

T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**YEŞİL ÇATILARIN SICAK KURU İKLİM BÖLGESİNDEKİ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Esmâ ECE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

DIYARBAKIR

Mart 2021

T.C
DİCLE UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Esmâ ECE tarafından yapılan “YEŞİL ÇATILARIN SICAK KURU İKLİM BÖLGESİNDEKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı

Adı Soyadı

Başkan: Dr Öğr.Üyesi Şefika ERGİN

Üye : Dr Öğr.Üyesi İsmail Ağa GÖNÜL

Üye : Dr Öğr.Üyesi Pelin KARAÇAR

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 02/03/2021

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

“YEŞİL ÇATILARIN SICAK KURU İKLİM BÖLGESİNDEKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ” konulu çalışmam süresince eleştirileri, önerileri, yönlendirmesi, hoşgörüsü, sabrı ve eksik etmediği yardımlarıyla çalışmamın oluşumunda önemli bir yeri olan çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi ŞEFİKA ERGİN’e;

Hayatımın her döneminde olduğu gibi tez çalışmam süresince de gösterdikleri destek ve yardımlarından dolayı canım aileme;

Tezimin kritik aşamasında yer alan, yeşil çatı uygulamasında zaman ve ilgilerini esirgemeyen değerli ONDULİNE ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Esma ECE

(Mimar)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
KISALTMA VE SİMGELER.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1. Enerji Etkin Tasarım	5
2.2. Enerji Etkin Tasarımda Etkili Parametreler	7
2.2.1. Çevreye İlişkin Faktörler.....	7
2.2.1.1 Topografya.....	7
2.2.1.2 Yakın çevre yapılaşması.....	9
2.2.2 İklimsel Faktörler.....	9
2.2.2.1 Güneş ışınlımı	11
2.2.2.2. Dış hava sıcaklığı.....	16
2.2.2.3. Dış hava nemliliği.....	18
2.2.2.4. Rüzgâr.....	19
2.2.3. Binaya ve Yerleşmeye İlişkin Faktörler.....	21
2.2.3.1. Bina yeri.....	21
2.2.3.2. Bina yönü.....	23
2.2.3.3. Bina formu.....	24
2.2.3.4. Bina kabuğu.....	26
2.2.3.5 Mekân organizasyonu.....	29

2.2.3.6	Doğal vantilasyon.....	30
2.3.	Yeşil Çatı Sistemlerinin Binalardaki Enerji Performansına Etki.....	34
2.4.	Yeşil Çatı Kavramı ve Tanımı.....	35
2.4.1.	Yeşil Çatıların Faydaları.....	35
2.4.2.	Yeşil Çatı Kavramının Tarihçesi.....	43
2.4.2.1	İlk Çatı Bahçeleri.....	43
2.4.2.2.	Yeşil Çatı Sistemlerine Geçiş.....	45
2.4.2.3.	Yeşil Çatı Sistemlerinin Dünyadaki Güncel Durumu.....	45
2.4.3.	Yeşil Çatıların Bitkilendirilme Durumuna Göre Sınıflandırılması.....	46
2.4.3.1.	Seyrek Bitkilendirilmiş (Ekstansif) Yeşil Çatı Sistemleri.....	46
2.4.3.2.	Yoğun Bitkilendirilmiş (İntansif) Yeşil Çatı Sistemleri.....	46
2.4.3.3.	Yarı Yoğun Bitkilendirilmiş Yeşil Çatılar.....	47
2.4.4.	Yeşil Çatı Katmanları ve Uygulama Türleri.....	51
2.4.4.1.	Yeşil çatı katmanları.....	51
2.4.4.2.	Yeşil Çatı Uygulama Türleri.....	54
2.4.4.2.1	En az %2 eğime sahip çatılarda yeşil çatı uygulaması.....	54
2.4.4.2.2	%20-%40 eğime sahip çatılarda seyrek yeşil çatı uygulaması.....	55
2.4.4.2.3	%40-%100 eğime sahip çatılarda seyrek yeşil çatı uygulaması.....	56
2.4.4.2.4	Ters çatılarda seyrek yeşil çatı uygulaması.....	57
3.	MATERYAL VE METOT.....	59
3.1.	Enerji Etkin Tasarım Açısından Örnek Bir Yeşil Çatı Uygulamasının Sıcak Kuru İklim Bölgesinde Analizi.....	59
3.2.	Uygulama Binasına İlişkin Özellikler.....	60
3.2.1.	Binanın Bulunduğu Bölgenin Özellikleri.....	60
3.2.2.	Uygulama Binasının Mimari Özellikler.....	62
3.2.3.	Bölgenin İklim Özellikleri.....	64
3.3.	Uygulama Binasına Yeşil Çatı Yapımı.....	65
3.3.1.	Yeşil Çatının Ön Hazırlık Aşaması.....	65

3.3.2.	Yeşil Çatının Yapım Aşamaları.....	67
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	75
4.1.	Ölçüm Sonuçlarının Analizi.....	75
4.1.1.	Sıcaklık Analizi.....	75
4.1.2.	Nem Analizi.....	80
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
6.	KAYNAKLAR.....	91
	ÖZGEÇMİŞ.....	97



ÖZET

“YEŞİL ÇATILARIN SICAK KURU İKLİM BÖLGESİNDEKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ.”

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esmâ ECE

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

2021

İnsan nüfusunun ve kentleşmenin artmasıyla ihtiyaç duyulan enerji miktarı günden güne yükselmektedir. Enerji kullanımının artmasıyla birlikte küresel ısınma da artmaktadır. Mimar olarak yaşam alanları meydana getirirken doğanın döngüsüne olabildiğince az zarar verecek tasarımlar oluşturulmalıdır. Yeşil çatılar sundukları birçok fayda ile dünyamızı tehdit eden küresel ısınmaya karşı mimari açıdan önerilmiş etkili ve verimli çözümlerin bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemiz farklı iklim tiplerini bünyesinde barındıran bir coğrafyada yer almaktadır. Bu tezin amacı ise Güneydoğu Anadolu bölgesinde hakim olan sıcak kuru iklimin sıcaklık ve nem açısından yapılarda oluşan olumsuz etkilerini azaltmada yeşil çatının rolünü, örnek bir yeşil çatı uygulaması ile sıcak dönemde ölçüm cihazları kullanarak araştırmak olmuştur.

Dört bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümünde, Enerji Etkin Tasarım konusunun yapılarda uygulanmasının önemi üzerinde durulmuştur. Enerji etkin tasarım parametreleri açıklanıp bu parametrelerin sıcak kuru iklimde nasıl uygulanması gerektiği konusuna ayrıca değinilmiştir.

İkinci bölümde, Yeşil Çatıların tanımı, faydaları, tarihçesi, önemi, türleri, uygulama şekilleri, kullanılan bitkiler, katmanları ve dünyadaki güncel durumu detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, Çalışma Alanı ve Genel İklim Özellikleri konusuna yer verilip çalışma alanının tesisi, araştırma istasyonunun hazırlık aşamaları ve yeşil çatı uygulamasının aşamaları üzerinde durulmuştur.

Son bölümde ise Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yeşil çatı ve referans çatıda ölçüm cihazları kullanılarak elde edilen verilerin analizi ve ulaşılan sonuçlara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : yeşil çatı, enerji etkin tasarım, sıcak kuru iklim.

ABSTRACT

“INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF GREEN ROOFS IN THE HOT DRY CLIMATE ZONE”

MASTER THESIS

Esma ECE

DEPARTMENT OF ARCHITECTURE
UNIVERSITY OF DICLE

2021

With the increase in human population and urbanization, the amount of energy needed increases day by day. With the increase in energy use, global warming also increases. While creating living spaces as an architect, designs that will harm the cycle of nature as little as possible should be created. Green roofs appear as a part of the effective and efficient solutions proposed architecturally against global warming, which threatens our world with many benefits they offer.

Our country is located in a geography that includes different climate types. The aim of this thesis was to investigate the role of the green roof in reducing the negative effects of the hot dry climate prevailing in the Southeastern Anatolia region in terms of temperature and humidity on buildings by using a sample green roof application and using measuring devices in the warm period.

In the first part of the study, which consists of four parts, the importance of the application of Energy Efficient Design in buildings is emphasized. Energy efficient design parameters are explained and how these parameters should be applied in hot dry climate is also mentioned.

In the second part, the definition, benefits, history, importance, types, application methods, plants used, layers and current situation in the world of Green Roofs are explained in detail.

In the third chapter, the study area and the general climatic characteristics are given and the establishment of the study area, the preparation stages of the research station and the stages of the green roof application are emphasized.

In the last section, the analysis of the data obtained by using measurement devices on the green roof and reference roof in July, August and September and the results reached.

Key Words: green roof, energy efficient design, hot dry climate.

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1.	Örnek yapı bileşeni detaylar	27
Çizelge 2.2.	İtalyan normuna bitki ve bitki taşıyıcı katman arasındaki ilişki şeması	48
Çizelge 2.3.	İsviçre normuna bitki ve bitki taşıyıcı katman arasındaki ilişki şeması	48
Çizelge 2.4.	Yeşil çatı türlerinin karşılaştırılması	49
Çizelge 2.5.	Yeşil çatı sistemlerinde kullanılan bitki türleri	53
Çizelge 3.1.	1959 – 2019 yılları arasında ortalama sıcaklık ve yağış verileri	60
Çizelge 3.2.	Yeşil çatının gelişim aşamaları	71
Çizelge 5.1.	B.Ç. ve Y.Ç. günlük ortalama sıcaklık farkları	78
Çizelge 5.2.	B.Ç. ve Y.Ç. günlük ortalama nem farkları	83

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	Binalarda yaşam döngüsü- enerji kullanımı	4
Şekil 2.2.	Topoğrafyanın farklılaşmasıyla oluşan hava akımının gece gündüz farklılaşması	7
Şekil 2.3.	Türkiye iklim bölgeleri haritası	9
Şekil 2.4.	Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasının temsili oranları	11
Şekil 2.5.	Kuzey yarım kürede yaz ve kış dönemlerinde güneş yörüngesi	12
Şekil 2.6.	Yaz ve kış aylarında güneş kazanımı kontrolü olarak bitkilendirmenin kullanılması	12
Şekil 2.7.	Yansıtma ve gölgelendirme için ağaç kullanımı	13
Şekil 2.8.	Sıcak kuru iklimde kullanılabilecek gölgeleme araçları	14
Şekil 2.9.	Sıcak kurun iklimde yapıdaki gölgelendirme aracı	15
Şekil 2.10.	Türkiye temmuz ayı gerçek sıcaklık ortalaması haritası	17
Şekil 2.11.	Geleneksel rüzgar tutucusuna nemlendirici elemanlar eklemek	18
Şekil 2.12.	Basınç farkıyla rüzgarın oluşumu	19
Şekil 2.13.	Mimari ve peyzaj tasarımının rüzgarı şekillendirmesi	20
Şekil 2.14.	Yapının Yer Seçimi-Enerji Verimliliği İlişkisi	21
Şekil 2.15.	Farklı iklim bölgeleri için nemlilik ve sıcaklık oranlarına bağlı olarak arazi üzerinde ideal yer seçimi	22
Şekil 2.16.	Sıcak kuru iklimde bina yönlendirilişi	23
Şekil 2.17.	Binaların farklı şekillerde bir araya gelmesi sonucu ısı kayıp oranları	25
Şekil 2.18.	Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri	26
Şekil 2.19.	Doğal havalandırma ve baca etkisi	30
Şekil 2.20.	Bina açıklıklarının konumlarına göre rüzgarın şekillenmesi	30
Şekil 2.21.	Çekiş ve emiş göre işlev	31
Şekil 2.22.	Rüzgar kulesinin sıcaklık farkına göre işlev görmesi	32

Şekil 2.23.	Hava akış miktarını arttırmak için hava kulesine fan ekleme	32
Şekil 2.24.	Yeşil çatı katmanları	50
Şekil 2.25.	Seyrek bitkilendirme	54
Şekil 2.26.	Yoğun bitkilendirme	54
Şekil 2.27.	%30'dan daha fazla eğime sahip yeşil çatılar	54
Şekil 2.28.	Yeşil çatılarda bitki tabakasının kayması önleyen aparat	55
Şekil 2.29.	Eğimli yeşil çatılarda sistem detayı	55
Şekil 2.30.	Ters yeşil çatılarda sistem detayı	56
Şekil 3.1.	Ölçüm cihazı	57
Şekil 3.2.	Çalışma istasyonunun tesisi	59
Şekil 3.3.	Uygulama yapılacak olan yapının zemin kat planı	61
Şekil 3.4.	Uygulama yapılacak olan yapının kat planı	62
Şekil 3.5.	Uygulama yapılacak olan yapının kesiti	62
Şekil 3.6.	Sedum Reflexum(sarı dam koruğu) bitkisinde görülen böceklenme	63
Şekil 3.7.	Uygulama yapılacak olan çatıda yapılan hazırlıklar	64
Şekil 3.8.	Uygulama yapılacak olan çatıda mevcut ağaçlar ve ağaçların kaldırılmış hali	64
Şekil 3.9.	Gider aparatının takılması	65
Şekil 3.10.	Yeşil çatı temel katmanları	65
Şekil 3.11.	Su yalıtımı için astarın uygulanması	66
Şekil 3.12.	Çift kat su yalıtımının uygulanması	66
Şekil 3.13.	Çatı giderine yabancı maddelerin girmesini engellemek amacıyla örümcek adı verilen aparatın takılması	67
Şekil 3.14.	Mevcut çatıda yoğunlaşma oluşumunun önlenmesi için havalandırma bacalarının uygun yerlere yerleştirilmesi	67
Şekil 3.15.	Nem tutucu ve koruyucu şiltenin serilmesi ve havalandırma bacasına göre şekillendirilmesi	67

Şekil 3.16.	Drenaj levhalarının yerleştirilmesi	68
Şekil 3.17.	Sistem filtresinin serilmesi	68
Şekil 3.18.	Ponza taşı kiremit kırığı hayvansal gübre ve toprak karışımından oluşan bitki taşıyıcı tabakanın serilmesi	69
Şekil 3.19.	Bitki türleri	69
Şekil 3.20.	Tercih edilen sedum tipi bitkilerin tasarlanan şekilde ekiminin yapılması	70
Şekil 3.21	Farklı açılardan çekilmiş yeşil çatı kareleri	70
Şekil 4.1.	Batman ilinin Dış hava Min. Max. ve Ort. Sıcaklık değerleri ($^{\circ}\text{C}$)	73
Şekil 4.2.	Y.Ç. iç ortamının Min. Max. ve Ort. Sıcaklık değerleri ($^{\circ}\text{C}$)	73
Şekil 4.3.	B.Ç. Min. Max. ve Ort. Sıcaklık değerleri ($^{\circ}\text{C}$)	74
Şekil 4.4.	Y.Ç. ve B.Ç. mekanlarının iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması	75
Şekil 4.5.	Y.Ç. ve B.Ç. mekanlarının iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması (13-14 Temmuz)	75
Şekil 4.6.	Y.Ç. ve B.Ç. mekanlarının iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması (31 Ağustos)	76
Şekil 4.7.	Y.Ç., B.Ç. ve dış havanın sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması	77
Şekil 4.8.	Batman ilinin Dış hava Min. Max. ve Ort. Nem değerleri	79
Şekil 4.9.	Y.Ç. Min. Max. ve Ort. Nem değerleri	80
Şekil 4.10	B.Ç. Min. Max. ve Ort. Nem değerleri	80
Şekil 4.11.	Y.Ç., B.Ç. ve dış havanın nem değerlerinin karşılaştırılması	81
Şekil 4.12.	Dış hava günlük ortalama sıcaklık ve nem değerleri	82
Şekil 4.13	Y.Ç. mekanın günlük ortalama sıcaklık ve nem değerleri	82
Şekil 4.14	B.Ç. mekanın günlük ortalama sıcaklık ve nem değerleri	83
Şekil 4.15.	Enerji etkin tasarım parametreleri	85

KISALTMA VE SİMGELER

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
kWh	: Kilowatt saat % : yüzde
$^{\circ}\text{K}$	: Kelvin derece
m^2	: Metrekare
$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	: Watt metrekare kelvin
dB	: Desibel
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
kg/m^2	: Kilogram bölü metrekare
kg	: Kilogram
kWh/m^2	: Kilowatt saat bölü metrekare
kg/m^3	: Kilogram bölü metreküp
J/kg-K	: Joule bölü kilogram Kelvin

1.GİRİŞ

Yüksek kentleşme oranları ve betonun yaygınlığı dünya çapında 21. yy'ın en büyük sorunlarından biridir. Nüfusun 2050 yılına kadar 9 milyara ulaşacağı ve bunun 6 milyarının şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir (Southwood 2016). Şehirlerdeki bu yoğun yaşam beraberinde konut gereksinimini arttıracaktır. Bununla birlikte çok katlı ve yoğun yapılaşmalardaki teknolojik gelişmeler, fosil kaynakların bitmesi, yeşil alanların bozulması, küresel ısınma, iklim değişikliği benzeri sorunlar ortaya çıkacaktır. Enerji kaynaklarının %50'sinin binalar aracılığıyla tüketilmesi ortaya çıkan bu problemlerin de enerji etkin tasarımlar ile yapılarda çözülmesini gerektirmektedir (Ergin ve ark. 2019). Enerji etkin tasarım enerji açısından verimli araçların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının optimize edilmiş bir karışımını sağlayarak bina aydınlatmasında, iç mekân ısıtılmasında ve soğutulmasında, havalandırmada enerji kullanımının tüm yönlerini dengeleyen bir tasarım metodolojisidir. İnşa edilmiş formun ve çevresinin akıllıca yapılandırılması, binanın içindeki rahatsızlık seviyesini önemli ölçüde düşürüp konfor koşullarını sürdürmek için gereken enerji miktarını azaltabilmektedir (Malik 2015-16). İncelenen çalışmalar doğrultusunda iç-dış mekânlardaki sıcaklık farklılıklarının düşürülmesi ve yapılardaki tüketilen enerji miktarının azaltılması için yeşil çatıların büyük öneme sahip olduğu görülmüştür (Parizotto ve Lamberts 2011). Yeşil çatılar bitki örtülü alanlara sahip çatılardır ve iklim değişikliği sebebiyle daha çok artan sıcaklık dalgalanmalarını azaltabilecek mekanizmalar olarak tanımlanabilmektedir. Yeşil çatılar bitki ve toprakta oluşan buharlaşma-terleme ile yaz aylarında binaların aşırı ısınmasını önlemektedirler. Bu çatılar ısı yalıtımı görevi görerek yaz aylarında soğutma, kış aylarında ise ısıtma için kullanılan enerji miktarını azaltmaktadır (Mohapatra ve ark.). Kyle Liu ve Bas Baskaran Kanada'da 36 m² seyrek bitkilendirilmiş yeşil çatı ve 36 m² geleneksel çatı sisteminde bir araştırma yürütmüşlerdir. Bu iki çatı sistemde çatı yüzeyindeki ve bünyesindeki sıcaklık miktarları, dış ortamdan iç ortama ısı akış düzeyleri, yansıtıcılık özellikleri ve atık su uzaklaştırma miktarları 2000-2002 yılları arasında ölçülmüştür. Bu alınan ölçümlerin sonuçlarına göre; bu çatı sistemlerine sahip yapıların iç mekan iklimlendirilmesi için gerekli olan ortalama günlük enerji gereksinimi referans çatıda; 6,0/7,5 kWh/gün iken yeşil çatıda ise bu ihtiyaç 1,5 kWh/gün olarak ölçülmüştür. Bu verilere göre yeşil çatıya sahip mekânda %75 oranında bir enerji tasarrufu sağlandığı sonucuna varılmıştır (Lui

ve Başkaran 2003). Günümüzde yeşil çatılar yalnızca ısı yalıtım işlevini yerine getirdiğinden dolayı değil, kentlerin kaybolmuş yeşil alanlarının sağladığı yararları tekrar kazanmanın bir yöntemi olduğu için de uygulanmaktadır. Yeşil çatı sistemlerinin etkilerini araştıran birçok çalışma, enerji kullanımında, sera gazı yayılımında, ısı adası etkisinde, şehir gürültüsünde azalma olduğunu ortaya koymuşlardır (Marten ve ark. 2008). Ayrıca yeşil çatılar, hava kalitesini arttırmaktan yağmur suyunu tutmaya, toz tutucu özelliğinden gürültü azaltma etkisine, ekonomik faydalarından enerji tasarrufuna, sosyal etkilerinden biyoçeşitlilik sağlamasına kadar birçok hizmet sunmaktadır (Ergin ve ark. 2019). Bu yararlarından ötürü yeşil çatı benzeri inşa edilmiş ekosistemler betonlaşmanın yoğun olduğu kentlerde yüksek öneme sahip olmaktadır (Catalano ve ark. 2018).

Bu tez çalışmasının amacı yeşil çatıların geçmişten günümüze çatı bahçelerinden, şimdiki yeşil çatı teknolojisi aşamasına gelinceye kadar nasıl dönüştüğünü inceleyip yeşil çatıların avantajlarını sürdürülebilirlik ölçeğinde değerlendirmek . Çatı sisteminin sürdürülebilir mimari tasarımındaki yerini belirlemek, yapının kapladığı doğal zeminden kaybedilen alanın yeşil alan olarak tekrar geriye kazandırılabilirliğini ortaya koymak ve yeşil çatılar aracılığıyla tüketilen enerji miktarının ölçülmesini ve yapıları çevrelerde sürdürülebilirliği fiziksel açıdan mümkün kılmaktır.

Bu tez çalışmasında, Türkiye’de bilimsel araştırmalar bakımından yeni bir kavram olan yeşil çatı sistemlerinin uygulama şekli ve üzerinde bulunduğu yapıyla olan ilişkisi, sıcaklık ve nem değerleri bakımından değerlendirilmiştir. Bu amaçla uygulaması yapılarak oluşturulan bir ekstentif yeşil çatı ve mevcut özellikleri korunan referans çatı sistemine sahip iki mekân, alınan iç ölçümler aracılığıyla karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, Güneydoğu Anadolu bölgesinde sıcak kuru iklim özelliğine sahip Batman ilinde bulunan; 4 katlı bir konut uygulama alanı olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın yöntemi; literatür taraması yapılarak konunun incelenmesinin yanı sıra, yeşil çatı uygulaması ile mekân ölçümlerinin alınarak analiz edilmesine dayanmaktadır. Tezin birinci bölümünde yapılarıdaki yeşil çatı sistemlerinin enerji performansı bakımından önemi belirtilerek bu konudaki referans çalışmalar verilmiştir.

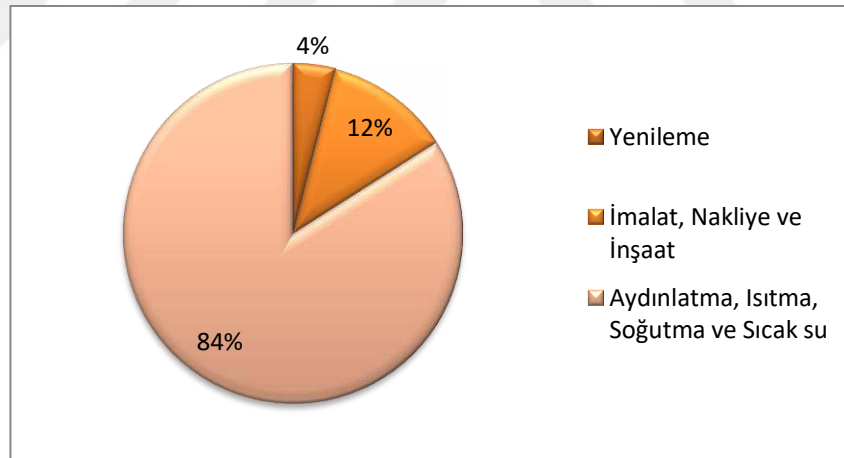
İkinci bölümde, enerji etkin tasarımda belirleyici olan parametreler incelenerek yeşil çatı sistemlerinin binalardaki enerji performansına etkisi araştırılmıştır. Üçüncü bölümde, yeşil kavramının tanımı, tarihçesi, kullanımları ele alınarak sınıflandırılması ve uygulama türleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde Güneydoğu Anadolu bölgesinin iklim şartlarına uygun bitkilerin kullanıldığı ise örnek bir ektantif yeşil çatı uygulaması inşa edilme aşamaları ve uygulama yapılan yapının özellikleri ayrıntılı bir şekilde görsellerle desteklenerek anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise yeşil çatı ve referans çatının yaz dönemindeki üç aylık süreçte sergilemiş oldukları sıcaklık ve nem değerleri ölçüm cihazları yardımıyla alınıp meteoroloji müdürlüğünden alınan dış iklim değerleri ile karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde yeşil çatıya sahip olan ve olmayan mekanların iç ortam koşulları karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç bölümünde ise elde edilen verilerle dayanarak iklimsel açıdan öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1.Enerji Etkin Tasarım

Son yıllarda enerji verimliliğini yükseltmek ve enerji kullanımını azaltmak için kayda değer çabalar sarf edilmiştir. Yapılardaki enerji verimliliği terimi, enerji kullanımını en aza düşüren, istenilen iç çevresel koşulları oluşturmak için gerekli olan enerjiyi sağlamak ile ilgilidir (Pacheco ve ark. 2012). Enerji etkin tasarım, pasif güneş enerjisi, enerji etkin donanım ve enerji kaynaklarının en iyi şekilde kullanılmış bir karışımını temin ederek yapının aydınlatmasında, ısıtmasında ve havalandırmasında kullanılan bir tasarım yöntemidir (Malik 2015-16).

