569.6		3212.0	0.71
Ankara	GÇ	2222.1	1.27	2822.0	---
	VÖÇ ₅	2216.0		2814.3	0.27
	VÖÇ ₁₀	2214.6		2812.5	0.34
	VÖÇ ₁₅	2214.0		2811.8	0.36
Kayseri	GÇ	2198.6	1.29	2836.3	---
	VÖÇ ₅	2193.3		2829.4	0.24
	VÖÇ ₁₀	2192.9		2828.9	0.26
	VÖÇ ₁₅	2192.5		2828.4	0.28

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentsel yaşamda hızlı nüfus artışı yanında, insanların daha konforlu yaşam talebi ile kırsal alanlardan kentsel alanlara doğru oluşan göç ile bu alanlardaki yapılaşma hızının artmasına neden olmuştur. Bunun bir sonucu olarak da kent alanlarındaki enerji talebi de bu artışa uyum sağlamıştır. Yapılan araştırmalar dünyada tüketilen enerjinin %32'sinin konutlarda gerçekleştiği, daha da ilerisi sera gazı emisyonunun da üçte birinin konutlar tarafından sağlandığı belirtilmiştir. Ülkemiz açısından bakıldığında ise konutlar tarafından tüketilen enerjinin %20 olduğu belirtilmiştir. Ayrıca elektrik tüketiminin %22'sinin konutlarda gerçekleştiği bildirilmiştir. Konutlarda tüketilen enerjinin yaklaşık beşte üçünün ısıtmada kullanıldığı vurgulanmıştır. Bu oranın Avrupa ülkeleriyle karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu, bu oranın alınacak teknik tedbirler ile enerji tasarrufunda oransal olarak (%30-40) önemli fayda sağlanacağı ifade edilmiştir (Vera et al., 2017; Valipour, 2015; Anonim, 2018; Anonim, 2015). Bilindiği üzere konutlardaki enerji tüketiminin önemli kısmını ısıtma ve soğutma yükleri oluşturmaktadır. Buna istinaden birçok araştırmacı binalardaki ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması üzerine çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalardan birisi de binaların duvar ve çatısının vejetatif örtü ile kaplanmasıdır. Bu uygulama ile hem ısıtma ve soğutma yükünün azaltılması hem de yukarıda değinildiği üzere konutlar tarafından sağlanan sera gazı emisyonunu azaltılarak küresel ısınmanın sınırlandırılmasında etkin bir rol oynamak hedeflenmiştir. Böylece yeşil örtülü binalara yönelmek ile kentleşmenin ekosisteme yapmış olduğu tahribatın azalmasına imkan tanınmaktadır. Yeşil örtülü binaların inşasıyla, kentsel ısı adası etkisinin ve yüzey akışın azaltılması, ses yalıtımı, bina hizmet ömrünün uzatılması ve farklı türler için yeni yaşam alanı oluşturulması gibi faydalar sağlanmaktadır. Yeşil örtülü binaların özetlenen bu faydalarından dolayı dünyanın bir çok yerinde yerel yönetimler yeşil örtülü binaların inşasına dair politikaları uygulamaya koymuşlardır. Bunlar arasında Kanada Toronto'da yüzey alanı 2000 m²'den fazla olan yeni bina inşasında çatının %20-%60 arasında yeşil örtülü olmasını zorunlu etmişler. Yine Japonya Tokyo'da yeni binaların çatısının en az %20'sinin yeşil örtülü olması, Amerika Portland'da ise tüm yeni binaların en az %70'inin yeşil çatı olması zorunlu hale getirilmiştir. İsviçre Basel'de ise yeni ve yenilenen binalarda çatıların en az %15'inin vejetatif örtü ile kaplanması zorunlu hale getirmişlerdir (Vera et al., 2017).