Konut yapılarında aydınlatma, ısıtma, soğutma, sıcak su ve yemek pişirme gibi enerjinin çok fazla kullanıldığı alanlar vardır (Şekil 2.1.). Artan enerji kullanımı, karbon salınımları, küresel ısınma ve fosil kaynakların azalmasıyla doğrudan ilişkilidir. Enerji etkin yapı tasarlamak için özellikle ısıtma ve soğutma ihtiyacının çok olduğu alanlarda pasif sistemlerin kullanımı büyük önem kazanmaktadır (Usman 2016).



Şekil 2.1. Binalarda yaşam döngüsü-Enerji kullanımı

Enerji etkin tasarımın hedefi konforlu bir iç mekan havası, alan ve malzemenin etkin kullanımı etkin bir enerji üretimi ile desteklenen düşük enerji ihtiyacı ile birlikte yüksek mimari kalite sağlamaktır (Sommer ve Pont 2014). Tasarım yaklaşımı, tasarımcıların ve yapı sahiplerinin kullanıcılar için konforu yükseltirken yapı işletim ücretlerini ekonomik yönden düşürmelerine olanak vermektedir (Malik 2015-16).

Enerji etkin yapı tasarlamak için tasarım ve inşaat parametrelerinin en iyi şekilde kullanılması gerekmektedir. Enerji tasarrufu ölçülerine uygun bir yapı tasarımı, daha az enerji kullanımı sebebiyle yapının kullanım ömrü süresince ekonomik maliyetleri azaltır ve bu sayede ilk yatırım maliyetinden çok daha fazla para tasarrufu sağlanmış olur. Ayrıca yapının atmosfere yaydığı CO₂ gazı azaldığından toplumsal olarak da büyük yarar elde edilmiş olmaktadır (Pacheco ve ark. 2012). Binalarda enerji ihtiyacı oranlarını düşürmek için şu noktalar önemli olmaktadır:

- Yapının şeklinin ve cephesinin dış çevreye göre tasarlanıp uygun yere yerleştirilmesi,
- Hava koşullarını dengeleyerek binanın içine verilmesi,
- Doğal çevreyle entegre yapıların tasarlanması,
- Bina tasarımı yapılırken güneş enerjisinden en iyi fayda sağlanacak şekilde projenin desteklenmesi,
- Binayı meydana getiren materyallerin sürdürülebilir enerji kaynaklarından oluşan, etrafına duyarlı ve bakım-onarım ihtiyacı az olan materyallerden seçilmesi,
- Enerji verimliliği sağlaması açısından pasif ve aktif sistemlerin uyumlu ve entegre bir şekilde kullanılması (Dikmen 2011).

2.2. Enerji Etkin Tasarımda Etkili Parametreler

İklimsel konfor ihtiyacı yapılarda enerji tüketimini mecburi kılan önemli bir parametre olmaktadır. İklimsel konforu sağlamanın en etkin yolu ise iç mekan ihtiyaçlar doğrultusunda ısıtıp soğutmaktır. Enerji etkin tasarım bu durumda tüketilen enerjinin azaltılması ve iklimle uyum içinde yapıların tasarlanması için büyük önem kazanmaktadır (Kısa Ovalı 2009). Yapılarda yapay kaynaklardan en az doğal kaynaklardan ise en çok faydalanılmasını sağlayacak belirli tasarım parametreleri vardır. Bunlar; Çevreye İlişkin Faktörler, İklimsel Faktörler, Binaya ve Yerleşmeye İlişkin Faktörler olarak sıralanabilmektedir (Manioğlu 2012).

Enerji etkin tasarımda etkili olan her bir parametre genel olarak ele alınarak açıklanmıştır. Bunun yanı sıra, her parametre, tez çalışmasının gerçekleştirildiği ilin iklim özelliği olan sıcak kuru iklim açısından daha detaylı değerlendirilerek sağlayacağı avantajlar belirtilmiştir.

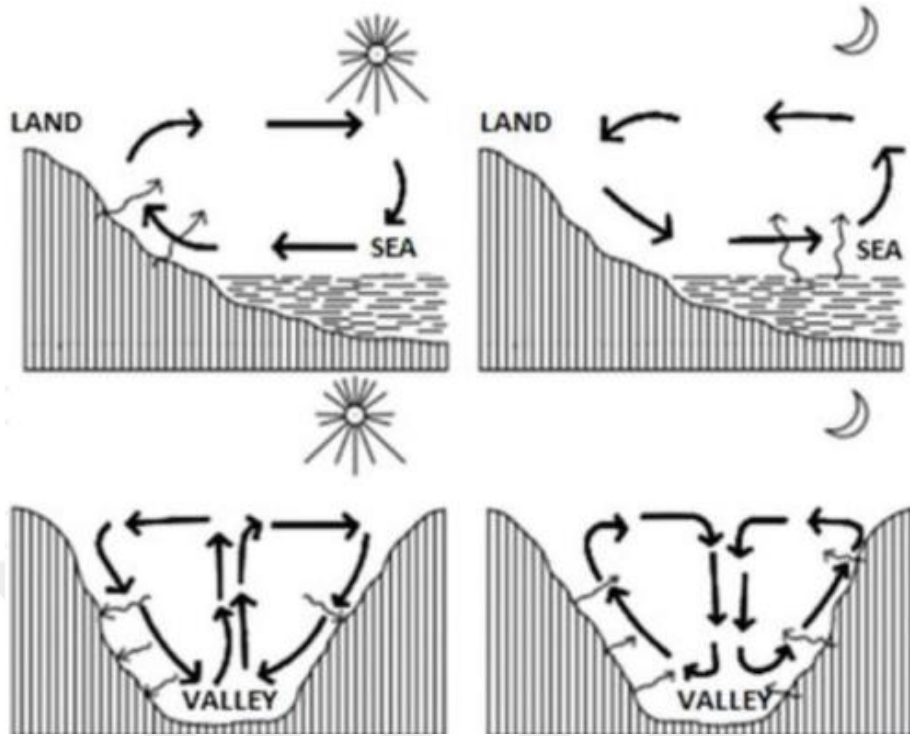
2.2.1. Çevreye İlişkin Faktörler

Termal konfor koşullarını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen çevreye ilişkin tasarım faktörleri topografya ve yakın çevre yapılaşması olarak tanımlanabilmektedir.

2.2.1.1 Topografya

Binanın konumlandırıldığı alanın topografyası, doğal aydınlatma, doğal ventilasyon ve güneş ısısının kullanımı bakımından güneş ışınlarının gelme açısı, eğimi ve yapının yönlendirilmesini etkilediğinden önemli bir parametredir. Topografyanın eğimi güneş ışıınımı oranı ve enlem çok stratejik değişkenlerdir. Eğer topografya eğimli ise elde edilen güneş ışıınımı enerjisi yaz aylarında azalır, kış aylarında artış gösterir (Yüksek ve Karadayi 2017).

Topografya başkalaşimleri ile meydana gelen su kütleleri, yamaçlar, tepeler ve düzlükler iklim türünde büyük veya küçük etkiler göstermektedir. Rakım arttıkça güneş ışıınım şiddetinde ve hava temizliğinde artış olmakla beraber rüzgar hızında da artış olmaktadır. Su kütlelerinin olduğu bölgelerde soğuk mevsimlerde su kütlesinin sıcaklığı kara parçasına göre daha yüksek olmaktadır ve rüzgarlar karadan suya doğru esmektedir. Sıcak mevsimlerde ise kara parçası su kütlesine göre daha sıcaktır ve rüzgar sudan karaya doğru olmaktadır. Rüzgarlar mevsimlerin yanı sıra gündüz ve gecenin dönüşümlerine göre de şekil alabilmektedirler (Şekil 2.2.). Topografik faktörler yağmur sularının çukurlarda birikmesine neden olup nemli cepler oluşturarak ve sıcak havalarda serinletici olarak görev yapmaktadırlar (Orhon ve ark. 1985).



Şekil 2.2. Topoğrafyanın farklılaşmasıyla oluşan hava akımının gece gündüz farklılaşması (Yüksek ve Karadayi 2017).

Sıcak kuru iklim bölgelerinde, rüzgardan verimli bir şekilde faydalanmak istenildiğinden vadi tabanlarında yerleşim alanı bulmak uygundur. Topografyada yer alan su yataklarının olduğu alanlara yerleşerek aşırı olan sıcaklıklar azaltılarak buharlaşma ile istenilen mikroklimatik etki oluşturulabilmektedir (Olgyay 1992).

2.2.1.2 Yakın Çevre Yapılaşması

Binanın yakın çevre yapılaşması, güneş ışığı ve rüzgar gibi dış iklim faktörlerinin tasarım üzerindeki etkilerini ölçebilen önemli tasarım değişkenlerinden biridir. Yapıyı etkileyen dış iklim faktörlerinden güneş ısınımı ve rüzgâr hızı çevredeki yapıların ya da diğer engellerin incelenen yapıya olan mesafesine, yüksekliğine ve bu yapıya göre konumlandırılışına göre değişkenlik göstermektedir (Manioğlu 2012).

Yakın çevre yapılaşmasında binaların birbirine olan uzaklığı, güneş enerjisinden yararlanmayı, rüzgâr doğrultusunu ve hızını belirleyen önemli bir tasarım değişkenidir. Yapıları tasarlarken çevre yapılarla değerlendirme yapılmalı ve tasarıma başlanmalıdır. Yapılar arası mesafe yapının kullanımı süresinde enerji performansını önemli ölçüde

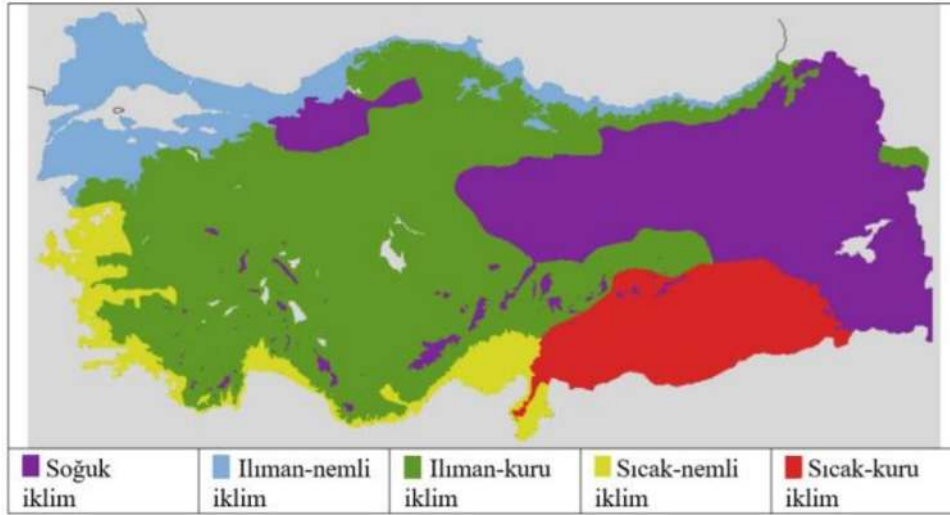
etkilemektedir. Çünkü tasarlanan yapının diğer yapıların gölgeleme alanında olması güneşten elde edilecek olan faydalanmayı da etkileyip kullanılacak olan enerji miktarını da arttıracaktır (Yüksek ve Karadayi 2017).

Sıcak-kuru iklimde yakın çevre yapışması düzenlenirken en önemli faktör ısı kazanımını düşürüp nem seviyesini yükseltmektir. Yapılar güneş ışınlarından daha çok korunabilmek için sık ve gölgeli olup yaya yollarını da gölgelendirmelidir. Ayrıca yapıların yakın çevrelerinde, avlularda ve meydanlarda bitkilendirmenin serinletici etkisinden faydalanılmalıdır ve kentsel mekanlarda yansıtıcılığı az olan toprak ve çimenin kullanılması da önemli fayda sağlamaktadır (Kısa Ovalı 2009).

2.2.2 İklimsel Faktörler

İklim, yapıların enerjisi, çevresel performansı ve bina sakinleri üstünde önemli etkileri olan, doğal çevreyi ve insan yaşamını etkileyen bir faktördür. Göllerin meydana gelmesi, su oranı değişimleri ve kimyasal özellikler büyük oranda iklimle ilişkilidir. Bir bölgede yetişen doğal bitki örtüsünün türü, miktarı ve yayılış alanı iklime bağlıdır. Dolayısı ile iklim, tarım faaliyetlerini de doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. İklim, insanların yasayışı, kültürü, giyimleri, fizyolojik özellikleri, karakterleri, yeryüzüne yayılışı ve ekonomik faaliyetleri üzerinde etkiye sahiptir. İklim koşulları insanları etkilediği gibi hayvan türlerini, yaşama alanlarını, sayılarının artması ve türlerinin tükenmesini de etkiler. Özetle iklim olayları, doğal çevreyi ve insanları doğrudan ya da dolaylı etkilemektedir (Zeren 1962). Yapılar da aynı canlılar gibi iç ortam konfor koşullarını sağlamak için hem yaz aylarında hem de kış aylarında iklimden etkilenmektedirler. Güneş ışınlamı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve rüzgâr önemli iklim değişkenleri olarak yapılar üzerinde etkiye sahiptirler (Bayraktar ve Yılmaz).

Ülkemiz ılıman kuşak ve subtropikal kuşak arasında konumlanmaktadır. TS 825 (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı)'e göre Türkiye'de beş farklı iklim tipi vardır. Bunun başlıca sebepleri ise üç tarafının denizlerle çevrili olması, dağların uzanış yönleri, yer şekillerinin farklılık arz etmesidir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3.Türkiye iklim bölgeleri haritası (Kısa Ovalı 2009)

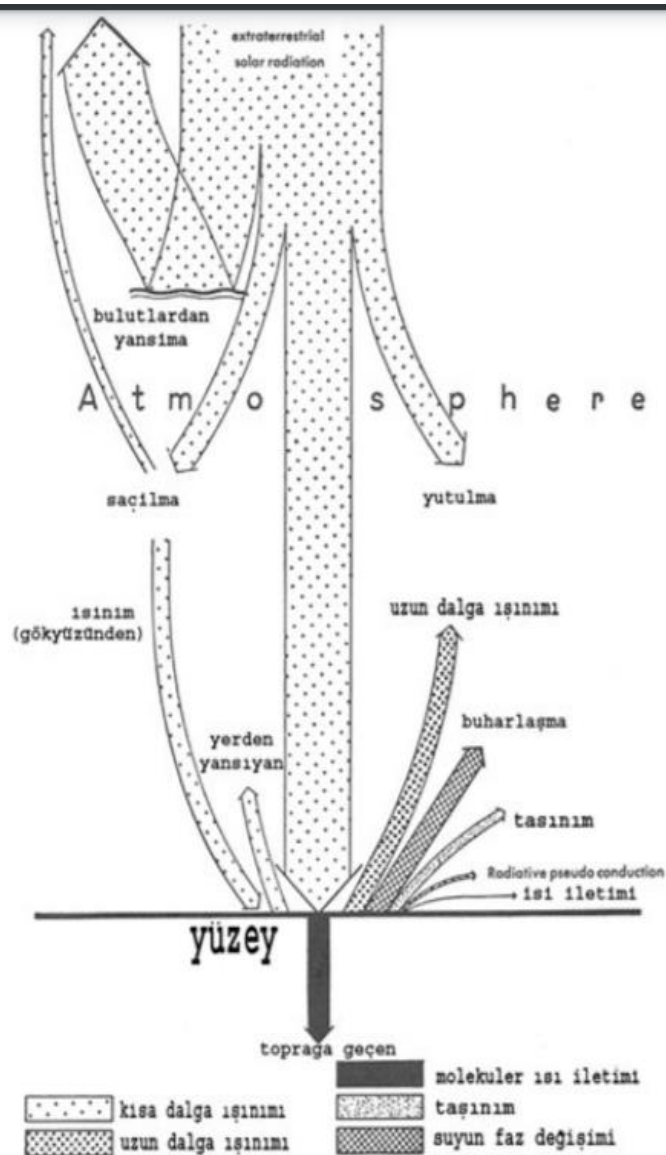
Sıcak-kuru iklim bölgesinde tasarlanan yapılarda; yaz aylarında nem oranını ve gölgelemeyi yükseltecek ve kuru karakterli rüzgârlardan korunma sağlayacak (hava hareketi nemli ise faydalanılmalı), kış aylarında ise güneş ışınımının ısıtıcı etkisini yükseltmeyi sağlayacak strateji ve tasarımların ön planda olması gerekmektedir (Kısa Ovalı 2009).

2.2.2.1 Güneş Işınımı

Güneşin çevresine yaydığı ışınlar güneş ışınımı olarak tanımlanmaktadır. Güneş ışınlarının bir bölümü dünyaya ulaşana kadar bulutlara, hava moleküllerine, toz parçacıklarına ve su zerreciklerine çarparak azalır. Diğer bir bölümü ise su buharı, ozon, karbondioksit ve diğer gazlar aracılığıyla emilir. Bu şekilde güneş ışınları yeryüzüne azalarak ulaşır. Ayrıca güneş ışınımının şiddetini etkileyen diğer faktörler ise hava koşulları, bulunan alanın rakımı, güneşin yükseliş açısı ve azimut açısıdır(Azimut açısı:Güneş ışınımının yataydaki izdüşümünün güneyden veya kuzeyden yaptığı sapma açısıdır ve yatay düzlemde ölçülmektedir) (Şekil 2.4.) (Goulding ve ark. 1992).

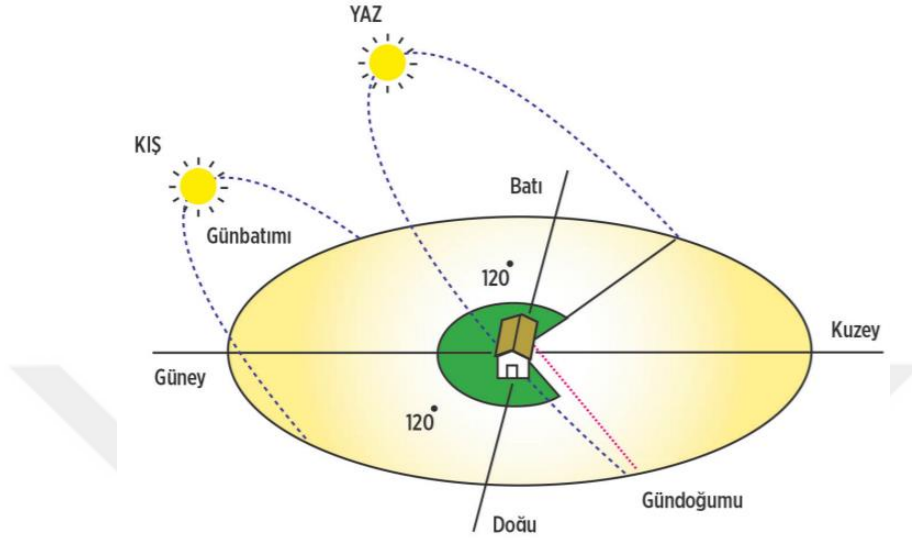
Güneş ışığının yeryüzünde bir bölgeye, hangi aylarda hangi açılarla geldiği hesaplanabildiği gibi, insan yaşamını sağlıklı bir biçimde idame edebilmesi için ihtiyaç duyduğu güneş ışığı da, miktarı ve şiddeti bakımından hesaplanabilmektedir. Bu şartlarda o alanın planlanmasında bu hesaplamaların verileri planlamaya ve bina tasarımına doğrudan ilave edilebilmektedir. Elde edilen bu veriler, her alanda aynı

olmamak koşuluyla, yerleşim bölgesinde yer alacak binaların alan genelinde hangi konumda yerleştirilmesinin daha verimli olacağını ve her bir binanın hangi yönelimde olmasının daha elverişli sonuçlar doğuracağını saptanmasını sağlayacak, binalar arası uzaklığın ve bina yüksekliklerinin ne kadar olması gerektiğini ortaya koyacaktır. Binaların birbiri üzerinde gölge oluşturmaması ya da en azından güneş ışığına en fazla gerek duyulan dönemlerde belirli saat aralıklarında gölgeleme oluşturmaması, yapılacak planlama ile rahatlıkla elde edilebilecektir (Günel ve Ilgın 2007).



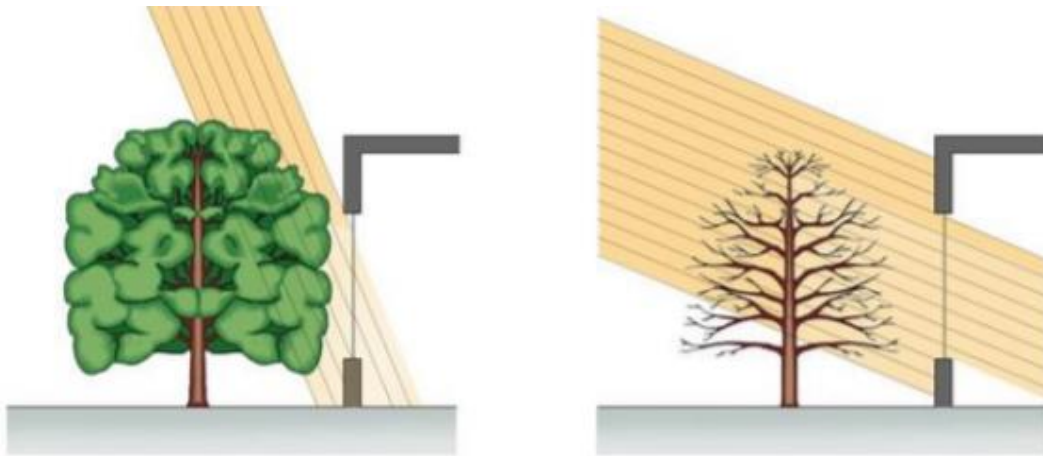
Şekil 2.4. Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasının temsili oranları

Güneş ışınları kış aylarında eğik bir açıyla kısa bir yörünge izlerken yaz aylarında ise daha dik açılarla ve daha uzun bir yörüngeyle yarım küremize çarpmaktadır (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Kuzey yarım kürede yaz ve kış dönemlerinde güneş yörüngesi (Ulukavak Harputlugil, 2016)

Bu durumdan faydalanılarak yaz ve kış aylarındaki güneş kontrolü yapının güneş ve gölge ihtiyacına göre konumlandırılmış ağaçlarla sağlanabilmektedir. Kış aylarında yapraklarını döken ağaç güneş ışınlarının içeri girmesine izin verirken yaz aylarında gölgelendirme yaparak sıcak güneş ışınlarından yapıyı koruyabilmektedir (Şekil 2.6.).