Literatür incelemesinden görülmektedir ki yeşil çatı ve duvarların farklı iklimlerdeki binaların ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için ulusal ve uluslararası ölçekte birçok araştırma yapılmış ve muhtemelen yapılmaya da devam etmektedir. Bu tez çalışmasında da ülkemiz 1., 2., 3., ve 4. derece gün bölgelerinde bulunan Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinde 10x10x3 ebatlarındaki teras çatılı bir binanın çatısının vejetatif örtü ile kaplaması uygulamasının geleneksel çatı uygulamasına göre ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla seyrek yeşil çatı uygulaması olarak düşünülen çatı örtüsünde 5, 10 ve 15 cm toprak katmanı (substrat) koşullarında enerji etkinliği araştırılmıştır. Bu amaçla TSE 825 hesap yaklaşımına göre tek hacimli ayrık geleneksel ve vejetatif örtülü bina modellerinin yıllık ısıtma yükünün hesaplanması, iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları ile iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançlarına bağlı olarak yapılmıştır. Yıllık ısıtma yüklerinin hesaplandığı model binaların soğutma yükleri ise ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers) tarafından önerilen “Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkı (CLTD)” yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Model binaların ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanmasıyla orta çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Model binaların öncelikle ısı ileten elemanlarına (duvar, çatı ve zemin) ait ısı geçirgenlik katsayıları (U , $W/m^2.K$) Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri için elde edilmiştir. Birinci derece gün bölgesinde bulunan Mersin ilinde ısı geçirgenlik katsayıları en fazla, dördüncü bölgede bulunan Kayseri ilinde ise en az olmuştur. Bunun nedeni, ısı iletiminin gerçekleştiği elemanlarda kullanılan ısı yalıtım (XPS) kalınlıklarından kaynaklanmaktadır. Isı geçirgenlik katsayısının en fazla farklılık çatı yapı elemanında tespit edilmiştir. Model binalara ait bileşen detaylarının verildiği çizelgeden de görüleceği üzere, Mersin ilinde çatı elemanı için XPS kalınlığı 6 cm alınırken, Kayseri ili için 12 cm alınmıştır. Bu miktarlar Anonim (2023)’e göre belirlenmiştir.
- Ayrıca enerji yükünün hesaplanmasında, yukarıda verilen ısı ileten elemanların ısı geçirgenlik katsayılarına ilaveten, tuğla duvarla aynı doğrultuda olan zemin betonarme yüzeyin (ZBY) ve çatı betonarme yüzeyin (ÇBY) ısı geçirgenlik katsayıları da hesaplanmıştır.
- Model binaların ısıtma yükünün hesaplanmasında dış ortam ile temas eden yapı elemanları dikkate alınmış, bina iç kısımlarındaki yapı elemanları işlem dışı bırakılmıştır.

Yani model binaların, taban alanı 100 m^2 ve zemin döşemesi dahil 300 m^3 hacme sahip tek bir bölüm olarak ısıtma yükü hesaplanmıştır.

- Isıtma enerjisi yükünün hesaplanması amacıyla öncelikle tüm model binalar için özgül ısı kaybı hesaplanmıştır. Özgül ısı kaybı binadan, iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybına karşılık gelmektedir. Birinci bölgede bulunan Mersin ilinin iletim, taşınım yoluyla oluşan ısı kaybı, ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı diğer illerden daha az olduğundan, daha fazla olmuştur. Havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybı tüm model binalar için aynı olduğundan, iller için özgül ısı kaybındaki değişim, iletim, taşınım yoluyla oluşan ısı kaybıyla aynı olmuştur.
- Birinci derece gün bölgesi için birim alan başına ısıtma yükü (Q , kWh/m^2), en az, dördüncü derece gün bölgesi için en fazla olmuştur. Bunun sebebi ise hesaplamada kullanılan aylık ortalama sıcaklıklardan kaynaklanmıştır. Dördüncü derece gün bölgesinde bulunan Kayseri ilinin aylık ortalama sıcaklıkları Mersin ilinden daha küçüktür. Buda tasarım iç sıcaklık değeri olan 19°C 'den sapmanın yani iç-dış sıcaklık farkının artmasına sebep olmuştur.
- Mersin ilinde geleneksel çatı ve vejetatif çatı uygulamalarında (5, 10 ve 15 cm toprak katmanı) ısıtma yükü kazancı, toprak katmanı kalınlıklarına göre sırasıyla %7.16, 7.52 ve 7.83 olmuştur. İkinci derece gün bölgesinde bulunan Ordu ili için bu değerler sırasıyla %6.19, 6.47 ve 6.72 hesaplanmıştır. Ankara ili vejetatif çatı uygulamasında geleneksel çatıya göre 5, 10 ve 15 cm toprak katmanı kalınlığı için kazançlar %1.14, 1.37 ve 1.58 olarak belirlenmiştir. Kayseri ili için ise ısıtma yükü kazancı 5, 10 ve 15 cm toprak katmanı kalınlığına göre %4.48, 4.60 ve 4.72 olmuştur. Vejetatif örtülü çatıların ısıtma yükü açısından en fazla kazanç birinci derece gün bölgesinde bulunan Mersin ilinde elde edilmiştir. Isıtma yükü açısından en az kazanç ise Ankara ilinde belirlenmiştir. Her il için 5, 10 ve 15 cm toprak katmanı kalınlığına göre elde edilen kazanç değerleri incelendiğinde toprak katmanı kalınlığının ısıtma yükünün azalmasında belirgin bir avantaj sağlamamıştır. Toprak katmanı kalınlığının binaya ek bir yük getireceği göz önünde bulundurularak toprak katmanı kalınlığı tercihinin yapılması daha gerçekçi olacaktır. Ancak vejetatif örtülü çatı uygulamasının geleneksel çatı uygulamasına göre ısıtma yükü açısından avantajı önemlidir.

- Isıtma yükünün hesaplanmasında dış sıcaklık değerleri iç sıcaklık değerinden (19 °C) büyük olan aylar ve Kazanç Kayıp Oranı (KKO) 2.5’den büyük olan aylar hesaplama dışı bırakılmıştır.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers) tarafından önerilen “Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkı (CLTD)” yaklaşımı Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illerinin soğutma yükü hesabında kullanılmıştır. Bu amaçla öncelikle illerin uzun yıllar sıcaklık ortalama değerlerine göre Mersin, Ordu ve Ankara için Ağustos, Ağustos, Ağustos, Kayseri için Temmuz ayları en sıcak aylar olarak tespit edilmiştir. Çalışmada bu aylardaki maksimum ve minimum sıcaklık ortalama değerleri yanında ortalama bağıl nem miktarları da kullanılarak en fazla soğutma ihtiyacının olduğu zamanki soğutma yükü tahmin edilmeye çalışılmıştır.
- Model binaların soğutma yükü hesabında, ısıtma yükünün hesaplanmasında olduğu gibi dış ortam ile temas eden yapı elemanları dikkate alınmıştır. CLTD yaklaşımına göre, öncelikle yapı bileşenlerinden (duvarlar, döşemeler, tavanlar), pencerelerden, sızma ve havalandırmadan, insan ve cihazlardan sağlanan ısı kazançlarının oluşturduğu toplam duyulur soğutma yükü geleneksel ve vejetatif örtülü çatı uygulamalı model binalar hesaplanmıştır. Model binalar için hesaplanan toplam duyulur soğutma yükü her il için farklılık göstermiştir. Dolayısı ile her il için günlük olarak hesaplanan toplam soğutma yükleri de farklı olmuştur. Duyulur soğutma yükü bu iller arasında en fazla Mersin ilindeki, en az ise Kayseri ilindeki model binalar için belirlenmiştir. Bu farklılığın sebebi üç ilde duvar, çatı ve döşemede kullanılan ısı yalıtım (XPS) kalınlıkları olmuştur.
- Her dört il için tasarlanan model binalar için insan kaynaklı soğutma yükü ve cihaz kaynaklı soğutma yükü, 268 W ve 470 W hesaplanmıştır. Mersin, Ordu, Ankara ve Kayseri illeri model binaları için pencerelerden kaynaklanan ısı kazançlarına bağılı toplam duyulur soğutma yükü sırasıyla 921.6 W, 908.6 W, 918.7 W ve 921.6 W olmuştur. Bu iller için sızma ve havalandırmadan kaynaklanan ısı kazançlarına bağılı toplam duyulur soğutma yükü sırasıyla 205.4 W, 88.8 W, 174.1 W ve 179.5 W hesaplanmıştır.
- Vejetatif çatı uygulamalarının (5, 10 ve 15 cm toprak katmanı) geleneksel çatıya göre bir günlük soğutma yükü kazançları Mersin ili için %0.69, 0.90 ve 1.12, Ordu ili için %0.52, 0.62 ve 0.71, Ankara ili için %0.27, 0.34, 0.36 ve Kayseri ili için %0.24, 0.26 ve 0.28 olmuştur. Bu sonuçlardan anlaşılmaktadır ki vejetatif çatı uygulamalarının soğutma yükü kazancının birinci derece gün bölgesinde bulunan Mersin ilinde en fazla olmuştur.