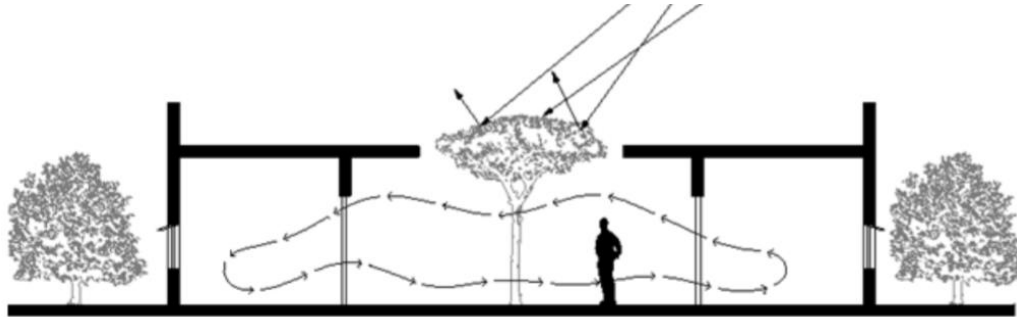


Şekil 2.6. Yaz ve kış aylarında güneş kazanımı kontrolü olarak bitkilendirmenin kullanılması

Kış aylarında enerji etkin olarak güneşten faydalanmanın en önemli şekli pencereleri güneş toplayıcı amaçlı kullanmaktır. Güneş ışınlarının camlardan geçip iç kısımda yüzeyler aracılığıyla emilmesiyle sera etki oluşur ve bu etkiyle yapıda pasif ısıtma oluşturulabilir. Isıtma gereksinimleri için faydalı olan sera etkisi yaz aylarında gereksiz ısı kazanımlarını engellemek için iyi bir kontrol gerektirmektedir (Sensoy ve ark.).

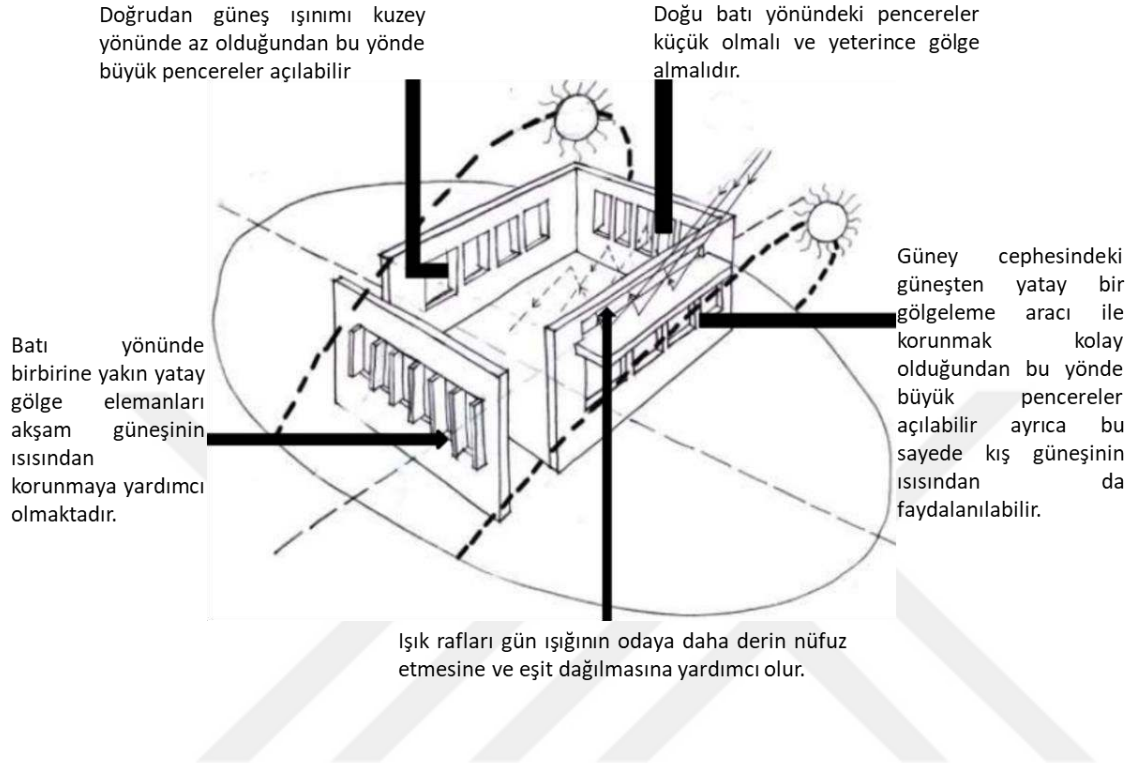
Yaz aylarında fazla ısıdan ve gereksiz enerji kullanımından kaçınmak için camların güneş ısısı toplamasını etkili bir şekilde kontrol etmek büyük önem taşımaktadır. Bunun için pencere alanı, pencere yönü, camın ısı kazanım katsayısı ve ek gölgeleme parametreleri etkili olmaktadır. Güneş ısısı kontrolü gün ışığını ve manzarayı engellemeden yapının ısı alımını en aza düşürmek için gerekli bir önlemdir. Ayrıca yansıtma oranı yüksek malzemelerin yapıda kullanımı da yapıyı yüksek ısılardan korumaktadır (Müller ve ark. 2017).

Sıcak kuru iklimde güneş ışınımıyla gelen ısıdan korunmak çok önemlidir. Güneş ışınları yüzeylere çarptığında enerjisinin bir bölümü emilir, bir bölümü yansıtılır ve bir bölümü ise iletilir. Bu iklim tipinde güneş ışınlarına karşı yapı cephelerinde uygun açıklıklar ve uygun yönlenme çok önemlidir. Yapının cephelerinde güneş ışınlarını yansıtabilen, açık renkli malzemeler tercih edilmelidir. Genelde avlulu yapıların kullanıldığı sıcak kuru iklimde avlu ve yapı çevresinde ağaçların kullanılması büyük önem taşımaktadır. Ağaçlar hem yansıtıcı olarak işlev görürken hem de avlu içinde ve bina cephesinde gölgeli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 2.7.).



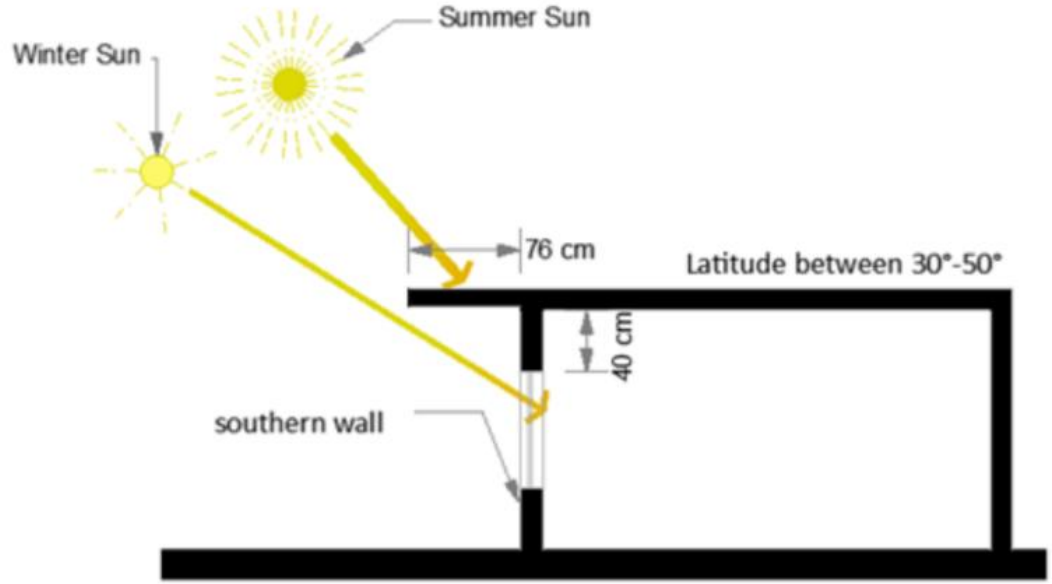
Şekil 2.7. Yansıtma ve gölgelendirme için ağaç kullanımı (Lavafpour ve Surat 2011)

Ayrıca güneş ışınlarının şiddetli olduğu yaz mevsiminde bu ışıklardan korunmak için pencereler gölgeleme araçları ile gölgelendirilmelidir (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Sıcak kuru iklimde kullanılabilecek gölgeleme araçları (Lavafpour ve Surat 2011)

Yapılan araştırmalar sonucunda güney yönünde olan pencerelerin 40 cm üstündeki 76 cm'lik bir gölgelendirme aracı yapıda yaz mevsiminde iyi bir güneş korunumu sağlarken kış güneşinin de yapıya girmesine izin vermektedir (Şekil 2.9.) (Lavafpour ve Surat 2011).



Şekil 2.9. Sıcak kurun iklimde yapıdaki gölgelendirme aracı (Lavafpour ve Surat 2011)

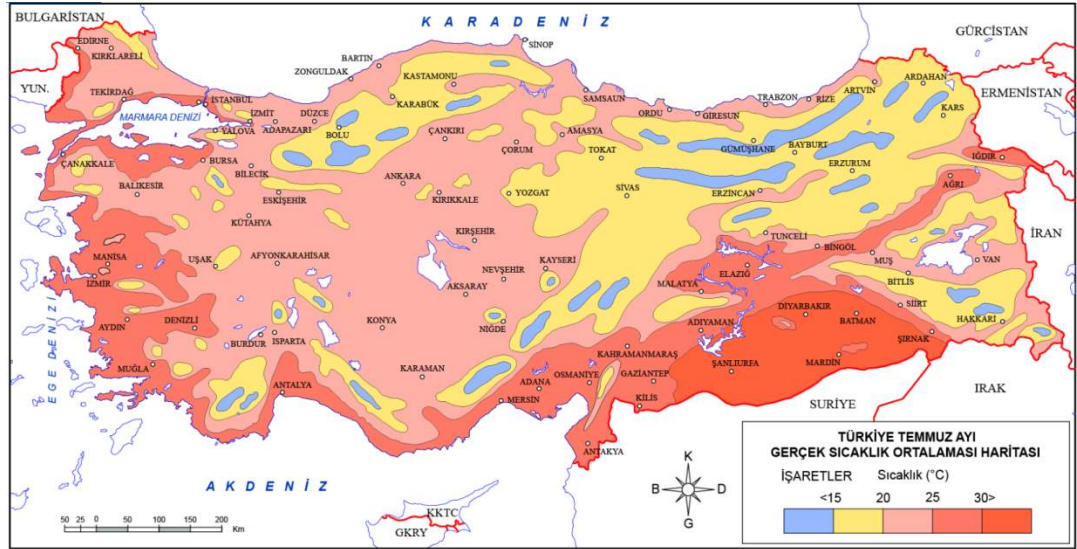
2.2.2.2 Dış Hava Sıcaklığı

Yağmur, kar, rüzgar gibi hava koşullarını belirleyen sıcaklık, ısı enerjisinin etrafa yayılmasıyla oluşan kinetik enerjidir. Bu enerjinin dünyaya yayılmasında bazı parametreler etkilidir. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir;

- Güneş ışınlarının dünyaya düşme açısı; bu açığı belirleyen etkenler ise enlem, mevsim, saat, bakı ve eğimdir.
- Güneş ışınlarının atmosferde kat ettiği mesafe; bu mesafe ışınların geliş açısına göre değişkenlik gösterir büyük açı yolun kısa olduğunu göstermektedir.
- Güneşlenme süresi; yazın güneşlenme süresi uzun olduğundan dolayı sıcaklık daha şiddetlidir.
- Yükselti; rakım arttıkça her 200 metrede 1 °C düşmektedir.

- Deniz ve kara dağılışı; kara parçaları denizlere kıyasla daha hızlı ve çok ısınıp daha hızlı soğumaktadır.
- Nem; hava sıcaklığını dengeleyerek günlük ve yıllık sıcaklık farkını düşürür.
- Okyanus akıntıları; sıcaklığın dünyadaki yayılışına tesir eder.
- Rüzgarlar; kutup yönünden esen rüzgarlar sıcaklığı azaltırken ekvatorlardan gelen rüzgarlar ise sıcaklığı yükseltmektedir.
- Bitki örtüsü; bitki örtüsü yoğun olan bölgelerde sıcaklık farkı düşük olmaktadır (Koca 2006).

Sıcak kuru iklim bölgesinde yaz ayları çok sıcak özellikte olup kış ayları ise nadiren soğuk olmaktadır. Karasallıkla ilişkili olarak, gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkları 15°C ile 20°C dolaylarına kadar yükselmektedir (Meir ve Roaf 2002). Türkiye'nin iklim haritası incelendiğinde, sıcak-kuru iklime sahip Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin temmuz ayı gerçek sıcaklık ortalamaları 30°C'nin üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 2.10).



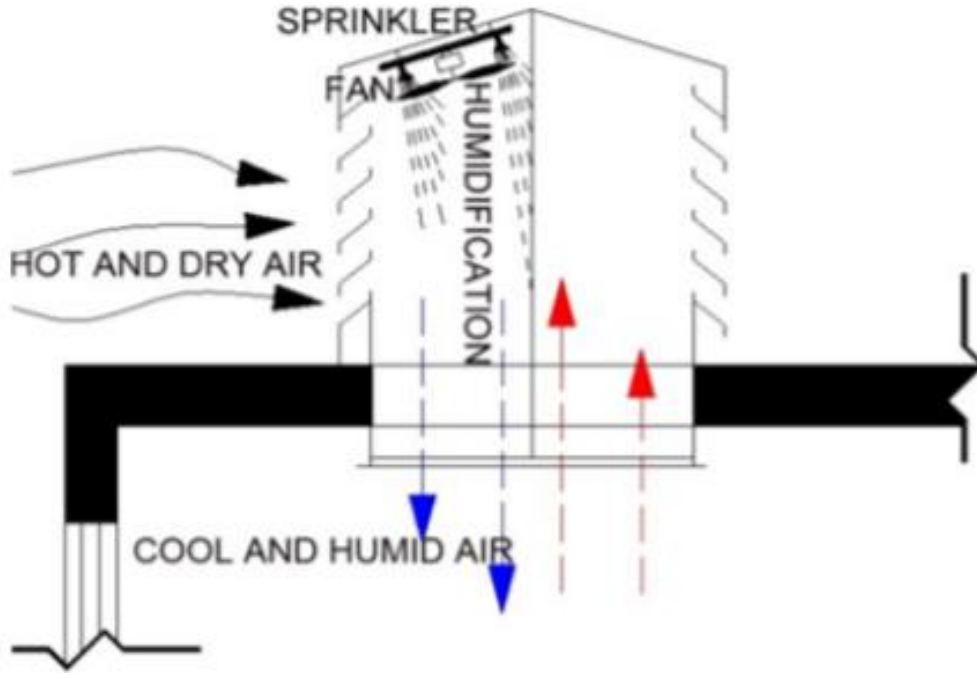
Şekil 2.10. Türkiye temmuz ayı gerçek sıcaklık ortalaması haritası (URL-1)

2.2.2.3 Dış Hava Nemliliği

Dış hava nemliliği, binanın iç iklimsel konforuna, enerji verimine ve bina sağlığına tesir eden önemli bir etkidir. Konut yapısının iç iklimsel konforu için gerekli olan nem seviyesi %40-%60 civarında olmalıdır. Bu oranın üzerindeki bir nem seviyesi ortam ısısının şiddetini arttırıp sıcaklığı daha sıcak, soğukun da daha soğuk hissedilmesini sağlayacaktır. Bu oranın altındaki nem seviyesi ise kurumaya bağlı sağlık ve konfor problemlerini meydana getirir. Bundan dolayı nem seviyesinin düşük veya yüksek olması da konfor açısından negatif bir etki sergilemektedir. Ayrıca dış ortamdaki nem bina kabuğuna yayıldığında yoğuşmaya neden olacağı için bu durumda mikroorganizmaların çoğalıp malzemeleri çürütmesi kaçınılmaz olur.

Nem binada kullanılan geçirgen materyallere ve ısı yalıtımına işlediği zaman materyallerin işlevlerini yerine getirmesine engel olarak ısı iletkenliklerini yükseltmektedir. Bu durumda kabuk elemanlarının ısı direnci düşmüş olur. Bilhassa deniz kenarı veya bitki dokusunun fazla olduğu ya da yağışın olduğu yerleşim alanlarında buharlaşma fazla olduğu için nem de daha fazladır. Buna benzer yerleşim yerlerinde yapılacak olan binaların dış cephesinde kullanılacak olan materyaller sert ve nemi toplamayan materyaller olmalı ve hızlı drenaj yoluyla nemin negatif sonuçlarından korunmaya çalışılmalıdır (Soysal 2008).

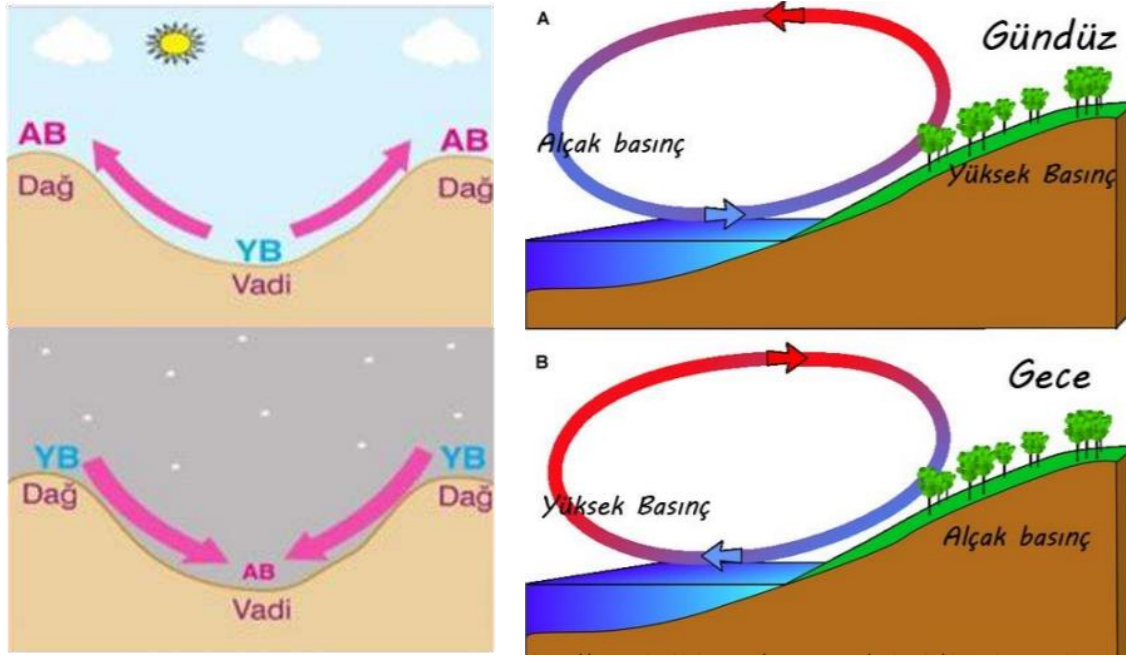
Sıcak kuru iklimde yapıları nemli hava ile soğutma başarılı bir yöntemdir. Yapılarda kullanılan geleneksel rüzgâr tutucuların giriş kanallarına bir adet fan ve bir adet pompa eklenerek buharlaştırılmalı soğutuculara dönüştürmek mümkün olmaktadır. Bu durumda fan ile yapıya daha çok hava alınıp pompa ile de kuru hava nemlendirilmiş olmaktadır (Şekil 2.11.) (Lavafpour ve Surat 2011).



Şekil 2.11. Geleneksel rüzgar tutucusuna nemlendirici elemanlar eklemek (Lavafpour ve Surat 2011)

2.2.2.4 Rüzgâr

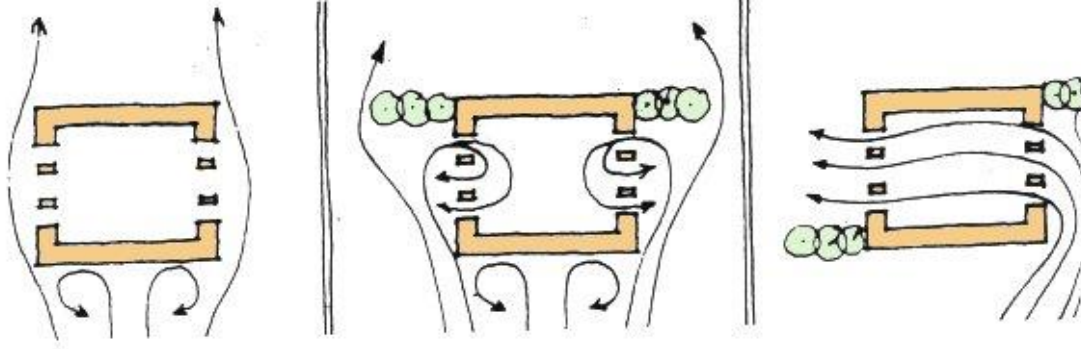
Rüzgar en yalın tanımıyla yatay hava hareketidir. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan hava akımıdır. Karalar ve denizler farklı şekilde ısınıp soğuduklarından dolayı kıyı meltemleri meydana gelmektedir. Kara parçaları denizlere kıyasla daha hızlı ısındığından, gündüzleri denizden karaya, geceleri ise karadan denizlere doğru olan kıyı rüzgârları oluşmaktadır. Ayrıca soğuk havanın hafif olup yükselme, sıcak havanın ağır olup çökme özelliklerine göre dağ, yamaç ve vadilerde de gece gündüz sıcaklık farkından dolayı rüzgar akışları vardır (Şekil 2.12.). (URL-2).



Şekil 2.12. Basınç farkıyla rüzgarın oluşumu (URL-5)

Enerji etkin tasarımlarda rüzgar sıcak dönemde serinletici ve buharlaşmayı yok edici olarak kullanılırken soğuk dönemde ise bina kabuğundan sızarak enerji korunumunu zorlaştırabilmektedir. Enerji etkin tasarımda rüzgârın yönü, hızı ve frekansının sezonlara göre farklılaşması önemlidir. Soğuk yerleşim alanlarında yapıların kısa duvarlarının hakim rüzgar doğrultusunda konumlandırılması gerekirken sıcak yerleşim alanlarında ise yapıların birbirinin rüzgarını kesmeden konumlandırılması rüzgarın serinletici etkisinden faydalanabilmek için önem kazanmaktadır (Soysal 2008).

Sıcak kuru iklimde oluşan sıcak rüzgarlar iklimsel konfor açısından büyük rahatsızlıklar oluşturmaktadır. Bu iklimde tasarlanan yapılarda bu sıcak rüzgarlardan korunmak için yapıların etrafına rüzgar yönünde ağaç, çit, çalı ve duvarlar gibi rüzgar bariyerleri yapılmalıdır (Anonim 2019). Ayrıca mimari ve peyzaj tasarımları birbirlerine uyum sağlamalıdır. Yapılan tasarım soğuk dönemde rüzgârı kesmeli, sıcak dönemde ise soğuk hava akımlarına izin vermelidir (Şekil 2.13.)(Anonim 2013).



Şekil 2.13. Mimari ve peyzaj tasarımının rüzgarı şekillendirmesi (URL-3)

2.2.3 Binaya ve Yerleşmeye İlişkin Faktörler

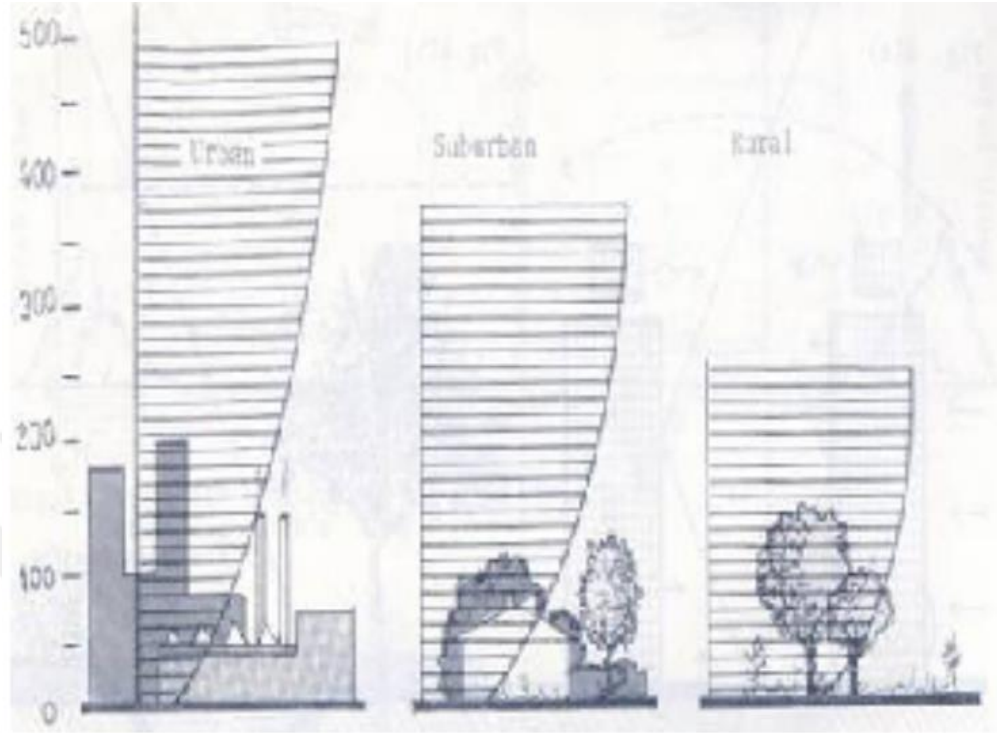
Yapı sektöründe sürdürülebilir alanların uygulanmasının hedefi çevresel şartlardan en fazla yarar sağlamak ve bu şartlara göre en iyi çözümleri sunmak olmalıdır. Bu sebeple iklimsel faktörlerin iyi incelenmesi ve bununla beraber yapılacak binanın tasarım değişkenlerinin doğru seçimi enerjiyi etkin kullanan yapma çevreler için önem taşımaktadır. Bu kısımda değerlendirilecek binaya ve yerleşmeye ilişkin faktörler olarak bina yeri, bina formu, bina yönü, bina kabuğu, mekan organizasyonu ve doğal ventilasyon incelenecektir.

2.2.3.1 Bina Yeri

Binanın bulunduğu yarım küre, eğim ve açı ciddi tasarım faktörleridir. Binanın yeri enerji etkin bina tasarımında çok önemli görevi olan mikroklima şartlarını, enerji maliyetlerine etki eden güneş ışıınımını, hava sıcaklığını, hava dolaşımı ve nem benzeri iklim değerlerini tanımlamaktadır (Yüksek ve Karadayi 2017). Ayrıca binanın yer seçimi yapılırken, iklimsel veriler ve arazinin topografik koşullara göre hareket edildiğinde binanın ısıtma ya da iklimlendirmesi için gerekli olan enerji tüketimini azaltarak hava kirliliğinin önüne geçilebilmektedir.

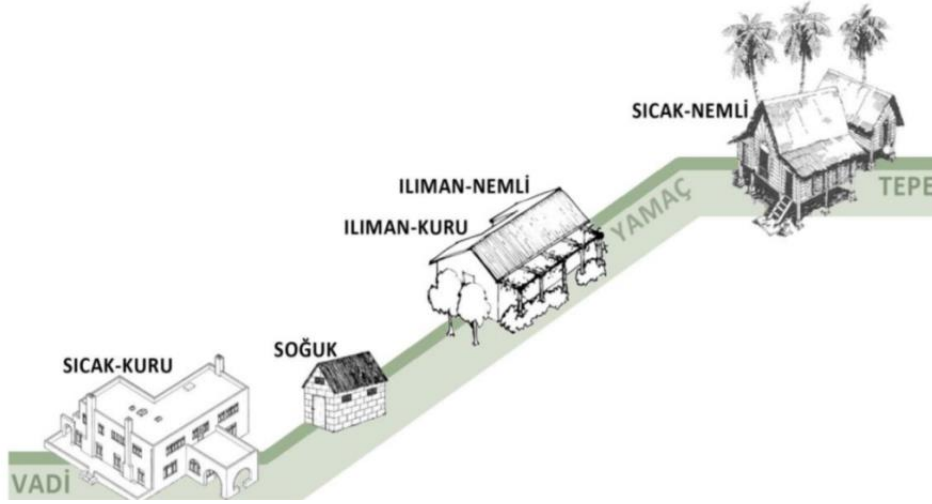
Enerji etkin tasarımda binanın yeri belirlenirken fiziksel çevre verileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu veriler; bölgenin topografyası, biyolojik çeşitlilik, hakim rüzgar yönü ve iklimdir. Uygulanacak binanın yer seçimindeki en önemli unsur güneşin ısı ve ışıınımından faydalanmak, zararlarından da korunmaktır. Hava sıcaklığı, rüzgâr ve nem de binanın enerji etkin olmasında aynı zamanda kullanacağı enerjide önemli etkenler olmaktadır. Ayrıca binanın kat sayısının çok olması da binanın daha fazla hava

akımına ve ısı kaybına neden olmaktadır. Şekil 2.14. de binanın yer ve enerji etkinliği ilişkisi görülmektedir (Dikmen 2011).



Şekil 2.14.Yapının Yer Seçimi-Enerji Verimliliği İlişkisi (Dikmen, 2011)

Sıcak kuru iklimlerde var olan nemi daha da azaltmamak için rüzgârın daha az hissedildiği düşük rakımlı yerlere konumlandırma yapılmalıdır (Şekil 2.15.) (Sojoudihassanlouei 2019). Göl kenarları nem etkisinin arttırılması açısından tercih edilen bölgelerdir.



Şekil 2.15. Farklı iklim bölgeleri için nemlilik ve sıcaklık oranlarına bağlı olarak arazi üzerinde ideal yer seçimi (Sojoudihassanlouei 2019)

2.2.3.2 Bina Yönü

Yapıların pasif tasarımında en önemli parametrelerden biri yapının yönlendirilmesidir. Bina yönü, alınan güneş ışınımı şiddetini ve gölgelenme gibi pasif tasarımları da etkilemektedir. Uygun bina yönünün pek çok yararı vardır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir;

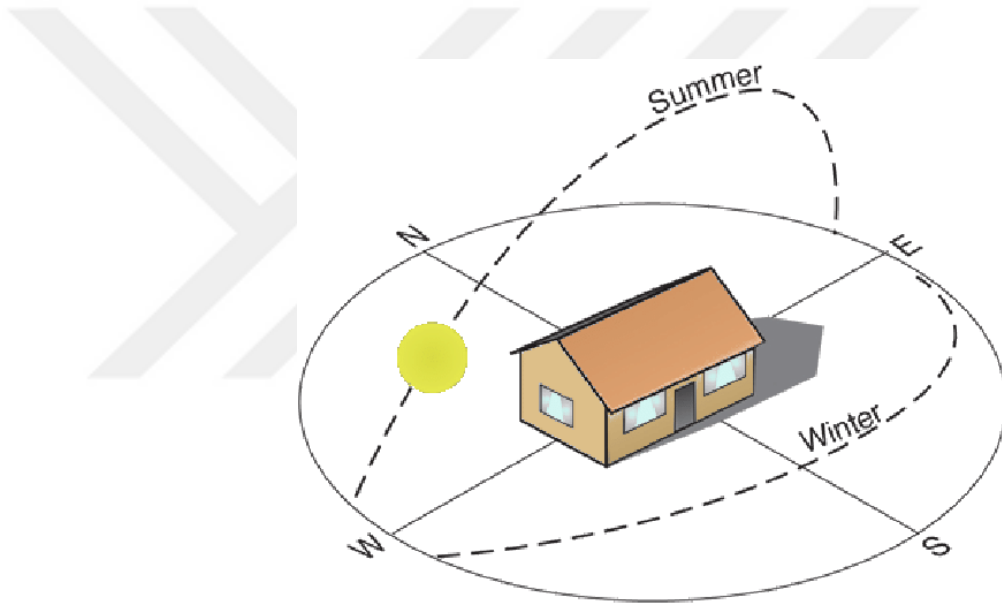
- Proje tasarımının başında kararlaştırılan düşük maliyetli bir tutumdur.
- Enerji ihtiyacını azaltmaktadır.
- Gün ışığından yararlanmayı artırarak yapay ışığa olan ihtiyacı azaltmaktadır.
- Güneş kolektörlerinin performansını yükseltmektedir.

Güney yönü kışın ısıyı arttırmak yazın ise güneş ışınımını kontrol etmek için en uygun yön olarak kabul edilmektedir (Pacheco ve ark. 2012).

Bölgede etkili olan rüzgâr ve güneş ışınlımlarına karşı gerekli korumayı gerçekleştirmek için binaların yönünün bölgenin iklim şartlarına elverişli olması gerekmektedir. Hava sıcaklığının düşük olduğu bölgelerde gece sıcaklıkları daha çok

azalır. Bu durum çukur ve vadilerde daha şiddetli şekilde soğuk hava kütlelerinin toplanmasına sebep olur. Bu sebepten ötürü soğuk bölgelerde yapıların vadiler kadar serin rüzgârlardan etkilenmeyen yamaçlara konumlandırılması önerilir (Yüksek ve Karadayi 2017).

Sıcak kuru iklim denizden uzak ve fazla yağış almayan bölgelerde oluşmaktadır. Bu sebeple nem çok azdır. İklimsel konforu sağlayabilmek için binaların uzun cepheleri en az güneş ışığına maruz kalacak kuzey güney yönüne bakmalıdır (Şekil 2.16.). Ayrıca yapının az kullanılan mekanları, kışın yapıyı soğuktan yazın ise fazla güneş ısısından korumak için dış cephelere yerleştirilmelidirler (Majdi Ayebe).



Şekil 2.16. Sıcak kuru iklimde bina yönlendirilişi (Ulukavak Harputlugil, 2016)

2.2.3.3 Bina Formu

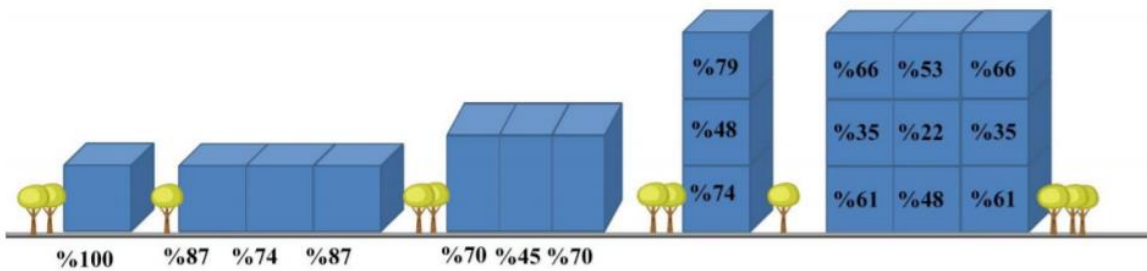
Yapının formu aldığı güneş enerjisinden ziyade toplam enerji kullanımını da etkilemektedir. Yapıya çarpan ışınlar soğutma için ihtiyaç duyulan enerjiyi %25'e kadar yükseltebilmektedir. Bu durumda binanın formu yalnızca güneş ışınımını alan yapının toplam yüzeyini değil aynı zamanda dış ortama maruz kalan yüzeyi ve bu sebeple harcanan enerjiyi de göstermektedir. Binanın formuyla bağlantılı olan ve ısıtma-soğutma ihtiyaçlarını etkileyen parametreler;

- Yoğunluk indeksi

- Form faktörü
- İklim ve form optimizasyonu
- Yaşam döngüsü maliyeti ve binanın şekli'dir.

Form faktörü; yapı uzunluğunun yapının derinliğine olan oranı olarak tanımlanabilmektedir. Yönlendirme ile birlikte form doğru uygulandığında %36 oranında ısı enerjisi tasarrufu sağlanabilmektedir. İklim ve form optimizasyonu; çok soğuk iklimlerde güneş ışığı alan yüzeyin artırılmasıyla kazanılabilecek ısı miktarından fazlası yapının zarfından kaybedilir. Bu sebeple düşük yoğunluk indeksli yapılar ısı gereksiniminde de artışa yol açmaktadır. Sıcak iklimlerde ise bu oran doğrudan olmayıp sabit bir yapı formu performansı belirlenmemektedir. Yaşam döngüsü maliyeti ve binanın şekli; bir yapının yaşam döngüsü tasarım sürecinden yıkımının sonuna kadar geçen zamandır. Bir yapının yaşam döngüsü süresince toplam enerji tüketiminin %80-%85'i yapının kullanımı zamanında gerçekleşir. Bu enerji tüketimi yapıyı ısıtma, soğutma havalandırma, aydınlatma, su temini, su ısıtma gibi maliyetleri kapsamaktadır (Pacheco ve ark. 2012).

Bina formunun kompaktlığı arttıkça ısı kazanım ve kaybı o kadar azalmaktadır. Bina formu çevredeki hava şeklini belirler ve bu şekilde binanın havalandırılmasını direkt etkilemektedir. Ayrıca binanın derinliği yapay aydınlatma ihtiyaçlarını da belirlemektedir ve derinlik arttıkça yapay aydınlatma gereksinimi de artmaktadır (Şekil 2.17.).



Şekil 2.17. Binaların farklı şekillerde bir araya gelmesi sonucu ısı kayıp oranları (Tönük 2001)

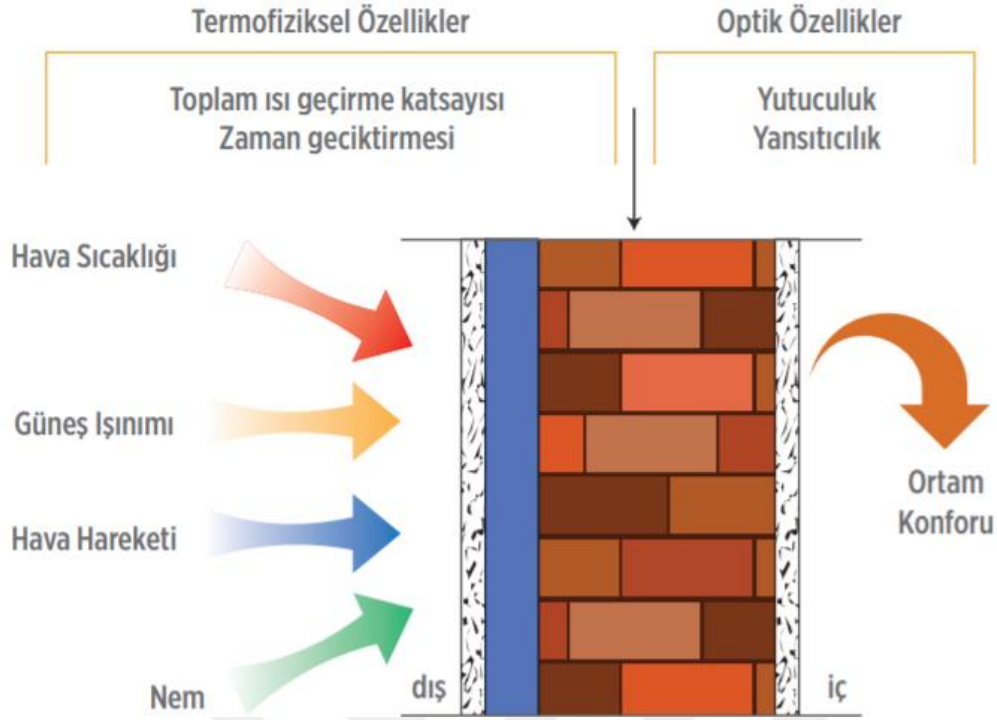
Sıcak-kuru iklimde yapı formu yoğun ve avlulu şekilde tasarlanmalıdır. Yapıların birimleri avlu etrafında düzenlenip buharlaşma ve ısıtım ile gece soğutması yapılabilir. Bu iklimdeki yapılarda sıcaklık etkisinin düşürülmesi için yapı birimlerinin cepheleri dar derinlikleri ise fazla olmalıdır (Kısa Ovalı 2009).

2.2.3.4 Bina Kabuğu

Bina kabuğu, yapıların enerji etkinliğini en iyi düzeye getirmek ve en iyi iç mekân konforunu gerçekleştirmek için en önemli parametrelerden biridir. Bina kabuğu iç ve dış mekân arasındaki ısı geçişlerini engellerken güneş ısı ve ışığının yapıya alınmasına izin verecek şekilde etkin olmalıdır. Bina kabuğu kesintisiz olarak ısı yalıtımı ile kaplanmalı ve ısı köprülerinin oluşumuna izin verilmemelidir. Ayrıca kabuktan ısı ve nemin çıkmasının önüne geçmek için kesintisiz bir hava sızdırmazlık katmanı yapılmalıdır. Bu katman sayesinde iç mekândaki hava ve nemin dışarıdaki soğuk hava ile karşılaşp yoğuşma, küf ve çürüme ile sonuçlanması engellenmiş olmaktadır. Kabukta açılan pencereler yalıtım ve hava sızdırmazlık katmanları ile birlikte süreklilik oluşturacak şekilde tasarlanmalıdır (URL-4).

Temel, çatı, duvarlar, kapılar ve pencerelerden oluşan bina kabuğu ve ısıtma sisteminin çalışma süresi toplam enerji kullanımında en yüksek etkisi olan faktörlerdir. Bina kabuğu iç konfor koşullarını dolaylı olarak ısıtma ve soğutma için gereken ilave enerji ihtiyacını belirlemektedir. Ayrıca bina kabuğunu meydana getiren faktörler bazı gereklilikler üzerinde olumlu etkiye sahip olurken diğerleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu sebeple binanın performansının çok yönlü olarak incelenmesi gerekmektedir (Şekil 2.18.) (Pacheco ve ark. 2012).

Yapıların bitişik nizam şeklinde inşa edilmesi yapı dış yüzey alanını azaltıp bina kabuğu aracılığıyla ısı kazancı ve kaybını düşürmektedir (Yüksek ve Karadayı 2017).



Şekil 2.18. Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri (Ulukavak Harputlugil, 2016)

Bina kabuğunun fiziksel özellikleri hem ısı geçişini hem de enerji verimliliğini etkileyen bir faktördür. Binanın kabuk alanının artması enerji verimliliğini düşürmektedir. Yapı kabuğunun güneşten elde ettiği ısı kazançları ve kayıplarını belirleyen bina kabuğu özellikleri vardır. Bunlar; ısı alışverişi, malzemelerin kalınlığı (m), yoğunluğu (δ) (g/cm^3), ısı iletim katsayısı (λ) (W/m.K), özgül ısı (c) ($\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$), yüzeyinin ışığı emme ve yansıtma katsayısı, ses yutma katsayısı, yüzeyin düzlüğü veya pürüzlülüğü, doluluk-boşluk oranıdır. Yapı elemanları; opak ve saydam bileşenlerinin birbirine oranı, yapı bileşenlerini oluşturan katmanların kalınlığı, bu katmanların özelliği, çevresel etkileri ile birlikte ele alınarak iklime uygun olacak şekilde tasarlanmalıdır (Çizelge 2.1.) (Tıkansak 2013). Bu sebeple sıcak dönemde güneşin ısısından korunmak ve soğuk dönemlerde de güneş ışınlarında en çok faydayı sağlamak için güney cephedeki bina kabuğunda pencereler açılmalıdır. Isı ihtiyacının çok olacağı iklim şartlarında kuzey doğrultudaki kabuğun sağır olması güney doğrultuda açılan pencerelerde ise ısı kaybı düşük camlar tercih edilmesi enerji verimliliğinin artırılmasında etkili olacaktır (Dikmen 2011).

Çizelge 2.1. Örnek yapı bileşeni detaylar (Kılıç Turan 2019) (Ekizce Can 2015)

Malzeme listesi	Kalınlık d (m)	Isıl İletkenlik Değeri λ (W/m.K)
Çimento harçlı sıva	0.02	1.4
Dolu tuğla	0.29	0.79
Kireç harçlı sıva	0.02	0.87
Gazbeton	0.2	0.14
Gözenekli hafif tuğla duvar	0.34	0.33
Düşey delikli tuğla duvar	0.22	0.46
Polistiren sert köpük	0.05	0.04
Betonarme Döşeme	0,12	2,50
Bitümlü Su Yalıtımı	0,006	0,19
Cam Yünü Isı Yalıtımı	0,08	0,035
Geotekstil Keçe	0,0018	0,19
Tavan Sıvası	0,012	0,70
Filtre Katmanı	0,00031	0,19
Kök Tutucu Örtü	0,00045	0,19
Koruyucu Katman	0,001	0,19
Delikli Drenaj Levhası	0,025	0,19
Filtre Katmanı	0,00031	0,19
Bitki Taşıyıcı Katman	0,05-0,5	0,25
Bitki	0,10	0,3

Sıcak kuru iklimde geleneksel yapılarda yüksek termal kütleyle sahip yapı kabukları kullanılmaktadır. Bu sayede dış ortamdaki sıcaklık iç kısma daha geç ulaşmış olup iç mekanda termal bir denge sağlanır. Yine sıcak kuru iklimdeki yapılar incelendiğinde bina kabuğundaki şeffaflık oranının az olduğu, opak kısımların ise kalın ve yüksek ısı kapasitesi olan materyallerden yapıldığı görülmektedir. Opak materyallerin yüksek ısı kapasitesi ile dış ortamdaki sıcaklığın iç mekana aktarılmasını geciktirdiği, düşük şeffaflık oranı ise pencereler aracılığıyla elde edilen ısıyı azalttığı görülmektedir (Behbood ve ark.).

Bu bölgede değişen iklim şartlarına karşı yapılabilecek en iyi enerji etkin tasarım parametresi ısıl kütlesi yüksek olan bina kabuğuna yapılarda sahip olmaktır. Dahası bu bölgenin geleneksel konutları da incelendiğinde cephelerde ısıl kütlesi fazla olan geleneksel taşların yığma sistemde çokça kullanıldığı görülmektedir ve yapılan araştırmalar sonucunda bu iklimdeki enerji etkin yapılarda yapı kabuğunun ısıl kütlelerinin yüksek olmasının ısı yalıtımından daha verimli sonuçlar çıkardığı görülmüştür (Yılmaz 2013).

2.2.3.5 Mekân Organizasyonu

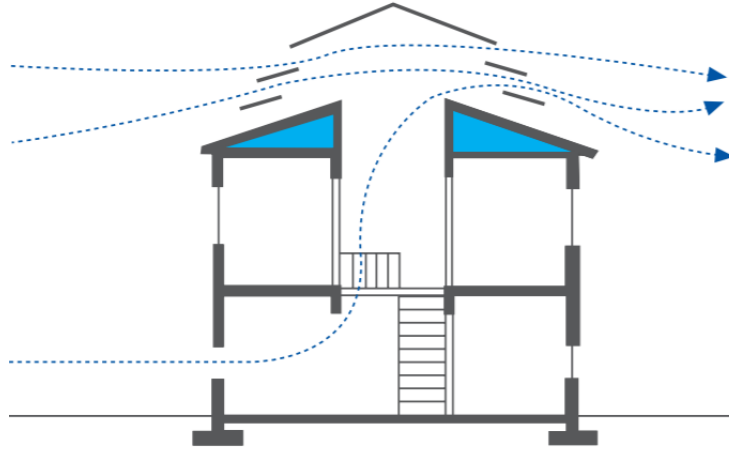
Alman Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı aracılığıyla ortaya konan “İnşaat ve Enerji” isimli çalışmanın sonuçlarına göre plan organizasyonunda mekanın konumu enerji kullanımı bakımından mekanın yöneliminden daha etkilidir. Binaların enerji gereksinimi tasarımın mekân düzeniyle düşürülebilir ve güneş radyasyonundan en verimli şekilde faydalanılarak ısıtma için gerekli olan enerji azaltılabilir. Ortak mekanlar daha çok ısıtmaya ihtiyaç duyarken kiler, banyo ve tuvalet gibi mekanlar daha az ısıtılma ihtiyacı duyar. Isıtılma ihtiyacı az olan mekânlar dışarıya ısı geçişinin azaltılması gereken yerlere tampon alanlar olarak kullanıldığında ısı kaybını azaltmaktadır ve yapıların güney tarafında konumlandırılarak güneş odası olarak işlev görebilecek mekanlarda ısı depolayarak binanın ısıtılmasına ve enerji tasarrufuna fayda sağlayabilmektedir (Yüksek ve Karadayı 2017).