- CLTD yaklaşımına göre aylık soğutma yükünün belirlenmesi için soğutma yükünün hesaplanacağı ayın her gününe ait iklim parametreleri kullanılmalıdır. Yani model binalar için aylık soğutma yükü tahmini için bir günlük soğutma yükünün belirlenmesinde kullanılan hesaplamalar her gün için tekrarlanmalıdır.
- Isıtma yükünde olduğu gibi soğutma yükünde de toprak katmanı kalınlığındaki artış ile iller için soğutma yükünde sağlanan kazanç çok fazla değişkenlik göstermemiştir. Dolayısı ile toprak katmanı kalınlığının binaya ek bir yük getireceği göz önünde bulundurularak toprak katmanı kalınlığı tercihinin yapılması daha gerçekçi olacaktır. Ancak vejetatif örtülü çatı uygulamasının geleneksel çatı uygulamasına göre soğutma yükü açısından avantajı önemlidir.

KAYNAKLAR

- Aksoy Y., İçmek S., 2010. Çatı bahçelerinin kent yaşamındaki yeri ve önemi: İstanbul kentinden örnekler. 5.Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 15-16 Nisan 2010, İzmir, Türkiye.
- Altıparmak, Ö.D., 1999. Binalarda Isı Kazancına Bağlı Soğutma Yükünün Bilgisayarla Hesabı. (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Anonim, 2002. Ordu Tarım Master Planı. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarım İl Müdürlüğü, s.19-21.
- Anonim, 2007. TR5 Batı Anadolu Bölgesi Tarım Master Planı. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı.
- Anonim, 2009. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, TS 825, Ankara, ICS 91.120.10.
- Anonim, 2010. Green roofs: A brief history. BuildingGreen, <https://www.buildinggreen.com/blog/green-roofs-brief-history>
- Anonim, 2011. Mersin Tarım Master Planı. T.C. Mersin Valiliği Tarım İl Müdürlüğü, Maestro Danışmanlık A. Ş., Akdeniz-Mersin, s.27-28.
- Anonim, 2013. A brief history of green roofs. Green roofs for healthy cities, <https://www.greenroofs.org/about-green-roofs/brief-history>.
- Anonim, 2015. Isı Yalıtım Uygulama Kılavuzu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 1-48.
- Anonim, 2017a. 16 Spectacular green roofs around the World. <https://www.architecturaldigest.com/gallery/green-roof-living-roof-designs-> (24.02.2017).
- Anonim, 2017b. Going green with green roofs. <https://bestinamericanliving.com/2017/06/going-green-with-green-roofs>.
- Anonim, 2018a. 15 Interesting green roofs from around the world. [https://interestingengineering.com/culture/15-interesting-green-roofs-from-around-the-world-\(27.03.2018\)](https://interestingengineering.com/culture/15-interesting-green-roofs-from-around-the-world-(27.03.2018)).
- Anonim, 2018b. Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 10-30.

- Anonim, 2022. Mengenal Green Roof, Inovasi Hunian Ramah, Lingkungan <https://www.rumah123.com/panduan-properti/tips-properti-75393-green-roof-inovasi-hunian-yang-ramah-lingkungan-id.html>- (18.10.2022).
- Anonim, 2023a. The Kensington Building, Londra. [https://www.loopnet.com/Listing/1-Wrights-Ln-London/23867081-\(04.04.2023\)](https://www.loopnet.com/Listing/1-Wrights-Ln-London/23867081-(04.04.2023)).
- Anonim, 2023b. Kentsel ısı adası. [https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/79-haberler/yazar-gc/1549-kentsel-isi-adasi-\(11.04.2023\)](https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/79-haberler/yazar-gc/1549-kentsel-isi-adasi-(11.04.2023)).
- Anonim, 2023c. Yapı izin istatistikleri. [http://www.tuik.gov.tr-\(29.07.2023\)](http://www.tuik.gov.tr-(29.07.2023)).
- Anonim, 2023d. İllere göre tavsiye edilen ısı yalıtım levhası kalınlıkları. GN Yapı, <https://www.gnyapi.com.tr/illere-gore-isi-yalitim-kalinliklari>.
- Aras, B. B., 2019. Kentsel sürdürülebilirlik kapsamında yeşil çatı uygulamaları. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(1), 469-504.
- Asrak, S., 2019. Sürdürülebilirlik Bağlamında Yeşil Çatıların Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- ASHRAE, 1997. ASHRAE Temel El Kitabı. Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, Alaş Ofset, İstanbul.
- Ayçam, İ., Kınalı, M., 2013. Ofis binalarında yeşil çatıların ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkilerinin analizi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 135, 26-34.
- Aytin, B. K., Ovalı, P. K., 2016, Contributions of roof gardens to urban life—planting proposals for roofs of new term accommodation buildings in Edirne. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 6 (14), 1-17.
- Ávila-Hernández, A., Simá, E., Xamán, J., Hernández-Pérez, I., Téllez-Velázquez, E., Chagolla-Aranda, M.A., 2020. Test box experiment and simulations of a green-roof: Thermal and energy performance of a residential building standard for Mexico. *Energy and Buildings*, 209, 109709.
- Geliş, K., Yeşildal, F., 2020. Klasik ve modern yapı elemanları kullanılması durumunda ısı iletim katsayısının değişimi ile minimum yalıtım kalınlığının tayini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (4), 869-877.
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., GhaffarianHoseini, A., 2014. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115, 411-428.