Sıcak kuru iklimde yaz aylarında, güneş ışınlarına bağlı yüksek sıcaklıklar büyük problemler ortaya çıkarabilmektedir. İyi bir çapraz havalandırmaya elverişli yapılarda karşılıklı pencereler açılarak rüzgârın serinletme etkisinden faydalanılabilmektedir. Mekân organizasyonunda odaların düzeni işlevlerine ve kullanım saatlerine göre planlanmalıdır. Yatak odaları akşam saatlerinde en serin olan doğu cephesine yerleştirilmelidir. Gün boyu kullanılan oturma odası gibi odalar yaz döneminde güneş ışınlarına maruz kalmayacak şekilde planlanmalıdır. Mutfak gibi, fazla iç ısı olan odalar mümkün olduğunca ana odalardan ayrılmalıdır (Akande 2011).

2.2.3.6 Doğal Vantilasyon

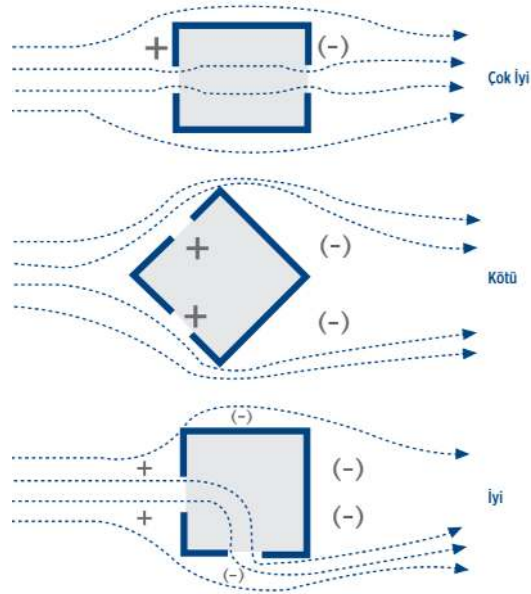
Binalarda ısınan havanın yükselmesi kanununun yardımıyla açıklanabilecek konvektif akım ile yaz ve kış aylarında pasif serinletme ve pasif ısıtma yapılabilmektedir. Yaz aylarında rüzgar doğrultusunda ve güneş ışınımını daha eğik açılarla alan kuzey doğrultusunda açılan düşük kotlardaki pencerelerden alınan havanın iç mekanlarda dolaşımına izin verilmelidir. Bu şekilde alınan hava ısındıktan sonra da üst kottaki pencerelerden dışarı verilmesiyle doğal vantilasyonun gerçekleştirilmesi mümkündür. Aynı yöntemle vantilasyonu kuvvetlendirmek için yapılmış güneş bacaları sayesinde baca etkisinden faydalanılarak serinletme için daha büyük bir hava akımı oluşturulabilmektedir. Kış aylarında ise sera etkisinden yararlanılarak güneş bacasında ısınan havanın iç ortamlara doğal dolanım aracılığıyla ulaştırılması sağlanabilmektedir.

Dahası döşeme aralarında dolanan serin ya da ılık hava ısıtma veya soğutma için kullanılabilir (Şekil 2.19.) (Harputlugil 2016).



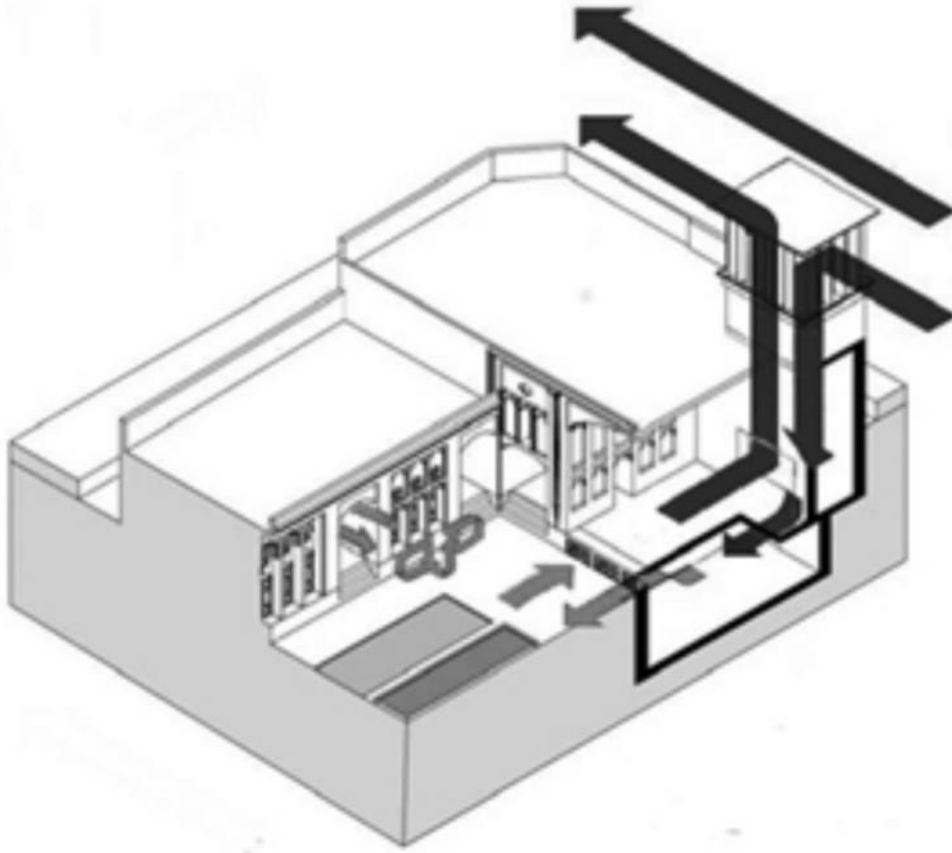
Şekil 2.19. Doğal havalandırma ve baca etkisi (Ulukavak Harputlugil, 2016)

Mimari tasarımda doğal vantilasyonu etkileyen parametreler olarak rüzgar doğrultusundaki yapı açıklıkları, bu açıklıkların oranı ve konumlanışı, açılış yönleri ve iç mekandaki duvarların konumları olarak sıralanabilir (Şekil 2.20.).



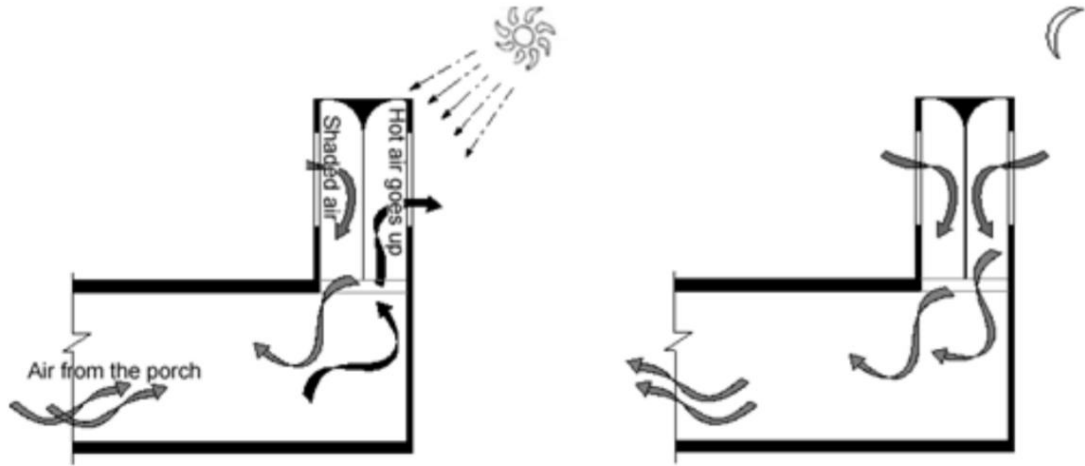
Şekil 2.20. Bina açıklıklarının konumlarına göre rüzgarın şekillenmesi (Ulukavak Harputlugil, 2016)

Sıcak iklimlerde geçmişten günümüze hem serinletme hem de havalandırma için belirli teknik çözümler uygulanmıştır. Örneğin sıcak kuru iklime sahip İran'da rüzgar kuleleri MÖ 3000 yılının başlarında kullanılmaya başlanmıştır. Rüzgar kuleleri rüzgarın yönüne doğru bir açıklıkla yapılan yapının üstünde yükselen bir bacadır. Bu kuleler rüzgarı içine alıp iç mekana iletmektedir. Rüzgar tutucular iki ayrı mekanizma ile işlev görmektedirler bunlardan ilki, temiz havayı yapıya çekip kirli ve sıcak havayı yapının dışına aktarmaktır (Şekil 2.21.).



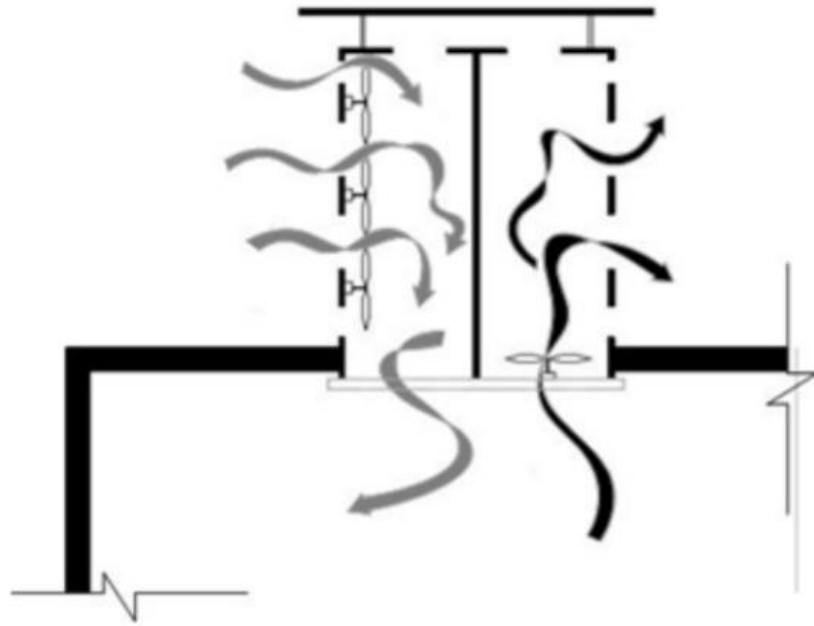
Şekil 2.21. Çekiş ve emişe göre işlev (Lavafpour ve Surat 2011)

İkinci olarak da kulenin sıcaklık farkına göre işlev görmesidir. Gün boyunca güneş rüzgar kulesinin güney yönüne çarpar ve bu yöndeki şaftın içindeki havayı ısıtır, ısınan hava yükselip yapıdan çıktığında ise vakum etkisiyle kuzey yündeki şafttan ve iç avludan serin havayı çekmiş olur. Geceleri ise dışardaki hava serinlediğinden bacadan yapıya rahatlıkla iner ve gece serinletmesi de yapmış olur (Şekil 2.22.).



Şekil 2.22. Rüzgar kulesinin sıcaklık farkına göre işlev görmesi (Lavafpour ve Surat 2011)

Ayrıca yapıdaki termal konforun artırılmasına yönelik daha iyi havalandırma ve daha yüksek hava akış miktarı için rüzgar kulesine fan eklenebilmektedir (Şekil 2.23.) (Lavafpour ve Surat 2011).



Şekil 2.23. Hava akış miktarını arttırmak için hava kulesine fan ekleme (Lavafpour ve Surat 2011)

2.3. Yeşil Çatı Sistemlerinin Binalardaki Enerji Performansına Etkisi

Yeşil çatı sistemleri enerji verimli, bitkilendirilmiş çatılar olarak tanımlanabilmektedir. Geçmişten günümüze çoğunlukla sıcak iklimlerde serinlik sunmak ve güneş ışınlarının olumsuz etkilerinden korunmak için yapılmıştır (Gargari ve ark. 2015). Yeşil çatı sistemleri bitki tabakası ve bitki taşıyıcı gibi katmanları sayesinde yapıdaki enerji kullanımını azaltmaktadır. Çatıda kullanılan bitkiler ısıyı emip depolayarak, bitkilerin buharlaştırma aracılığıyla çatıyı soğutur. Bitki taşıyıcı katman da yalıtım sağlayıp topraktan buharlaşma ile serinletme sağlayarak, yapının çatısında yüksek sıcaklıkları önlemektedir. Bu sistemler ısı akışını kontrol edip yapıdaki enerji dengesini yüksek oranda etkilediği için çatıdan iç ortama olan ısı aktarımını azaltarak iç iklimsel konforun oluşturulmasında büyük rol oynamaktadır. Ayrıca yeşil çatı sistemleri yakın çevrenin ısını azaltarak kentsel ısı adası etkisinin düşürülmesinde de etkili olmaktadır (Hui ve Yan 2016).

Yakın zamanda yeşil çatı sistemlerinin çeşitli amaçlar ile yapılan ve farklı büyüklüklere sahip yapılarda ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarındaki etkisini araştıran çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların birinde Kanada'daki bir yapının çatısı 36 m²'lik iki eşit parçaya bölünmüştür, bu parçalardan birine seyrek bitkilendirilmiş yeşil çatı, diğerine ise su yalıtım malzemesi ile kaplanmış geleneksel bir çatı uygulanmıştır. Çalışma alanın 50 m uzağına konumlandırılmış meteoroloji istasyonu çatıların yüzeyindeki sıcaklık miktarı, dışardan yapının içine olan ısı akış düzeyleri, yansıtıcılık seviyeleri ve atık su arıtma miktarları 2 yıl süresince ölçülmüştür. İncelemelerin sonucuna göre yeşil çatı yapılan yapının iç mekanı için ihtiyaç duyulan yaklaşık günlük enerji miktarı referans çatıya göre %75 oranında daha az olduğu görülmüştür (Lui ve Başkaran 2003). Lousianna Üniversitesi'nde A. Spala ve arkadaşları tarafından yürütülen çalışmada Atina'da yapılan başka bir araştırmaya göre bir kamu binasının 210 m²'lik çatısına yapılan yeşil çatı sistemi enerji simülasyon programı aracılığıyla incelenmiştir ve sonuç olarak yapının çatısının sıcak aylarda soğutma yükünü alt katlarda %15-%39 oranlarda, en üst katta ise ortalama %58 olarak toplamda yapıda ortalama %40'ayaklaşan oranda azaltarak performansı yükselttiği açıklanmıştır (Spalaa ve ark. 2008).

2.4. Yeşil Çatı Kavramı ve Tanımı

Yeşil çatılar geleneksel membran çatılar doğrultusunda oluşturulmuş vejetatif çatılardır (Southwood 2016). Eko çatılar, yeşil çatılar, canlı çatılar, ekili çatılar ve bitki örtülü çatılar gibi adlandırmaları olan bu çatı türünde bu yapılan tanımların hepsi çatının görünümünü veya performansını ya da ikisini birden iyileştirmek için bitkilerin kullanıldığı çatı şeklini ifade eder (Shafik ve Hussein 2013).

Yeşil çatılar, yağmur suyu akış yönetimi, kentsel ısı adalarının hafifletilmesi ve çatı materyallerinin dayanıklılığının arttırılması gibi kentsel ortamdaki birçok sorunu çözenin bir yolu olarak birçok kentte son yıllarda çokça araştırma konusu olmuştur. Ayrıca son yıllarda yeşil çatı sistemlerinde enerji performansı ve termal özellikler konusunda yapılan çalışmalar binaların enerji verimliliğini yükseltme potansiyeline sahip olan bu sistemleri oldukça önemli hale getirmiştir. Genel olarak yapılan araştırmalar mekanda iç ve dış yüzeylerde termal dalgalanmanın hafifletilmesini sağlayarak iç mekan konfor koşullarının bakımı için tüketilen enerjinin azaldığını göstermektedir (Parizotto ve Lamberts 2011).

Ayrıca bu çatılar sıradan çatılara oranla daha iyi akış kalitesi, yükselen karbonu tutma, yapının enerji talebinde azalma ve kentsel doğal yaşam alanlarında artış sağlamak gibi başka faydaları da barındırırlar. Dahası sosyolojik açıdan yeşil alanların bireyler üzerinde etkilerinin olduğu da gözlemlenmektedir (Laminack ve ark. 2014).

2.4.1. Yeşil Çatıların Faydaları

Günümüzde yeşil çatı sistemleri kentsel alanlara sunduğu estetik özelliklerin dışında kentlerdeki doğal ekosistemi dengelemede önemli bir rol üstlendikleri için tercih edilmektedirler.

Yapılan araştırmalar doğrultusunda bu sistemlerin daha pek çok faydasının olduğu görülmektedir. Bu faydaların büyük bir kısmı kentsel olurken bir kısmı da yapı ve yapı sahibi odaklı olmaktadır. Bu faydaları şöyle sıralayabiliriz (Ergin ve ark. 2019);

1. Hava kalitesinde artış

2. Habitat ve ekolojik biyoçeşitliliğin oluşturulması ve korunması
3. Bir şehri soğutma ve sıcaklık düzenleme
4. Geliştirilmiş termal performans
5. Estetik açık alan ve kentsel gıda üretimi
6. Yağmursuyu yönetimi
7. İklim değişikliğini azaltma ve uyum
8. Mikroklimaların oluşturulması
9. Bitkiler ve bina izolasyonu
10. Karbondioksit ve oksijen değişimi
11. Suyu filtreleme ve kalitesini yükseltme
12. Ses yalıtımı
13. Bina zarf koruması ve ömrü uzatma
14. Genel sağlık faydaları
15. Ekonomik faydalar
16. Kentsel ısı adası etkisinin azaltılması

1)Hava Kalitesinde Artış

Şehirlerde hava genel olarak büyük oranda insan sağlığına ve çevreye zararlı kirleticileri içermektedir (Sadeghian 2017). Yüksek yeşillik yoğunluğuna veya küçük parçacıkları hapseden dokulu yaprak yüzeylerine sahip bitkiler yaprak üzerinde kuru birikme veya yağmur yıkama yoluyla partikül kirliliğinin giderilmesine yardımcı olmaktadır (Carpenter 2014). Yapılan araştırmalara göre 1625 kg hava kirleticisi 19,8 hektar yeşil tarafından absorbe edilebilmektedir. Dahası 1 m² 'lik yeşil çatı bir aracın yıllık partikül madde salınımını giderebilmektedir (Sadeghian 2017).

2) Habitat ve Ekolojik Biyoçeşitliliğin Oluşturulması ve Korunması

Yeşil çatı sistemleri tam olarak bir doğal yaşam alanı olmasa da alternatif olarak gösterilebilirler (Peck ve Callaghan 1999). Yeşil çatılar nadir veya önemli bitki ve hayvan türleri için yeni ve spesifik yaşam alanları oluşturarak biyolojik çeşitliliğe katkıda bulunarak bu türleri arttırabilir. Bu sistemler ayrıca kentsel ekolojik çöller arasında bir bağlantı veya koridor sağlayıp omurgasızların ve kuşların göçlerine yardımcı olabilirler (Carpenter 2014).

3) Bir Şehri Soğutma ve Sıcaklık Düzenleme

Beton, tuğla, cam, asfalt ve çatı gibi kentsel ortamdaki sert yüzeyler yüksek bir termal kütleyle sahip olup gün boyunca güneşin ısınısını toplar ve yavaşça atmosfere geri yayar. Bu durum şehirlerde ortam sıcaklığının artmasına sebep olur ve özellikle durgun havalarda büyük sıcak hava kütleleri oluşturur (Carpenter 2014).

Bitki örtüsü kullanmak düşen güneş ışınımını engelleyerek yayılan ısıyı azaltabilmektedir. Bitkiler yapraklarına düşen güneş enerjisinin %2'lik kısmını fotosentezde, %48'lik kısmını bitkinin su sisteminde depolayarak, %30'luk kısmını terlemede kullanarak ısıya dönüştürürler ve yansıyan güneş enerjisinin sadece %20'lik kısmını geri yansıtarak sıcaklık dalgalanmalarını düzenlemektedirler (Peck ve Callaghan 1999).

4) Geliştirilmiş Termal Performans

Yeşil çatıların diğer bir önemli faydası da yapı ısıtma ve soğutma gereksinimlerini azaltma potansiyelidir (Carpenter 2014). Sürdürülen araştırmalar sonucunda yeşil çatıların yapıyı soğutma gereksinimine olan etkisinin ısıtmaya olan gereksiniminden daha yüksek olduğu bilhassa nem seviyesinin fazla olduğu iklim alanlarında bu sistemlerin soğutma gereksinimlerini azaltmada etkili bir yol olduğu görülmüştür (Kılıç Turan ve Gülten 2020). Ayrıca yeşil çatılar, çatıdaki ısı transferlerini ve çatı yüzeyindeki ortam sıcaklıklarını azaltarak ısıtma, havalandırma ve klima(HVAC) sistemlerinin performansını arttırmaktadır (Carpenter 2014).

5) Estetik Açık Alan ve Kentsel Gıda Üretimi

Yoğun, hızla büyüyen kentsel alanlarda yeşil çatıların yeşil alanlara katkısı göz ardı edilmemelidir. Özellikle şehir içi alanlarda çoğu alan binalar ve ilgili altyapı tarafından işgal edilmekle beraber yeni parklar ve bahçeler için fırsatlar son derece sınırlıdır. Yeşil çatılar zemin seviyesindeki yeşil alanlara bağlanan çok seviyeli tasarımlar için kullanılabilir (Carpenter 2014). Ayrıca bitkilerle çatıları yeşillendirmek, endüstriyel ve ticari alanları doğayla uyumlu olmaya yaklaştırabilmektedir (Peck ve Callaghan, 1999).

6) Yağmur Suyu Yönetimi

Yeşil çatı sistemleri yağmur suyunu bünyesinde tutup tepe akışını geciktirerek sel oluşum riskini azaltmaktadır. Yağmur suyu yeşil çatıyla temas ettiğinde suyun bir kısmı bitkiler tarafından emilir bir kısmı da bitki taşıyıcı katman tarafından tutulmaktadır. Bu şekilde kanalizasyon sistemlerine gönderilen su da hafiflemektedir (Sadeghian 2017). Sürdürülen araştırmalarda bu konuyla ilgili yapılan deneylerin bir kısmının yeşil çatı sistemlerinin yıllık yağmursuyu akışının ortalama yarısını azalttığı görülmüştür (Blackhurst ve ark. 2010). Deneylerin diğer bir kısmı ise Kuzey Carolina’da kurulan iki extensive yeşil çatı kaydedilen toplam yağışın %64’ünü koruduğu ve ortalama pik akışında %75’den fazla azalma olduğunu göstermiştir (Kok ve ark. 2011). Yeşil çatılar bu özelliğiyle yağmursuyu tutma tesisleriyle benzer bir davranış sergilemektedirler. Bundan dolayı bu sistemler belediye ve yapı sahiplerinin önemli arazilerini kurtarmaya yardımcı olup pahalı su tutma sistemlerini arttırmaya yönelik yatırımlar yapılmadan yoğun yapılaşmada karşılaşılan zorlukları azaltmaktadır (Breuning 2014).

7) İklim Değişikliğini Azaltma ve Uyum

Şehirler sera gazı emisyon kaynağı olarak önemli bir rol oynamaktadır. Yeşil çatılar genel olarak uygulandığında devletler, şirketler ve yapı sahipleri için sera gazının ve yalıtım değerlerinin azaltılması bakımından etkili ve kanıtlanmış bir sistem olabilmektedir. Bir yapının kış aylarında ısınma talebinin üçte biri rüzgarlar vasıtasıyla oluşmaktadır. Bir yapıyı rüzgardan muhafaza etmek enerji talebinde önemli bir düşüş sağlamaktadır. Dahası yaz aylarında sıcaklık artışına neden olan her derece(F) ek soğutma enerjisini %5-7 oranında arttırmaktadır bu sebeple doğru uygulanmış bitkilendirme sayesinde dış hava koşullarında oluşabilecek 10 °F’lık bir azalma yapıyı soğutmak için kullanılan enerji tüketiminde %50-70 oranında düşüş sağlayabilmektedir (Peck ve Callaghan 1999).