- Bevilacqua, P., Bruno, R., Arcuri, N., 2020. Green roofs in a Mediterranean climate: energy performances based on in-situ experimental data. *Renewable Energy*, 152, 1414-1430.
- Beyhan, F., Erbaş, M., 2013. A Study on green roofs with the examples from the world and Turkey. *Gazi University Journal of Science*, 26(2), 303-318.
- Calheiros, C.S.C., Stefanakis, A.I., 2021. Green roofs towards circular and resilient cities. *Circular Economy and Sustainability*, 1, 395–411.
- Canan, F., 2017. Kent geometrisine bağlı olarak kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi: Konya örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 69-80.
- Chapman, S., Thatcher, M., Salazar, A., Watson, J.E.M., McAlpine, C.A., 2018. The effect of urban density and vegetation cover on the heat island of a subtropical city. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57, 2531-2550.
- Cristiano, E., Deidda, R., Viola, F., 2021. The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: A review. *Science of The Total Environment*, 756, 143876.
- Coffman, R.R., 2007. *Vegetated Roof Systems: Design, Productivity, Retention, Habitat, And Sustainability İn Green Roof And Ecoroof Technology*. The Ohio State University, 209 s, USA.
- Demirci, E.S. 2019. Hava Kirliliği Ve Küresel Isınmayı Önlemede Yeşil Çatıların Etkileri Üzerine Kritik Bir Değerlendirme. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Demirhan, E. 2021. Yeşil Çatılarda Yağmur Suyu Ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Sakarya Üniversitesi'ndeki Kazan Dairesi Binasında Uygulanması. (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Dinsdale, S., Pearen, B., Wilson, C., 2006. Feasibility Study For Green Roof Application On Queen's University Campus. *Queen's Physical Plant Services*, 57s.
- Doug, B., Hitesh, D., James, L. ve Paul, M., 2005. Report on The Environmental Benefits And Costs of Green Roof Technology for The City Of Toronto. *Ryerson University*, 62 s, Toronto, Ontario.

- Ece, E., 2021. Yeşil Çatıların Sıcak Kuru İklim Bölgesindeki Performansının İncelenmesi. (Yüksek Lisans), Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- Erbaş, M. 2011. Enerji Etkin Yapı Tasarımının Etkili Elemanlarından Olan Yeşil Çatıların Dünya Ve Ülkemiz Örnekleri Üzerinden Bir İncelemesi. (Yüksek Lisans), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon.
- Erdoğan, E. .2014. Düşey Yeşil Sistemlerin Enerji Etkinliklerinin Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Erkul, E. ve Sönmez, A., 2014. Çevre duyarlı mimarlık, yeşil çatı sistemleri ve çevresel etkileri. Mimarlık, 375, 52-58.
- Erkmen, F. İ., (2005) Sıcak İklim Bölgelerinde Yapıların Soğutma Yüklerinin Karşılaştırılması (Antalya, Diyarbakır Örneği). (Yüksek Lisans),Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Evangelisti, L., Guattari, C., Grazieschi, G., Roncone , M., Asdrubali, F., 2020. On the energy performance of an innovative green roof in the Mediterranean climate. Energies, 13, 5163.
- Foustalieraki, M., Assimakopoulos, M.N., Santamouris, M., Pangalou, H., 2017. Energy performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using numerical and experimental data recorded during the cold period of the year. Energy and Buildings, 135, 33-38.
- Genceli, O.F., 1998. Konut Dışı Yapılarda İklimlendirme, Soğutma ve Isıtma Yükleri. ASHRAE Temel El Kitabı, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, No:2, Bölüm 26, İstanbul.
- Getter, K.L. and Rowe, D.B., 2006. The role of extensive green roofs in sustainable development. HortScience, 41(5), 1276-1285.
- Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M. ve Andresen, J. A., 2009, Carbon sequestration potential of extensive green roofs. Environmental science & technology, 43 (19), 7564-7570.

- Göbner D., Mohri, M., Krespach, J.J., 2021. Evapotranspiration measurements and assessment of driving factors: a comparison of different green roof systems during summer in Germany. *Land*, 10, 1334.
- Güzel, E., & Keles, R., 2019. Performance of green roofs in different regions of Turkey. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101558.
- He, Y., Yu, H., Dong, N., Ye, H. 2016. Thermal and energy performance assessment of extensive green roof in summer: A case study of a lightweight building in Shanghai. *Energy and Buildings*, 127, 762-773.
- He, Y., Yu, H., Ozaki, A., Dong, N., 2020. Thermal and energy performance of green roof and cool roof: A comparison study in Shanghai area. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122205.
- Jaffal, I., Ouldboukhite, S.E., Belarbi R., 2012. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy*, 43, 157-164.
- Jim, C.Y., Peng, L.L.H., 2012. Weather effect on thermal and energy performance of an extensive tropical green roof. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(1), 73-85.
- Kabuloğlu, K. S., 2005. Yeşil çatıların ekolojik yönden değerlendirilmesi. 2.Ulusal Çatı Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul.
- Karachaliou, P., Santamouris, M., Pangalou, H. 2016. Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. *Energy and Buildings*, 114, 256-264.
- Kaymak, Y., 2014. Çevre Odaklı Mimari Tasarım Yaklaşımı Kapsamında Yeşil Çatılar ve Türkiye Ölçeğinde Uygulanabilirliği Üzerine Bir Araştırma. (Yüksek Lisans), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Khan, H.S., Asif, M., 2017. Impact of green roof and orientation on the energy performance of buildings: a case study from Saudi Arabia. *Sustainability*, 9(4), 640.
- Kılıç Turan, B., 2019. Yeşil Çatıların Bina Isıtma v Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı İklim Bölgeleri İçin Analizi. (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/ Mimarlık Anabilim Dalı, Elazığ.

- Kınalı, M., 2013. Farklı İklim Bölgelerindeki Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi. (Yüksek Lisans), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/ Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara.
- Kırşan, S., 2015. Yeşil Çatılar ve Düşey Yeşil Sistemlerin Enerji Performanslarının Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans), Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/ Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kobyay, H.B., 2017. Düşey Yeşil Cepheler ve Yeşil Çatıların Ekolojik Kriterler Bakımından İncelenmesi ve Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, Konya.
- Kongjian, Y., Xiangrong, W., & Zhenjiang, Z., 2013. Ecological benefits of green roofs: A literature review. *Energy Procedia*, 37, 7379-7385.
- Korol, E., Shushunova, N., 2014. Benefits of a modular green roof technology. *Procedia Engineering*, 161, 1820-1826.
- Köhler, M., Schmidt, M., Hoyer, M., 2002. Ecological aspects of green roofs: New York, Berlin, Tokyo. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 76(1), 13-22.
- Kürekçi, A., Bardakçı, A. T., Çubuk, H. ve Emanet, Ö., 2012. Türkiye'nin tüm illeri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 31, 5-21.
- Lanham, J. K., 2007. Thermal performance of green roofs in cold climates. (Yüksek Lisans), Queen's University/İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ontario, Canada.
- Liu, K., 2004. Sustainable building envelope-garden roof sistem performance. NRCCNRC, RCI Building Envelope Symposium, Kasım 2004, New Orleans.
- Liu, K.K.Y., Bass, B., 2005. Performance of green roof systems. *Cool Roofing Symposium (Proceedings)*, May 12-13, Atlanta, Georgia.
- Liu, M., 2014. Probabilistic prediction of green roof energy performance under parameter uncertainty. *Energy*, 77, 667-674.
- Li, Y., Babcock, R. W., Chen, Y., Lin, Q., 2014. Effects of substrate and vegetation on the thermal performance of green roofs. *Applied energy*, 128, 47-59.
- Loh, S., 2008. Living Walls - a Way to Green The Built Environment. *Environment Design Guide*, the Australian Institute of Architects, TEC 26, 1-7 s, Australia.