8) Mikroklimaların Oluşturulması

Yapı yüzeyleri hem yapıda hem de yapının etrafında çevre koşullarından farklı kendi özel mikro iklimlerini oluştururlar. Yapı yüksekliği, yönelim ve etrafındaki binaların konumuna bağlı olarak çatılar çok fazla sıcaklık dalgalanmalarına maruz kalırlar. Yeşil çatı sistemleri uygulandıktan sonra hem altındaki yapının ısı kazanım ve kaybının hem de etrafındaki nem, hava kalitesi ve yansıyan ısı üzerinde büyük bir etkiye

sahip olmaktadır. Yeşil çatı bütünsel olarak kentin iklimini farklılaştırmada büyük rol oynamaktadır (Peck ve Callaghan, 1999).

9) Bitkiler ve Bina İzolasyonu

Isı yalıtımı ve hava/buhar kesicilerinin rolü yapının içi ve dışı arasındaki ısı geçişlerinin etkisini hafifletmektedir. Yalıtım kışın dış ortama yazın ise iç ortama olan ısı geçişlerini azaltır. Yapı yüzeylerinin bitkilendirilmesi yapıların yalıtılması için kullanılan etkili bir tekniktir. Bir yapının cephelerinin yalıtım değeri birkaç farklı yolla yükseltilebilir. Bu yollar;

- Yapının üzerinin bitkilerle kaplanmasıyla yaz güneşinin sıcaklığının yapı yüzeyine ulaşması engellenir ve kış aylarında ise içerdeki ısının dışarı çıkması yansması ya da emilmesi engellenmektedir.
- Rüzgar yapının enerji verimliliğini yarı yarıya azalttığı için bitki tabakası rüzgarın yapı yüzeyi boyunca dolaşımını engelleyen bir tampon işlevi görmektedir.
- Bitki tabakası içine hava kütlesi hapsetmek yapı yüzeyini yazın serinletip kışın ısıtmaktadır.

Yeşil çatı sistemlerinin yalıtım değeri hem bitki örtüsüne hem de yetiştirme ortamına bağlı olmaktadır. 20 cm'lik bir bitki yetiştirme ortamı ve 20-40 cm'lik çim tabakası 15 cm'lik mineral yün yalıtımına denk bir yalıtım değerine sahip olabilmektedir. Yapılan araştırmalarda yeşil çatı sistemlerinin yaz aylarında 25-30 °C arasındaki dış ortam sıcaklıklarından 3-4 °C daha serin olduğu görülmüştür (Peck ve Callaghan 1999). Bu şekilde yeşil çatı sistemleri yapıların ısı performansını geliştirerek yapının enerji ihtiyacını düşürmektedir. Bu yüzden bu uygulamalar uzun vadede hem ekolojik hem de ekonomik sistemlerdir (Sadeghian 2017).

10) Karbondioksit ve Oksijen Değişimi

Yapılan araştırmalar sonucunda genişliği 15 m olan ve 170 m² yüzeyi gölgelendiren yaklaşık 80-100 yaşındaki bir kayın ağacının 1600 m²'lik yaprak yüzey alanının olduğu ve saatte 1,71 kg oksijen ve 1,6 kg glikoz ürettiği görülmüştür. Üretilen bu oksijen bir saatte 10 kişinin kullandığı oksijen değerine denk olmaktadır.

Yeşil çatıda kullanılacak olan bitki türlerini ve yoğunluklarını tercih etmedeki en önemli seçeneklerden biri fotosentez için gerekli olan yeşil yaprak ve gövde yüzey alanıdır.

İnsanların bir senede aldıkları oksijen miktarını dengelemek için 150 m²'lik yaprak yüzey alanı gerekmektedir. Yeşil çatı sistemlerinde;

1. 3-5 cm uzunluğunda 1m² çimin 6-10 m² yaprak yüzey alanı vardır.
2. 1 m² çayırın 225 m² civarında yaprak yüzey alanı vardır.
3. Yaprak yüzey alanı 1m²'de 100m² olan bir yeşil çatının 1,5m²'si bir insanın yıllık oksijen ihtiyacını gidermektedir (Peck ve Callaghan 1999).

11) Suyu Filtreleme ve Kalitesini Yükseltme

Bitkilendirilmiş yüzeyler hem yoğun yağmur suyunun çoğunu bünyesinde tutar hem de suyun sıcaklığını ılık hale getirip sudaki yabancı maddeleri tutarak filtre görevi görmektedir. Yapılan araştırmalar yeşil çatı sistemlerinin yağmur suyundaki kadmiyum, bakır ve kurşunun %95'ini ve çinkonun %16'sını filtreleyerek sıradan çatılara oranla çok daha temiz ve organik madde içermeyen suyun aktığını göstermektedir (Peck ve Callaghan 1999). Ayrıca yeşil çatı sistemleri asidik yağışları tamponlayıp yağmur suyundaki kirleticileri filtreleyerek suyun kalitesini arttırmaktadır (Sadeghian 2017). Belçika'da geri dönüştürülebilir çamaşır ürünleri üreticisi olan Ecover adındaki bir firma 1992 yılında inşa edilip çatısında 2 dönüm yeşil çatı bulunmaktadır. Fabrikada üretilen atık su ilk olarak bir kanalizasyon havuzunda kademeli olarak arıtılıp daha sonra süzülmemektedir. Bu işlem sonunda hem su filtrelenmiş olmakta hem de çatıdaki bitkiler sulanmaktadır (Peck ve Callaghan 1999).

12) Ses Yalıtımı

Yeşil çatı sistemlerinde gürültünün azatılımı hem çatı sisteminin(toprak, bitkiler ve hava tabakası) ses yalıtımı gibi görev yapması hem de ses dalgalarının bitkiler tarafından yutulmasıyla olmaktadır. Toprak tabakası düşük frekansları absorbe eder. Bu da yaklaşık 40 desibel ses azalması oluşturmaktadır (Sadeghian 2017). Yapılan araştırmalarda 12 cm toprak kalınlığını sahip bir tabaka sesi 40 desibel, 20 cm kalınlığa sahip tabaka ise sesi 46 desibel azaltabilmektedir (Peck ve Callaghan 1999).

13) Bina Zarf Koruması ve Ömrü Uzatma

Yeşil çatılar çatılarda kullanılan su yalıtım malzemesini dışarıdan gelebilecek ve ciddi hasarlara sebebiyet verebilecek zararlardan korur. Ayrıca UV bozulmasına bağlı olan hızlandırılmış yaşlanmayı önlemektedir (Breuning 2014). Şiddetli sıcaklık dalgalanmalarından oluşabilecek çatı ve su yalıtımı hasarlarını da minimuma indirir (Carpenter 2014).

Londra’da 1938 yılında bir mağaza departmanında yeşil çatının altına su yalıtım uygulaması yapılmıştır. Normal şartlarda 10-15 yıl dayanabilen su yalıtımının 50 yıl sonra bile hiç hasar almadan mükemmel durumunda olduğu görülmüştür (Peck ve Callaghan 1999).

14) Genel Sağlık Faydaları

1984 yılında Pensilvanya’da yapılan bir araştırmada yarısı tuğla duvara diğer yarısı da yeşillendirilmiş bir bahçeye bakan hastanede bahçe manzarasına bakan hastaların;

- Ameliyat sonrası hastanede kalış sürelerinin azaldığı
- Hastane personeli üzerinde daha az olumsuz etki bıraktıkları
- Daha az ağrı kesici kullandıkları görülmüştür.

Aksine penceresiz veya yeşile görsel erişimi olmayan odalarda kalan hastaların; stres yoğunluğunun ve olumsuz görüşlerinin arttığı görülmüştür (Peck ve Callaghan 1999).

15) Ekonomik Faydalar

Yeşil çatılar ekonomik açıdan değerlendirildiklerinde birçok faydası görülmektedir. Bunlar;

- Yapı yüzeylerinin R (ısı aktarım direnci) değerinde artış sağlayarak ısıtma-soğutma ile ilgili enerji tasarrufu sağlar ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur.

- Çatı membranını koruyarak ömrünü uzatır ayrıca bakımını da hafifletir.
- Yağmursuyu yönetimini kolaylaştırarak yağmursuyu sistemlerine olan ihtiyacı azaltır.
- Emlak değerlerinde artış sağlamaktadır.
- Atık suların temizlenmesinde görev almaktadır.
- Tasarım, büyüme, üretim, kurulum ve bakım aşamalarında istihdam oluşturmaktadır (Peck ve Callaghan 1999).

16) Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılması

Kentsel ısı adası etkisi bir kent ile etrafındaki kırsal alandaki sıcaklık farkının sebep olduğu makro iklimlerdir. Bu farkın ana sebebi şehirlerdeki sert ve yansıtıcı yüzeylerin gelen güneş ışınlarını emip, hissedilir ısı olarak yaymalarıdır. Yayılan bu ısı sanayi, arabalar ve hava kirliliğini arttıran mekanik araçlar ile birleşince yaz akşamlarında sıcaklık seviyesini 8 dereceye kadar yükseltmektedir.

Isınan hava yükselerek toz ve hava yoluyla taşınan partikülleri karıştırdığından hava kalitesini de düşürmektedir.

Orta Avrupa’da sıcak yaz aylarında standart yalıtımlı çakıl kaplı bir çatının sıcaklığını 25 °C dereceden 60-80 °C dereceye kadar çıkarabilmektedir. Yapılan araştırmalar; çim yüzeyler üzerinde düşey termal hava hareketlerinin görülmediğini ve çim yüzeylerin 25 dereceden daha çok ısınmadığını ortaya koymaktadırlar (Peck ve Callaghan 1999).

2.4.2. Yeşil Çatı Kavramının Tarihçesi

Yeşil çatılar yeni olgular olmamakla beraber yüzyıllardır pek çok ülkede standart çatı uygulaması olarak kabul edilmiştir. Bunun en önemli sebebi birleştirilen bitki ve toprak katmanının çok iyi yalıtım özelliği göstermesidir (Peck ve Colloghan 1999).

2.4.2.1. İlk Çatı Bahçeleri

Tarihte bilinen en eski çatı bahçeleri Antik Mezopotamya’da m.ö.4000-m.ö.600 yılları arasında inşa edilen zigguratlar olarak bilinmektedir. Basamaklar şeklinde yapılan bu kule şeklindeki tapınaklarda düz teraslara ekilen ağaç ve çalılar tırmanışı yumuşatıp aynı zamanda Babil kentinin sıcak havasından da korunmayı sağlamıştır. En

nl ve en iyi korunmuş olan Nanna Zigguratı Babil'deki Etemenenki şehrinin Esagil meydanına kurulmuştur. Kral II. Nebuchadrezzar memleketinin yeşilliiinin hasretini çeken karısı Amytis'i teselli etmek için dünyanın dört bir yanından getirttiği ağaç ve çiçekleri kullanarak Babil'in Asma Bahçeleri'ni inşa ettirmiştir (Magill ve ark. 2011).

Roma imparatorluğunda kentsel mekânlardaki nüfus yoğunluğuna bir tepki olarak kullanıldığı grlmştur.

Antik tarihi Pliny Pompeii'de yeşil çatılar için dışarıdan alınan ağaçlara yazılarında yer vermiş olup ayrıca kentte esnafların üst kattaki balkonlarında asma ağaçları yetiştirdiklerini kaydetmiştir.

Romalılar Augustus ve Hadrian anıt mezarları gibi geleneksel yapılarının üzerine ağaç koymuşlardır.

Vikigler evlerini hava koşullarına karşı muhafaza etmek için duvar ve çatılarını deniz yosunu gibi malzemelerle kaplayarak yalıtımuşlardır.

Rönesans döneminde Cenova kentinde yeşil çatılar genel olarak kullanılmıştır.

16.ve 17. yy.'da bazı İşpanyol konutlarında ve Kolomb ncesi Meksika ve Hindistan'da asma bahçeler kullanılmıştır.

17. yy.'da Rusya Kremlin'de asma bahçeler kullanılmıştır (Peck ve Colloghan 1999).

19.yy.'da İşkandinavya'da yapılarda ısı yalıtımı olması sebebiyle kullanılmıştır (Akpınar Külekçi 2017).

20. yy. 'da Taşkent, Tiflis'teki evlerde ve Dshanbe ve St Petersburg havalimanlarında yeşil çatılar ve asma bahçeler kullanılmıştır (Peck ve Colloghan 1999).

2.4.2.2. Yeşil Çatı Sistemlerine Geçiş

Günümüzde kullanılan yeşil çatı sistemlerine geçişte en büyük görevi Almanya üstlenmektedir. Almanya’da yeşil çatı uygulamalarının ilerlemesinde önem taşıyan Alman Peyzaj Araştırma Geliştirme ve İnşaat Derneği (FLL) 1975’te kurulmuştur. Günümüzde bu kuruluş kent planlaması için çalışmalar yürüten 200.000’den fazla katılımcısı olan ve kar amacı gözetmeyen bir kuruluştur (Mercado 2015). FLL resmi bir şekilde yeşil çatı sistemlerinin planlanması, uygulanması ve bakımı için rehber prensipler teşkil etmekte olup ayrıca yeşil çatı uygulamalarının tasarımı, özellikleri ve testleri için de kullanılmaktadır. FLL ilkeleri Alman yeşil çatı çalışmaları kapsamında hazırlanmış olup yeşil çatılar hakkında yapılan en saygın ilkelerdir. İlkelerini 1975’te iletmeye başlayan kuruluş 1982’de Almanca ve 2002’de İngilizce olarak yayınlar yapmaya başlamıştır (Magill ve ark. 2011).

2.4.2.3. Yeşil Çatı Sistemlerinin Dünyadaki Güncel Durumu

Son yıllarda kullanılan yeşil çatıların esin kaynağı 1800 yıllarının ilk yıllarında Kuzey Avrupa’da çatıların toprakla örtülüp üstünün ot veya başka bitkilerle kaplanıp bu sayede ısı yalıtımı olarak kullanılması olmuştur. 20. yy.’ın ikinci yarısında İsviçre’de kullanılan bu sistemlerle birlikte üst aşamalara taşınan modern yeşil çatı teknolojileri, Almanya başta olmak üzere pek çok ülkede kullanılmıştır(Ekşi, 2012;4). Almanya’da yeşil çatı uygulamalarının kullanımı 1980’lerde hızlı bir şekilde büyüyerek ortalama %15-20 gelişme göstermiştir. 1989 yılına kadar 1 milyon m²’lik çatıda yeşil çatı kullanılmış olup bu sayı 1996 yılında 10 milyon m²’ye çıkmıştır. Bu ilerlemenin başlıca sebebi, kanunlar ve belediye hükümetinin çatı m²’si başına 35-40 Alman markı ödeme yaparak halkı özendirmesidir.

Viyana ve Avusturya yeşil çatı yapımlarını teşvik etmek için kurulumundan 3 yıl sonrasına kadar bakım ve kullanım için hibeler sağlamaktadır.

Almanya Stuttgart’ta tüm düz çatılı sanayi yapılarına yeşil çatı uygulamasını gerektiren 1989 tarihli belediye yönetmeliği yürürlüğe koyulup aynı uygulama Almanya Manheim kentinde de uygulanmıştır.

Bu şekilde Almanya, Fransa, Avusturya, Norveç, İsviçre ve diğer Avrupa ülkelerinde yeşil çatılar yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmaya ve kabul görmeye başlanmıştır (Peck ve Colloghan 1999).

2.4.3. Yeşil Çatıların Bitkilendirilme Durumuna Göre Sınıflandırılması

Yeşil çatı sistemlerinin kullanım amacı, sergiledikleri özellikler ve kullanılan bitki türleri değişebilmektedir (Muharam ve ark. 2016). Bu değişiklikler göz önüne alındığında yeşil çatılar üç sınıfa ayrılmaktadırlar (Catalano ve ark. 2018). Bunlar;

1. Seyrek Bitkilendirilmiş (Ekstansif) Yeşil Çatı Sistemleri
2. Yoğun Bitkilendirilmiş (İntansif) Yeşil Çatı Sistemleri
3. Yarı Yoğun Bitkilendirilmiş Yeşil Çatılar olmaktadır.

2.4.3.1. Seyrek Bitkilendirilmiş (Ekstansif) Yeşil Çatı Sistemleri

Seyrek bitkilendirilmiş yeşil çatılar 5-15 cm bitki yetiştirme ortamı derinliğine sahip olup yoğun ve yarı yoğun yeşil çatılara oranla daha ince bir derinliğe sahiptirler. Bu yeşil çatı türünün yapıya bindirdiği yük $20-169 \text{ kg/m}^2$ olmaktadır (Muharam ve ark. 2016). Seyrek bitkilendirilmiş yeşil çatılarda seçilen bitkiler yerel olmalı, hava koşullarına uyum sağlayabilmeli ve kolaylıkla çoğalabilmelidirler (Catalano ve ark. 2018). Genellikle estetik ve ekolojik sebeplerle oluşturulan bu çatılarda çoğu zaman kendi kendine yetebilen su ve gübre ihtiyacının düşük olması ile birlikte daha az bakım gerekmektedir (Johnston ve Newton 2004).

2.4.3.2. Yoğun Bitkilendirilmiş (İntansif) Yeşil Çatı Sistemleri

Yoğun bitkilendirilmiş yeşil çatılarda bitki yetiştirme katmanının kalınlığı 15-200 cm olabilmekte ve bu ortamda çok yıllık bitkiler, çalılar ve çimler yetişebilmektedir. Yetiştirme ortamı çok fazla türü barındırabildiğinden, yoğun yeşil çatılar park ve bahçe düzenlemeleriyle benzerlik göstermekle beraber sulama, bakım işlemleri de benzer olmaktadır (Catalano ve ark. 2018). Mülk sahipleri çoğunlukla bu çatıları yapının enerji etkinliğini arttırmak ve rekreasyon sağlayıp dinlenme alanı oluşturmak için yapmaktadırlar (Shaffik ve Hussein 2013). Bu çatıların yapıya bindirdikleri yükleri $290-968 \text{ kg/m}^2$ olmaktadır (Muharam ve ark. 2016). İlave edilen yüklerin ve kamusal kullanımın yükünü karşılamak için sıklıkla yapısal desteğe gerek duyulmaktadır. Bu sistemlerde genellikle ilk yatırım maliyeti yüklü olup sulama, bakım

ve drenaj için ek sistemler ve ek maliyetler gerektirmektedir (Shaffik ve Hussein 2013). Ayrıca bu yeşil çatı türü yüksek konumlarda kurulabilmesinin yanı sıra yer altı otoparklarının çatısı gibi zeminle aynı kotta biten alanlarda da rahatlıkla yapılabilir (Johnston ve Newton 2004).

2.4.3.3. Yarı Yoğun Bitkilendirilmiş Yeşil Çatılar

Yarı yoğun yeşil çatılarda bitki yetiştirme ortamı 12-100 cm kalınlığında olabilmekte ve bu ortamda çalılar, çok yıllık otlar ve çimler yetiştirebilmektedir. Kullanılan bitki çeşitleri ve tasarımları yönüyle yoğun yeşil çatılar ile benzerlik göstermesine karşın uygulama, bakım masrafları ve taşıyıcı yapıya verdiği yükler daha az olmaktadır (Catalano ve ark. 2018)

Yeşil çatıların bitkilendirilmesi ve taşıyıcı katman arasındaki ilişki ülkelere göre değişkenlik göstermekle beraber büyük önemde sahip olmaktadır. Bitki ve bitki taşıyıcı katman arasındaki ilişki şemaları Alman normuna çizelge 2.2., İtalyan normuna çizelge 2.3. ve İsviçre normuna göre çizelge 2.4. verilmekte olup ılıman iklim bölgelerine göre hazırlanan şema bitki örtüsü ihtiyaçlarına, çalışma alanları için kullanılan malzemelerin özelliklerine, eğime, eğimin açısına ve yönüne, bölgesel ve yerel mikroklimatik şartlara göre değişkenlik gösterebilmektedir (Catalano ve ark. 2018).

Çizelge 2.2. Alman normuna göre bitki ve bitki taşıyıcı katman arasındaki ilişki şeması (Catalano ve ark. 2018)

Bitki taşıyıcı tabakanın kalınlığı(cm)		4	6	8	10	12	15	18	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	200	150	200
Seyrek Yeşil Çatı	Yosun- Sedum	x	x	x																			
	Sedum-Yosun-Otsu bitkiler		x	x	x																		
	Sedum-Otsu bitkiler-Çimen				x	x	x																
	Otsu bitkiler-Çimen						x	x	x														
Yarı Yoğun Yeşil Çatı	Bazı otsu bitkiler-Çimen				x	x	x	x	x	x	x	x											
	Çok yıllık otsu bitkiler-Çalılar				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
	Çalı-Yarı çalı					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
	Çalılar								x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Yoğun	Çim					x	x	x	x	x	x	x											
	Küçük çok yıllık otsu bitkiler-Çalılar					x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	Orta çok yıllık otsu bitkiler-Çalılar								x	x	x	x	x	x									
	Uzun çok yıllık otsu bitkiler-Çalılar											x	x	x	x	x	x						
	Büyük çalılar ve küçük ağaçlar															x	x	x	x	x	x		
	Orta ve uzun ağaçlar																			x	x	x	x
	Büyük ağaçlar																					x	x

2.KAYNAK ÖZETLERİ

Çizelge 2.3. İtalyan normuna göre bitki ve bitki taşıyıcı katman arasındaki ilişki şeması (Catalano ve ark. 2018).

Bitki taşıyıcı tabakanın kalınlığı(cm)	8	10	15	20	30	50	80	100
Sedum	x							
Küçük çok yıllık otsu bitkiler		x						
Büyük çok yıllık otsu bitkiler- Küçük çalılar			x					
Çim			x					
Küçük çalılar				x				
Büyük çalılar ve küçük ağaçlar					x			
Ağaçlar 3(4<h<10m)						x		
Ağaçlar 2(10<h<16m)							x	
Ağaçlar 1(16m<h<)								x

Çizelge 2.4. İsviçre normuna göre bitki ve bitki taşıyıcı katman arasındaki ilişki şeması (Catalano ve ark. 2018).

Görünüm	Seyrek bitkilendirme(bozkır)	Yarı yoğun bitkilendirme(çayır, çimenlik)	Yoğun bitkilendirme(çayır, çimenlik ve büyük ot türleri)	Yoğun bitkilendirme(çayır, çimenlik, büyük ot türleri ve çok yıllık bitkiler)
Yetiştirme ortamı	≥8 cm	≥10 cm	≥12 cm	≥15 cm
Bitki türleri	Sedum, yosunlar ve otsu bitkiler	Sedum, otsu bitkiler ve bazı çimen türleri	otsu bitkiler ve çimen türleri	Çayır ve çimen türleri

Yapılan araştırmalara göre bu üç yeşil çatı türü birbirleriyle kıyaslandığında avantajları olmakla beraber dezavantajlarda barındırabilmektedirler. Bu avantaj ve dezavantajlar çizelge 2.5. de gösterilmektedir (Kady ve Yahya 2015).

Çizelge 2.5. Yeşil çatı türlerinin karşılaştırılması (Kady ve Yahya 2015)

	Seyrek Bitkilendirilmiş (Ekstansif) Yeşil Çatı Sistemleri	Yarı Bitkilendirilmiş Çatılar	Yoğun Yeşil (İntansif) Yoğun Bitkilendirilmiş Yeşil Çatı Sistemleri
Avantajlar	• Hafiftirler • Yapıda ek donatıgerektirmez • Eğimli çatılar(0-30°) için uygundur • Düşük bakım ve uzun ömürlü • Özel drenaj sistemi gerektirmez • Daha az teknik bilgi gerektirir • Daha ucuz • Daha doğal	• Daha fazla bitki çeşitliliği • İyi yalıtım özellikleri • Daha fazla enerji verimliliği • Daha fazla su tutma kabiliyeti • Daha uzun membran ömrü • Kısmen erişilebilir	• Daha fazla bitki ve habitat çeşitliliği • İyi yalıtım özellikleri • Görsel açıdan çekici • Erişilebilir • Yiyecek yetiştirmeye uygun • Daha fazla enerji verimliliği • Daha fazla su tutma kabiliyeti • Daha uzun membran ömrü
Dezavantajlar	• Daha az enerji verimliliği • Yağmur suyu tutması daha az • Sınırlı bitki seçimi • Rekreasyon ve diğer kullanımlar için erişim yok • Kış aylarında çok çekici olmaz	• Daha fazla ağırlık • Daha yüksek bakım maliyeti	• Daha fazla ağırlık • Daha fazla sermaye ve yüksek bakım maliyeti • Enerji, su, malzeme gerektiren sulama ve drenaj sistemlerine ihtiyaç • Daha karmaşık sistemler • Uzmanlık gerektirir

2.4.4.Yeşil Çatı Katmanları ve Uygulama Türleri

2.4.4.1.Yeşil Çatı Katmanları

Yeşil çatı sistemleri şekil 2.24.'de görüldüğü üzere çatı konstrüksiyonu, su yalıtımı, mekanik etkilere karşı koruyucu ve nem tutucu tabaka, drenaj tabakası, sistem filtresi, bitki taşıyıcı katman ve bitki tabakası şeklinde tabakalardan oluşmaktadır.