- Luckett K., 2009. Green Roof Construction and Maintenance. A Green Source Book, The McGraw-Hill Companies, Inc, New York.
- Luvall, J., Holbo, H., 1989. Measurements of short term thermal responses of coniferous forest canopies using thermal scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 27(1), 1-10.
- Madre, F., Vergnes, A., Machon, N., Clergeau, P., 2013. A comparison of 3 types of green roof as habitats for arthropods. *Ecological Engineering*, 57, 109-117.
- Magill, J. D., 2011. A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research. (Yüksek Lisans), Southern Illinois University, Carbondale.
- MacDonagh, L.P., 2005. Benefits of Green Roofs. *Implications*, 4 (8), 1-6.
- Mahmoodzadeh, M., Mukhopadhyaya, P., Valeo, C., 2020. Effects of extensive green roofs on energy performance of school buildings in four north American climates. *Water*, 12(1), 6.
- Marafa, A.A., Alibaba, H.Z., 2019. Comparative analysis on green roof energy savings and normal conventional roof. *International Journal of Civil and Structural Engineering Research*, 7(2), 73-79.
- Ngan, G., 2004. Green Roof Policies: Tools for Encouraging Sustainable Design. Landscape Architecture Canada Foundation, 49 s, Kanada.
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., Mihalakakou, G., 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33 (7), 719-729.
- Osmundson, T.H., 1999. Roof Gardens, History, Design, and Construction. W.W. Norton & Company, Inc., 320 s, New York.
- Özaslan, M., Şeftalici, H., 2002. Kayseri İli Gelişme Raporu. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Bölgesel Gelişme ve Yapısal Uyum Genel Müdürlüğü, 244 s, Ankara.
- Parizotto, S., Lamberts, R., 2011. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. *Energy and Buildings*, 43(7), 1712-1722.
- Peck, S.W., Callaghan, C., Kuhn, M.E., Bass, B., 1999. Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada, Status Report on Benefits, Barriers and

- Opportunities for Green Roof and Vertical Garden Technology Diffusion. Canada Mortgage and Housing Corporation , 73 s, Canada.
- Peñalvo-López, E., Cárcel-Carrasco, J., Alfonso-Solar, D., Valencia-Salazar, I., Hurtado-Pérez, E., 2020. Study of the improvement on energy efficiency for a building in the Mediterranean area by the installation of a green roof system. *Energies*, 13(5), 1246.
- Peng Lilliana L.H., Xiaoshan, Y., Yunfei, H., Zhenyu, H., Tianjing, X., Zhidian, J., Lingye, Y., 2019. Thermal and energy performance of two distinct green roofs: Temporal pattern and underlying factors in a subtropical climate. *Energy and Buildings*, 185, 247-258.
- Pisello, A.L., Piselli, C., Cotana, F., 2015. Thermal-physics and energy performance of an innovative green roof system: The cool-green roof. *Solar Energy*, 116, 337-356.
- Rakotondramiarana, H.T., Ranaivoarisoa, T.F. and Morau, D., 2015. Dynamic Simulation of the Green Roofs Impact on Building Energy Performance, Case Study of Antananarivo, Madagascar. *Buildings*, 5, 497-520.
- Sağsöz, S., 2019. Yeşil Çatıların Kent Yaşamındaki Yeri ve Önemi: Yerel ve Yabancı Örnekler Üzerinden İncelemeler. (Yüksek Lisans Tezi), Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Aydın.
- Scholz-Barth, K., 2001. Green roofs: Stormwater management from the top down. *Environmental Design & Construction*, 4 (1), 63-69.
- Schweitzer, O., Erell, E., 2014. Evaluation of the energy performance and irrigation requirements of extensive green roofs in a water-scarce Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 68, Part A, 25-32.
- Seçkin, N.P., Seçkin, Y.Ç., 2016. Mimari Tasarımda Yeşil Çatıların Gelişimi. 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 2–3 Haziran 2016, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı- İstanbul.
- Sezer, F. Ş., Yeşilyurt, N. K., 2011. Türkiye’deki çift duvar arası yalıtım uygulamalarında ısı köprülerinin analizi ve yurtdışı uygulamaları ile karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16 (1), 1-10.

- Sihau, L. 2008. Green Roofs for a Green Town: Possibilities of Green Roof Implementation in the Town of Normal. Environmental Studies Outstanding Senior Seminar Papers, 14 s, Illinois Wesleyan University.
- Silva, C.M., Gomes, M.G., Silva, M., 2016. Green roofs energy performance in Mediterranean climate. Energy and Buildings, 116, 318-325.
- Snodgrass, E.C., McIntyre, L., 2010. The green roof manual: A professional design guide to design, installation and maintenance. Timber Press, 296s, Portland, Oregon.
- Sobstyl, J.M., Emig, T., Qomi, M.J.A., Ulm, F.J., Pellenq, R.J., 2018. Role of city texture in urban heat islands at nighttime. Physical Review Letters, 120(10), 108701.
- Sonne, J., 2006. Evaluating Green Roof Energy Performance. ASHRAE Journal, 48, 59-61.
- Söğüt, Z., Şenol, D., 2014, Kentsel Çevre Kapsamında Yeşil Çatı ve Cephelerin Değerlendirilmesi. Akademik Platform Dergisi, ISEM2014, 733-742.
- Temur, B. 2022. Yeşil Çatılarda Su Yalıtımının Düzenlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, Gebze.
- Ting Au, A.Y., 2007. A Planning Tool of Urban Greenroofs. (The Degree of Master of Applied Science), Ryerson University/Environmental Applied Science and Management, Toronto, Ontario, Canada.
- Tohum, N., 2011. Sürdürülebilir Peyzaj Tasarım Aracı Olarak Yeşil Çatılar. (Yüksek Lisans), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tolderlund, L., 2010. Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in The Semi-Arid and Arid West. Green Roofs for Healthy Cities, University of Colorado Denver, 51 s, Colorado Denver.
- Torres, S. L. S., 2010. Investigating Crumb Rubber Amendments for Extensive Green Roof Substrates. (Yüksek Lisans), University of Maryland, College Park.
- Tozam, İ., 2016. Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılmasında Çatıların Değerlendirilmesi: Yeşil Çatılar ve Serin Çatılar. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Tozam, İ., 2019. Kentsel ısı adası etkisinde: kentsel yüzey malzemeleri ve serin çatılar. <http://www.turkchem.net/kentsel-isi-adasi-etkisinde-kentsel-yuzey-malzemeleri-ve-serin-catilar.html> [Son erişim tarihi: 8.03.2019].

- Tsang, S.W., Jim, C.Y., 2011. Theoretical Evaluation of Thermal and Energy Performance of Tropical Green Roofs. *Energy*, 36 (5), 3590-3598.
- Velazquez, L. S., 2005. Organic greenroof architecture: Design considerations and system components. *Environmental Quality Management*, 15 (1), 61-71.
- Valipour, M., 2015. Land Use Policy and Agricultural Water Management of The Previous Half of Century in Africa. *Applied Water Science*, 5 (4), 367-395.
- Vera, S., Pinto, C., Tabaras-Velasco, P.C., 2017. Influence of Vegetation, Substrate, and Thermal Insulation of An Extensive Vegetated Roof on The Thermal Performance of Retail Stores in Semiarid and Marine Climates. *Energy and Buildings*, 146, 312-321.
- Vijayaraghavan, K., 2016. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 740-752.
- Wei, T., Jim, C.Y., Chen, A., Li, X., 2020. Adjusting Soil Parameters to Improve Green Roof Winter Energy Performance Based on Neural-Network Modeling. *Energy Reports*, 6, 2549-2559.
- Weiler, S.K., Scholz-Barth, K., 2009. *Green Roof Systems: A Guide to the Planning, Design and Construction of Landscape Over Structure*. John Wiley & Sons Inc., 313 S, Hoboken, New Jersey.
- White, E.V., Gatersleben, B., 2011. Greenery on residential buildings: Does it affect preferences and perceptions of beauty? *Journal of Environmental psychology*, 31 (1), 89-98.
- Williams, N.S.G, Lundholm, J.T., MacIvor, J.S., 2014. Do Green Roofs Help Urban Biodiversity Conservation? *Journal of Applied Ecology*, 51,1643–1649.
- Williams, R., Goodwell, A., Richardson, M., Le, P.V.V., Kumar, P., Stillwell, A.S., 2016. An Environmental Cost-Benefit Analysis of Alternative Green Roofing Strategies. *Ecological Engineering*, 95, 1-9.
- Yeang, K., 2006. *Ecodesign: A Manual for Ecological Design*. Wiley-Academy, 499 s, U.S.A.
- Yıldırım, S., Özbürak, Ç., Özden, Ö., 2023. Green Roofs, Vegetation Types, Impact on the Thermal Effectiveness: An Experimental Study in Cyprus. *Sustainability*, 15, 2807.

Yılmaz, F.D., 2021. Tarihi Dokuda Yenileme Sürecinde Yeşil Çatılar: Edirne Kaleiçi Örneği. (Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, Edirne.

Yüksel, N., 2013. Dikey Bahçe Uygulamalarının Yurtdışı ve İstanbul Örnekleri ile İrdelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul.

Zirkelbach, D., Mehra, S.R., Sedlbauer, K.P., . Künzl, H.M, Stöckl, B., 2017. A Hygrothermal Green Roof Model to Simulate Moisture and Energy Performance of Building Components. Energy and Buildings, 145, 79-91.