Şekil 2.24. Yeşil çatı katmanları

- **Su yalıtımı:** Yeşil çatı sistemlerinin uygulanan ilk katmanı su yalıtım katmanı olmaktadır. Düzgün işleyen bir yeşil çatı için su sızdırmazlık çok önemli bir unsurdur. Su yalıtım katmanı su geçirmeden yapının fiziksel ve termal hareketlerine karşı esnemeye izin veren güçlü bir katman olmalıdır. Bitki örtüsü tabakası çoğunlukla düzenli olarak su yalıtımının incelenmesinin zorunlu olacağı genleşme derzleri gibi yerlere kurulmamalıdır. Su yalıtım tabakaları kesikler, yırtıklar ve bitki kökleri gibi fiziksel ve kimyasal zararlılardan korunmalıdır. Yeşil çatı katmanı, su yalıtımını hem güneşten gelen sıcaklık ve UV ışınlarına karşı hem de dışardan gelebilecek hasarlardan koruyarak ömrünü büyük oranda uzatmaktadır (Carpenter 2014).

- **Mekanik etkilere karşı koruyucu ve nem tutucu tabaka:** Su yalıtımının yapının strüktür hareketine, gün içindeki ısı değişimine, yeşil çatı kurulumu aşamasında oluşan hasarlara ve gübrelemeye karşı korunma ihtiyacı vardır (Erkul

2012). Çürümeye karşı dirençli özel keçeler su yalıtımını ve kök tutucu katmanları mekanik etkilere karşı korurlar (Onduline 2017). Mekanik etkilere karşı koruyucu katmanlar, yönetmeliklerin gerektirdiği basınç kuvvetine ve bu konuda yetkili kuruluşlarca verilen kalite belgelerini bulundurmalarıdır (Tohum 2011).

- **Drenaj tabakası:** Bitki taşıyıcı katman tarafından iletilen ve filtre katmanı tarafından süzülen yağmur suları hem yağmursuz günler için depolanmalı hem de birikmenin fazla olmasını engellemek için fazla suyu tahliye edebilmelidir (Onduline 2017). Yeşil çatılar, işlev gören iyi bir drenaj katmanına sahip olmalıdır. Drenaj sistemi; başarılı bir yeşil çatı sistemi için önemli ölçüde gereklidir (Erkul 2012). Drenaj katmanındaki suyun tahliye edilmesi bitki köklerinin oksijen gereksinimi için ihtiyaç duyduğu hava hacmini elde etmesi açısından da önemlidir. Drenaj tabakası; hafif, boşluklu, hava koşullarına ve suya dayanıklı, uzun ömürlü, kimyasal ve fiziksel olarak ayrılmayan, bitkilere zararlı olacak tepkimelere uğramayan bir özelliğe sahip yapay veya doğal materyallerden seçilmelidir (Kınalı 2013).

- **Sistem filtresi:** Su; bitki taşıyıcı katmandan drenaj katmanına aktarılırken toprak parçaları ve bitki atıkları taşıyabilmektedir. Eğer su filtrelenmezse, bitki yetiştirme ortamı kaybedilecek ve yapının drenaj kanalları tıkanabilecektir. Bu konuda koruyucu bir eleman olan filtre katmanı akıllara gelmektedir. Filtre katmanı, hafif ve dayanıklı bir malzemeden oluşturulmalıdır (Erkul 2012).

- **Bitki taşıyıcı katman:** Yeşil çatı sisteminin bitki taşıyıcı katmanı doğal kiremit kırıntısı, geri dönüşüm ürünü olan, dona dayanıklı, yanmayan özel ürünlerle oluşturulan ve seçilen bitkinin tüm besin ihtiyaçlarını karşılayan, bitkilerin uzun yıllar boyunca kendilerini yenileyerek canlı ve güzel kalmasını sağlayan yapıda olmalıdır (Tohum 2011). Ayrıca bitki taşıyıcı katman;

- 1- Hafif
- 2- Rüzgâr ve su erozyonuna karşı dayanıklı
- 3- Yabani otlardan, hastalık ve zararlardan arınmış
- 4- Organik maddelerden yüksek seviyede kaçınma yoluyla yangına karşı dayanıklı
- 5- Uygun su tutma /bırakma eğilimine sahip
- 6- Toprak derinliği, PH değeri ve besin içeriği açısından bitki örtüsü için uygun olmalıdır (Erkul 2012).

- **Bitki tabakası:** Bitki seçimi yeşil çatı başarısı için büyük öneme sahiptir.

Doğal ortamda yetişen bir bitki seçimi, yeşil çatıda bazen başarılı olamamaktadır. Yeşil çatının konumlandığı çevre ve coğrafya bitki seçimini etkilemektedir. Bitki seçiminde; güneş ışığı, rüzgar, gölge ve sıcaklık dalgalanmalarına maruz kalma dahil olmak üzere iklim koşulları dikkate alınmalıdır. Bölgesel farklılıklar ve yoğun güneş ışığına maruz kalma, kullanılacak bitki türü üzerinde etkili olmaktadır (Erkul 2012). Kullanılan bitki türleri uygulanan sistemlere göre değişkenlik sergilemeler de çatıda yaşayacak bitkilerin, köklerini geliştirebileceği kısıtlı toprak tabakası olduğu için, minimum besin maddeleriyle yaşayabilecek bitki türleri seçilmelidir. Amaç, düşük bakımla bitkilerin avantajlarından uzun yıllar yararlanabilmektir. Yeşil çatı sistemlerinde kullanılan bitki türleri yedi kategoride incelenirler. Bunlar; yosunlar, tek yıllık otsular, çok yıllık otsular, çimler, soğanlı-yumrulu verizomlu bitkiler, sukkulentler ve kısa boylu odunsular olarak ayrılır ve bu bitkiler çizelge 2.6.da görülebilmektedirler (Kınalı 2013).

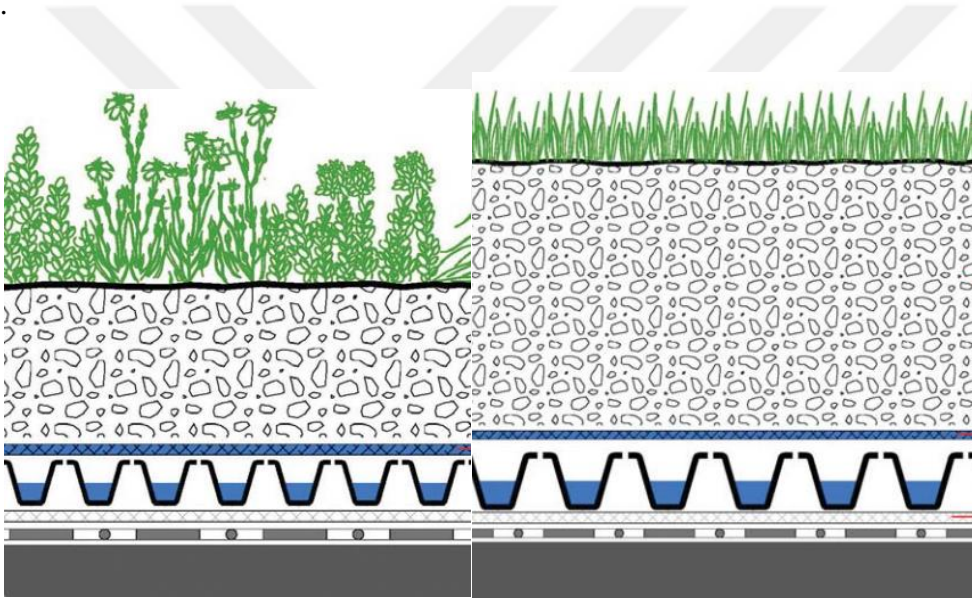
Çizelge 2.6.. Yeşil çatı sistemlerinde kullanılan bitki türleri (Kınalı 2013)

Yosunlar		Brachytecium rutabulum, Ceratodon purpureus, Bryum argenteum, Campothecium sericeum
Tek Yıllık Otsular		Tek Yıllık Otsular Anthemis tinctoria, Hieracium pilosella, Arabidopsis thaliana, Holosteum umbellatum, Arenaria serpyllifolia, Medicago lupulina, Campanula rotundifolia, Potentilla argentea, Cardamine hirsuta Senecio vernalis – vulgaris, Centaurea scabiosa Tragopogon dubius, Cerastium pumilum ssp pallens, Trifolium campestre, Chrysanthemum sp Tunica prolifera, Daucus carota Veronica arvensis, Erigeron annuus Vicia sativa, Galium verum
Çok Yıllık Otsular		Achillea nobilis, Inula conyza, Anthemis tinctoria Iris germanica, Anthericum liliago Linaria vulgaris, Anthyllis vulneria, Linum perenne, Arthemisia campestris, Lychnis viscaria, Aster linosyris, Ononis repens, Cerastium holosteoides, Plantago lanceolata, Dictamnus albus, Rumex acetosella, Dianthus deltoides, Senecio erucifolius, Epilobium angustifolium, Solidago gigantea, Gallium album, Taraxacum officinale, Garanium sanguineum
Çimler		Agrostis tenuis, Phleum phleoides, Avenella flexuosa, Poa bulbosa, P.pratensis, Bromus mollis, B.sterilis Stipa capillata, S. Pennata, Festuca rubra, F. Ovina, F. Tenuifolia
Soğanlı, Yumru ve Rizumlu Bitkiler		Allium Schoenoprasum, Tulipa sp., Muscari sp
Sukkulentler		Sempervivum tectorum, Sempervivum marmoreum, Sempervivum ruthenicum Sempervivum caucasicum, Sedum rupestre, Sedum acre, Sedum album, Sedum cauticolum, Sedum reflexum, Sedum kamtschatikum, Sedum sexangulare, Sedum spurium
Kısa Boylu Odunsular		Kısa Boylu Odunsular Calluna vulgaris, Genistra tinctoria, Cytisus scoparius, Helianthemum mummularium

2.4.4.2.Yeşil Çatı Uygulama Türleri

2.4.4.2.1. En az %2 Eğime Sahip Çatılarda Yeşil Çatı Uygulaması

Zemininde su birikmeyen ve en az %2 en çok %8 eğimli çatıların seyrek bitkilendirilmesinde su tutma ve drenaj levhası önem kazanmaktadır (Şekil 2.25.). Bu çatılarda sistemin toplam kalınlığı 11-13 cm olup, su depolama kapasitesi 40/50 l/m² ve bitkiler dahil toplam sistem ağırlığı 80-100 kg/m² olmaktadır. Ancak bu çatılarda yoğun bitkilendirme yapılırken, drenaj tabakasının su tutma kapasitesi bitkiler için yeterli olmalı ve yüksek mekanik dayanıma sahip olmalıdır (Şekil 2.26.). Bu tür çatılarda toplam sistem kalınlığı 20-25 cm olup su tutma kapasitesi en az 68 l/m² olmalıdır. Bitkilerle birlikte toplam sistem kalınlığı ise 150-250 kg/m² olmaktadır (Onduline 2017).



Şekil 2.25. Seyrek bitkilendirme

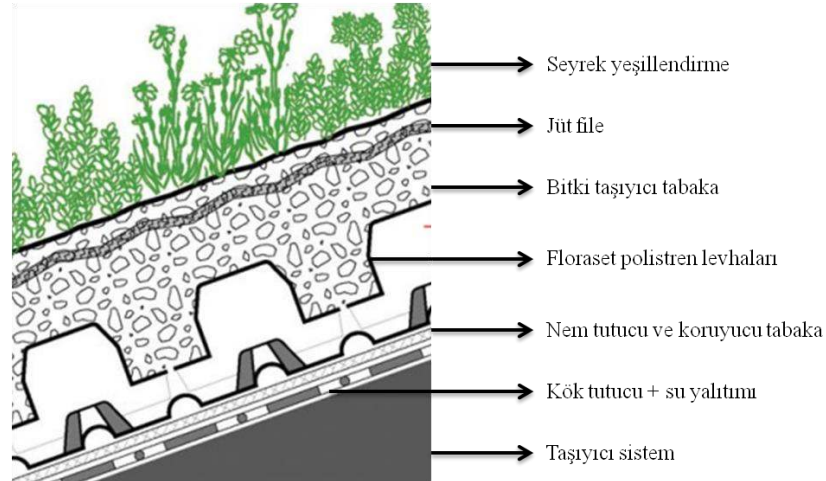
(Onduline 2017)

Şekil 2.26. Yoğun bitkilendirme

(Onduline 2017)

2.4.4.2.2. %20- %40 Eğime Sahip Çatılarda Seyrek Yeşil Çatı Uygulaması

Eğimli çatılarda seyrek yeşillendirme yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli konu sistemin kaymasına karşı alınması gereken önlemlerdir. Bu sebeple sistem, kayma kuvvetlerine karşı dayanıklı kullanılmalıdır. Dahası, %30'dan daha fazla eğime sahip çatılarda erozyona karşı bitkilendirmenin altına jüt file kullanılabilir (Şekil 2.27.). Bu şekilde uygulanan yeşil çatıların toplam sistem ağırlıkları 80-100 kg/m² olurken, toplam sistem kalınlığı ise 13-15 cm'dir. Ayrıca bu çatıların su depolama kapasiteleri ise 35-40 l/m² olmaktadır (Onduline 2017).



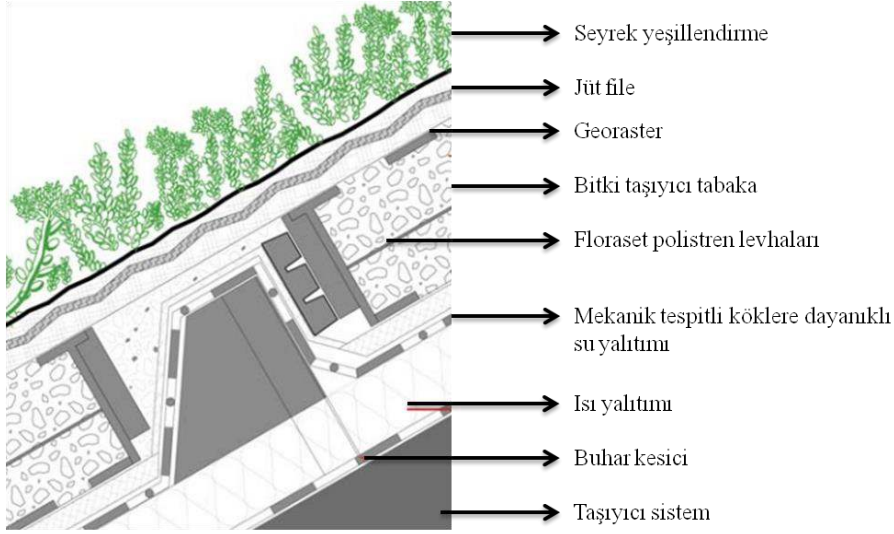
Şekil 2.27. %30'dan daha fazla eğime sahip yeşil çatılar (Onduline 2017)

2.4.4.2.3. %40-%100 Eğime Sahip Çatılarda Seyrek Yeşil Çatı Uygulaması

Yüksek eğime sahip çatılarda bitkilendirme seçimi yapılırken yalnızca seyrek bitkilendirme yapılabilir. %40-%100 eğime sahip dik çatılarda bitki taşıyıcı tabaka ile bitki tabakasının kaymasının önlenmesi çok önem kazanmaktadır. Bu amaçla firmaların özelleştirilmiş aparatları kullanılmaktadır bunlardan biri şekil 2.28. de gösterilmiştir ve bu aparatında kullanıldığı sistem detayı şekil 2.29. da gösterilmiştir. Bu tür çatılarda toplam sistem ağırlığı yaklaşık 155 kg/m^2 olurken toplam sistem kalınlığı 15 cm olmaktadır ve su depolama kapasitesi de 68 l/m^2 olmaktadır (Onduline 2017).



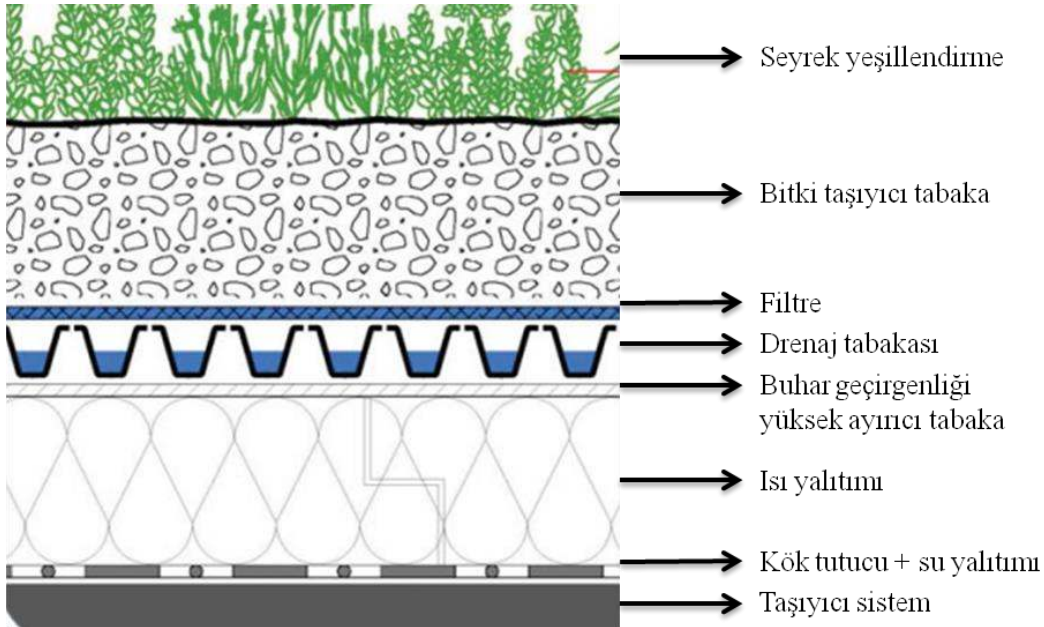
Şekil 2.28. Yeşil çatılarda bitki tabakasının kayması önleyen aparat (Onduline 2017)



Şekil 2.29. Eğimli yeşil çatılarda sistem detayı (Onduline 2017)

2.4.4.2.4. Ters Çatılarda Seyrek Yeşil Çatı Uygulaması

Ters çatılarda su yalıtımı ısı yalıtım levhalarının altında yer almaktadır. Ters çatılar yapılırken eğim verilmemesi önerilmekle beraber en az %1,5-2 eğim olmalıdır. Su yalıtımı yüzeyin tümüne serilmiş iki katmanlı membran ise, su yalıtımı ve beton döşeme arasındaki suyun akışı hemen hemen engellenmiş olmaktadır. Bu sebeple sonradan meydana gelebilecek sızıntılar kolaylıkla tespit edilip ucuz bir şekilde tamir edilebilmektedir. Ayrıca ters çatılarda ısı yalıtım levhaları yağmur suyuyla karşı karşıya kalır ve bu alandaki suyun buharlaşmasını önlemek gerekir (Şekil 2.30.).



Şekil 2.30. Ters yeşil çatılarda sistem detayı (Onduline 2017)

Bu sebeple kalın bir koruyucu tabaka yerine buhar geçirgenliği yüksek ayırıcı kullanılmalı ve eğer kök tutucu katman kullanılacaksa ısı yalıtım katmanının altına serilmelidir. Ters çatılarda yeşillendirmelerde toplam sistem kalınlığı, ısı yalıtım + 11-13 cm olmaktadır. Bitkiler dahil toplam sistem ağırlığı $80-100 \text{ kg/m}^2$ olup su depolama kapasitesi de $35-40 \text{ l/m}^2$ olmaktadır (Onduline 2017).



3.MATERYAL VE METOT

3.1. Enerji Etkin Tasarım Açısından Örnek Bir Yeşil Çatı Uygulamasının Sıcak Kuru İklim Bölgesinde Analizi

Bu tez çalışmasında, yeşil çatı sistemine sahip bir yapının sıcak kuru iklim koşullarındaki bir bölgede, sıcak dönem performansı analiz edilerek araştırılmıştır. Bu amaçla Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan ve sıcak kuru iklim özelliğine sahip Batman ilinde bulunan 4 katlı bir bina, uygulama yapısı olarak seçilmiştir. 1995 yılında betonarme karkas sistem olarak inşa edilen bu uygulama yapısına yeşil çatı sistemi kurulmuştur.

Yeşil çatının sıcak dönem periyodunda, mekânsal düzeyde yarattığı sıcaklık değişiminin ölçülmesi için, seçilen binada benzer özelliklere sahip iki ayrı mekân belirlenmiştir. Her ikisi de betonarme düz döşeme olan bu mekânlardan birine yeşil çatı uygulaması yapılmış, diğerine ise herhangi bir işlem yapılmadan mevcut döşemesi ile bırakılmıştır. Çalışmada yeşil çatıya sahip mekân “Y.Ç.”, betonarme düz döşemeye sahip mekân ise “B.Ç.” şeklinde kodlanmıştır. Y.Ç. ve B.Ç. mekânlarının sıcaklık ve nem değerleri her iki mekândan ölçüm alınarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca mekânlardaki ölçüm değerleri, Batman meteoroloji müdürlüğünden alınan dış sıcaklık ve nem değerleri ile de karşılaştırılarak, dış sıcaklık ve nem değerlerinin iç ortamlardaki farklılıkları grafikler ile verilmiştir. Kullanılan ölçüm cihazı Extech RHT10 marka olup, sıcaklık ve nemi otomatik olarak kaydetme özelliğine sahiptir (Şekil 3.1.). Ölçümler 2020 yılının Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında, haftada bir periyodunda, yarım saat aralıklarla ve yerden 1.5 m yükseklikte yerleştirilen cihazlarla alınmıştır. Sıcaklık ve nem değerleri, bu mekânlarda herhangi bir soğutma sistemi kullanılmadan doğal koşullarda ölçülmüştür.



Şekil 3.1. Ölçüm cihazı

Uygulanan yeşil çatı sistemi, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından, araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Yeşil çatı uygulama alanının büyüklüğüne bağlı olarak yerinin belirlenmesinde bütçe koşulları etkili olmuştur.

3.2. Uygulama Binasına İlişkin Özellikler

3.2.1.Binanın Bulunduğu Bölgenin Özellikleri

Uygulama yapılan binanın yer aldığı şehir olan Batman, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Dicle Bölümünde konumlanmaktadır. Verimli topraklara sahip bu kentin batısında Batman çayı, güneyinde ise Raman dağı yer almaktadır. Kuzeyde Muş, batıda Diyarbakır, doğuda Bitlis, Siirt, güneyde Mardin kentleriyle kuşatılan Batman'ın kuzey ve kuzeydoğusu yüksek sarp ve dağlık olup güneyi ise dağlık aynı zamanda engebelidir. Batısında verimli arazilerin oluşu ve etrafındaki dağlık alanların konumlanma şekli sebebiyle şehir kuzey ve doğu doğrultularında gelişim göstermiştir. Fakat son zamanlarda bu gelişim ovaya doğru olmaktadır. Beş ilçeye sahip olan Batman'ın kuzeydoğusunda Kozluk, doğusunda Beşiri, güneydoğusunda Hasankeyf ve güneyinde Gercüş ilçeleri konumlanmıştır. Verimli Batman ovasında yer alan kentin rakımı 565 m.'dir. Kentin batısında bulunan aynı zamanda Diyarbakır ile doğal bir sınır olan Batman çayı, merkeze 4.8 km uzaklıktadır. Güneyde yer alan Dicle Nehri ise merkeze 10.5 km uzaklıktadır. Ayrıca kentin yakınlarında birkaç küçük akarsu daha var olup bunların en önemlisi kentin merkezini ikiye bölen İluh deresidir (Alaeddinoğlu 2009).

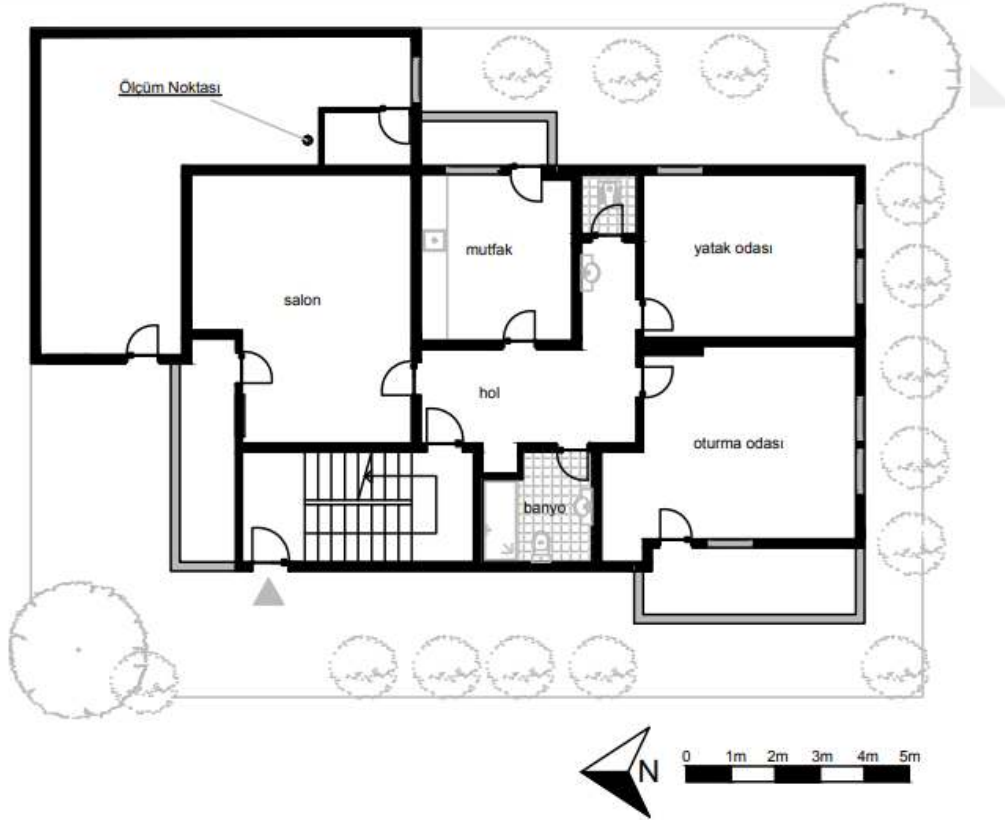
Uygulama için seçilen yapı, Batman ilinin merkezinde Kültür mahallesinde bulunmaktadır. Kültür mahallesi merkezin kuzey batısında yer almaktadır. Uygulama yapılacak yapı ayırık nizam şeklinde inşa edilmiştir. Yapının kuzey tarafında yol olup diğer üç cephesi komşu parseller ile çevrilidir. Çalışma alanı şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



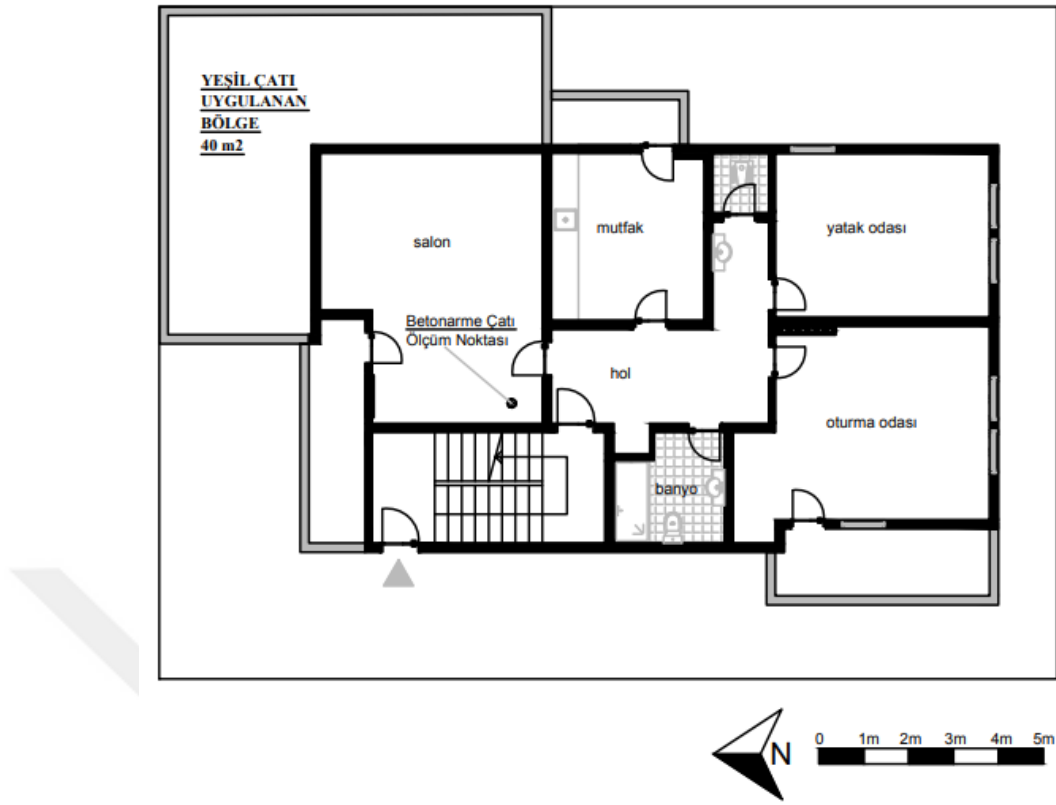
Şekil 3.2. Çalışma bölgesinin konumu

3.2.2. Uygulama Binasının Mimari Özellikleri

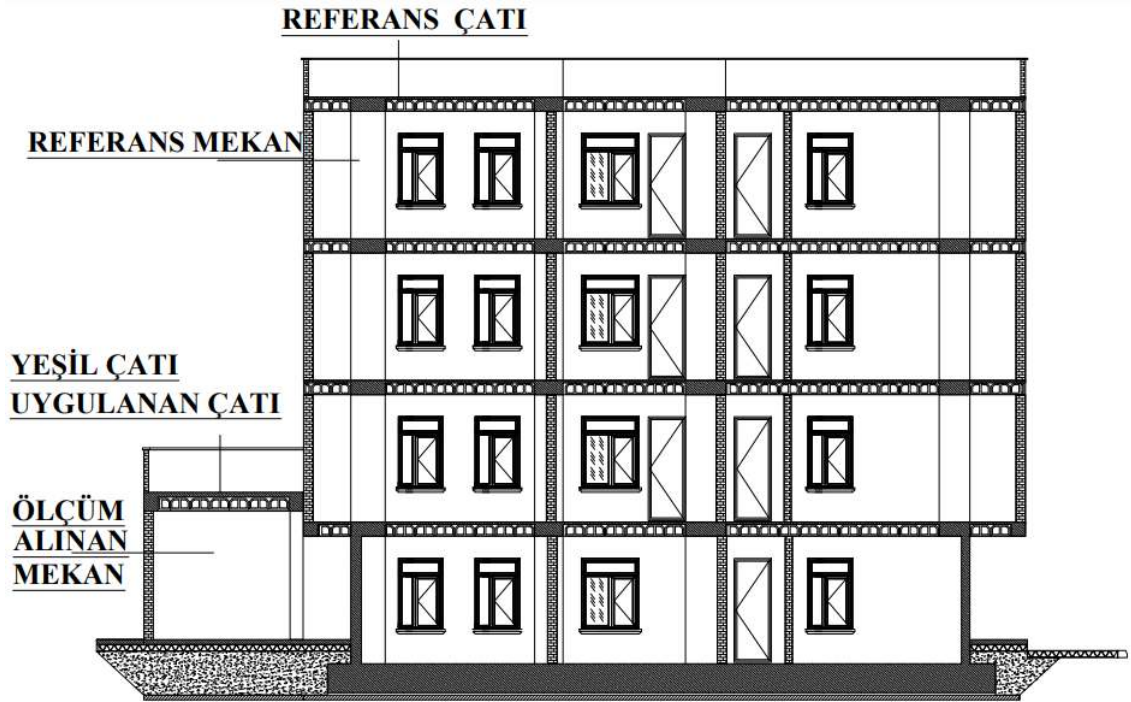
Araştırma alanı olarak seçilen yapı, Batman'ın merkezinde yer alan 4 katlı bir binadır. Binanın her katında tek bir konut vardır. Konutlar 4 yönden de dış ortamla ilişkilidir. Parsel içerisinde yapının zemin katı ile bitişik konumlanmış, konutlardan bağımsız, binanın dışından ayrı girişi bulunan, ayrıca bir mekân bulunmaktadır. Kuzey ve Doğu yönelimli bu mekân 40 m² büyüklüğünde olup üst örtüsü düz betonarme döşemedir. Bu mekânın mevcut üst döşemesinin yüzeyine yeşil çatı sistemi kurularak ölçümlerden biri bu mekândan alınmıştır. Diğer ölçüm alınan mekân ise, yeşil çatıya sahip mekânla aynı yönetime ve duvar özelliğine sahip, üst döşemesi betonarme teras çatılı konutun son katındaki salonudur (Şekil 3.3.) (Şekil 3.4.). Seçilen her iki mekânın betonarme döşemesinin üstü mermer kaplıdır. Yeşil çatı katmanları, üst döşemenin kaplama malzemesi olan mermer sökülmeden, üzerine yapılmıştır. Ölçüm için kullanılan termometreler seçilen ölçüm alanlarında hava akımlarından etkilenmeyecek şekilde ve ortalama sıcaklık ve nemin en doğru şekilde alınabileceği yerlere konumlandırılmıştır.



Şekil 3.3. Uygulama binası zemin kat planı



Şekil 3.4. Uygulama binası kat planı



Şekil 3.5. Uygulama binasının kesiti

3.2.3.Bölgenin İklim Özellikleri

Batman ili ve yakın çevresinde sıcak ve kurak iklim hüküm sürmektedir. İlin kış mevsiminde yaz mevsiminden çok daha fazla yağış almaktadır. Batman ili meteoroloji müdürlüğünden alınan resmi verilere göre kentin 1959 – 2019 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklığı 15,9 °C olup, yıllık yağış miktarı 494 mm olmaktadır. 1,7 mm yağışla yağışın en az olduğu ay Temmuz ayı; ortalama 74,9 mm yağışla yağışın en fazla olduğu ay Nisan ayıdır. Sıcaklık değerlerine bakıldığında ise ortalama 30,2 °C sıcaklıkla en sıcak ay Temmuz ayı olup en soğuk ay ise ortalama 2,4 °C sıcaklıkla Ocak ayı olmaktadır. Senenin en kurak ve en çok yağışlı ayı arasındaki yağış miktarı 73,2 mm; yıllık ortalama sıcaklık ise 27,8 °C civarında farklılık göstermektedir (Çizelge 3.1.) (URL-7). Çalışma alanının bulunduğu konum Batman ilinin merkezinde olup iklimsel açıdan Batman geneliyle benzerlik göstermektedir.

Çizelge 3.1. 1959 – 2019 yılları arasında ortalama sıcaklık ve yağış verileri (URL-6)

BATMAN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.4	4.5	9.2	14.3	19.3	25.9	30.2	29.5	24.2	17.2	9.5	4.3	15.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7.6	10.6	15.9	21.6	27.7	34.9	39.4	39.4	34.5	26.6	16.9	9.7	23.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.4	0.0	3.6	7.8	11.4	15.9	20.2	19.7	15.0	10.0	4.0	0.5	8.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.6	5.5	7.2	9.0	11.5	11.9	11.2	9.8	6.9	5.2	2.9	88.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.1	10.4	11.7	11.6	8.4	2.3	0.4	0.4	1.1	5.9	7.5	10.3	81.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	61.5	65.3	74.9	74.9	46.7	9.0	1.7	1.9	5.2	33.3	54.8	64.8	494.0

3.3. Uygulama Binasına Yeşil Çatı Yapımı

3.3.1. Yeşil Çatının Ön Hazırlık Aşaması

Çalışma kapsamında, yeşil çatı sisteminin bitkileri ile ilgili ilk denemeler 2019 yılında küçük ölçekte bitki türleri ile gerçekleştirilerek çalışmada kullanılabilecek bitkiler hakkında daha somut bulgular elde edilmiştir. Bitkilerle ilgili ön çalışmalar ile Sedum Spurium(kaya kuruğu), Sedum Sexangulare, Sedum Reflexum(sarı dam kuruğu) ve Sedum Acre(acı dam kuruğu) gibi extensive yeşil çatı sistemine uygun bitki türlerinin Batman koşullarında yetiştirme şartları gözlemlenmiştir. Saksı ortamında 1 yıl boyunca bitkilerin gelişimi gözlenmiştir. Bu gözlem sonucunda tüm bitki türleri hava koşullarına uyum sağlamış olup yalnızca Sedum Reflexum(sarı dam kuruğu) bitkisinde böceklenme görülmüştür (Şekil 3.6.) Bu nedenle Sedum Reflexum dışındaki türler dayanıklılıklarından dolayı tercih sebebi olmuştur.



Şekil 3.6. Sedum Reflexum(sarı dam kuruğu) bitkisinde görülen böceklenme

Daha önce teras olarak kullanılan 40 m²'lik çalışma alanında, uygulama yapılmadan önce bir takım hazırlıklar yapılmıştır. Bu hazırlıklar;

- Yapılan literatür araştırmalarına göre extensive yeşil çatının derinliği 15-20 cm civarındadır. Zeminle aynı kotta biten ve şekil 3.7.'de 1 ve 2 numara ile gösterilen pencereler ve teras çatının girişi, doğru bir uygulamanın yapılabilmesi için 20 cm betonla yükseltilmiştir. Bu işlem, su yalıtımı yapılırken çatının kenarlarında 20 cm yükseklikte kesintisiz duvar sağladığından su sızmalarının da önüne geçmektedir. Ayrıca su yalıtımının çatı kenarlarında kırılmadan rahat bir şekilde yükseltilebilmesi için şekil 3.7'de 3 numara ile gösterildiği gibi çatının tüm kenarlarına pah yapılmıştır.



Şekil 3.7. Uygulama yapılacak olan çatıda yapılan hazırlıklar

- Mevcut çatının üzerine sarkan ağaçlar uygulamanın rahatlıkla yapılabilmesi için kaldırılmıştır (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Uygulama yapılacak olan çatıya sarkan ağaçların kaldırılması

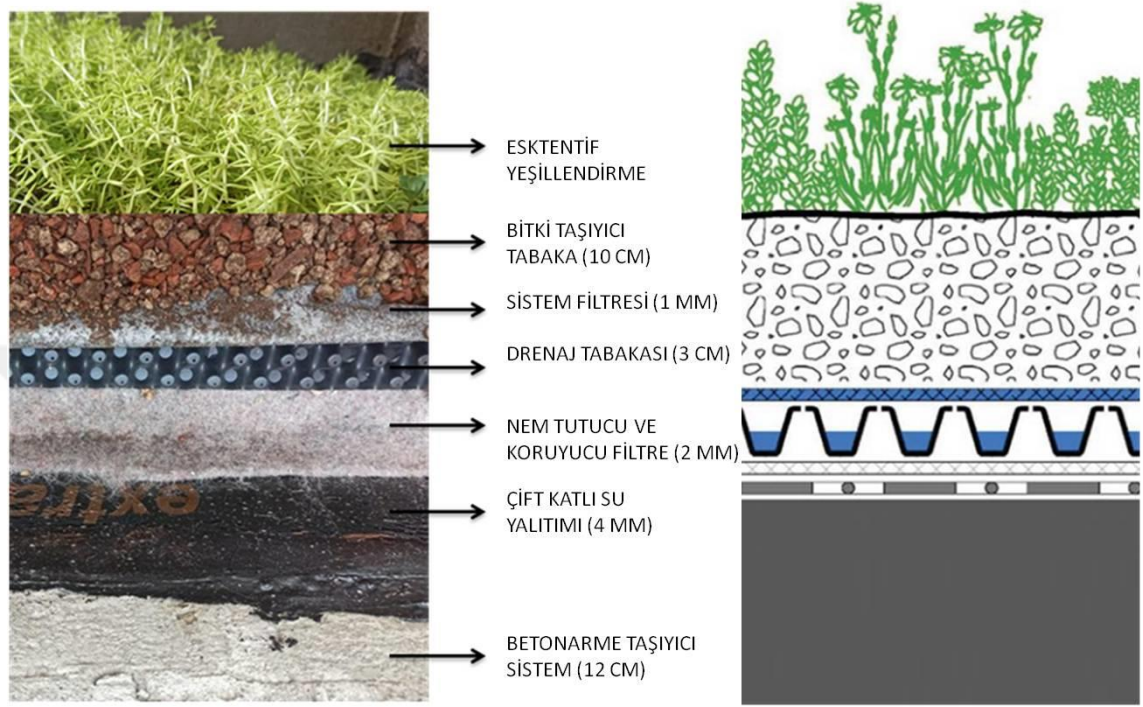
- Var olan yağmur suyu gideri, su akışının doğru ilerlemesi için kötü düşürülerek su yalıtımının sızdırmazlığının sağlanmasına yarayan uygun gider aparatı takılmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Gider aparatının takılması

3.3.2. Yeşil Çatının Yapım Aşamaları

Literatür çalışmalarından elde edilen bilgiler sonucunda araştırmaya konu olan yeşil çatı sisteminde kullanılacak tüm katmanlar belirlenmiştir. 6 ana katmandan oluşan sistemin kalınlığı 15 cm olup şekil 3.10.'da ana katmanlar gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Yeşil çatı temel katmanları

Su Yalıtımı Uygulaması: Su yalıtımının zeminle iyi bir şekilde bütünleşebilmesi için uygulama yapılacak zemine öncelikle astar baz sürülmüştür (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Su yalıtımı için astarın uygulanması

Çatı yeşillendirmesinin en önemli ön şartı su yalıtımının iyi bir şekilde yapılmasıdır. Uygulamada su yalıtımı 2 kat yapıp ikinci kat ilk katın birleşim

noktalarının üstüne serilerek uygulanmıştır. Su yalıtım tabakaları zemine ve ikinci katın üzerine ısıtılarak serilmiştir. Serilen her iki kat su yalıtımı da çatı kenarlarından 20 cm dikey olarak uzatılarak su sızdırmazlığı sağlanmıştır (Şekil 4.12.).



Şekil 3.12. Çift kat su yalıtımının uygulanması

Ayrıca çatı giderine yabancı maddelerin girmesini engellemek amacıyla örümcek adı verilen aparat takılmıştır. Rüzgar etkisi ile çatıya gelen maddeler bu aparata takılarak çatı giderinin tıkanması engellenmiş olacaktır. Mevcut çatıda yoğunlaşma oluşumunun önlenmesi amacıyla havalandırma bacaları uygun yerlere yerleştirilmiştir. Havalandırma bacaları su yalıtımı uygulamasından önce yapılmıştır. Yalıtımın altında oluşabilecek nem ve hava, baca yoluyla dışarı verilmektedir (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13 .Çatı giderine yabancı maddelerin girmesini engellemek amacıyla örümcek adı verilen aparatın takılması



Şekil 3.14. Mevcut çatıda yoğunlaşma oluşumunun önlenmesi için havalandırma bacalarının uygun yerlere yerleştirilmesi

Mekanik etkilere karşı koruyucu ve nem tutucu tabaka: Çürümeye dayanıklı özel keçelerden oluşan, su yalıtımını koruyan ve drenaj tabakasından tahliye edilen fazla suyu bünyesinde tutabilme özelliğine sahip koruyucu keçe tabakası serilmiştir (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Nem tutucu ve koruyucu şiltenin serilmesi ve havalandırma bacasına göre şekillendirilmesi

Drenaj tabakası: Drenaj tabakası oluklu bir yapıda olup alt kısımlarındaki oluklar hazne görevi görmektedir. Üst kısımlardaki oluklarda ise delikler bulunmaktadır. Ayrıca sert yapıda olan bu tabaka yük kaldırmaya da dayanıklıdır. Filtre tabakasından süzülen yağmur ve sulama suları drenaj tabakasının alt oluklarında birikip kurak günler için depolanır. Fakat biriken su fazla ise, bitkilerin çürümesini önlemek amacıyla üst oluklardaki deliklerden drene edilerek atılabilmektedir. Drenaj levhalarının gider yönünde bini yapacak şekilde yerleştirilip fazla suyun gidere ulaşması kolaylaştırılmıştır (Şekil 3.16.).



Şekil 3.16. Drenaj levhalarının yerleştirilmesi

Filtre katmanı: Toprağın drenaj tabakasına dolmasını önlemek ve topraktaki suyu süzerek drenaj tabakasına tahliyesini sağlayan sistem filtresi serilmiştir (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. Sistem filtresinin serilmesi

Bitki taşıyıcı tabaka: Ponza taşı, kiremit kırığı, hayvansal gübre ve toprak karışımından oluşan bitki taşıyıcı tabakadır (Şekil 3.18.). Bu katmanda kullanılan elementler seçilen bitkinin tüm besin ihtiyaçlarını karşılar. Bitkilerin uzun yıllar kendilerini yenileyerek canlı ve güzel kalmasını sağlar. Ayrıca iri formlarda olan ponza taşı ve kiremit kırığı, katmanın hava almasını sağlayarak uzun yıllar boyunca çapa yapılmasının önüne geçer.



Şekil 3.18. Ponza taşı kiremit kırığı hayvansal gübre ve toprak karışımından oluşan bitki taşıyıcı tabakanın serilmesi

Bitkiler: Yapılan literatür çalışmalarında Türkiye’de ve dünyada uygulanan extensif yeşil çatılarda en çok kullanılan bitki türleri belirlenmiş olup uygulama yapılmada bir yıl önce bitkilerin yetiştirme şartları gözlemlenmiştir. Yapılan gözlem sonucunda Sedum Spuriyum(kaya kuruğu), Sedum Sexangulare ve Sedum Acre(acı dam kuruğu) bitkilerinin kullanılması uygun görülmüştür (Şekil 3.19.). Seçilen bu sedumların renk ve yaprak farklılıkları göz önüne alınarak yapılan yeşil çatıya uygun bir tasarım yapılarak ekim işlemi yapılmıştır (Şekil 3.20.) (Şekil 3.21.).



Şekil 3.19. Bitki türleri



Şekil 3.20. Tercih edilen sedum tipi bitkilerin tasarlanan şekilde ekiminin yapılması



Şekil 3.21. Uygulanan yeşil çatının farklı açılardan görünümü

Çizelge 3.2. Yeşil çatının yapım aşamaları

Yeşil Çatı Katmanları	Resim	Açıklama
Betonarme döşeme		Uygulama yapılmaın önce betonarme döşemenin üstten görünüşü
Su yalıtımı		Yeşil çatını bünyesinde tutabildiği suyun ve nemin betonarme döşemeye zarar vermesini engelleyen çift kat su yalıtımının uygulanması
Nem tutucu ve koruyucu filtre		Su yalıtımının zarar göresini engelleyen ve bünyesinde belirli miktarda su tutabilen nem tutucu ve koruyucu filtrenin serilmesi
Drenaj tabakası		Bitki taşıyıcı katmanda suyun birikmesini önleyerek fazla suyu küçük haznelerde biriktiren ve kurak dönemlerde kullanılmasını sağlayan drenaj tabakasının serilmesi
Sistem filtresi		Bitki taşıyıcı katmandaki parçacıkların drenaj tabakasına dolmasını önleyen sistem filtresinin serilmesi
Bitki taşıyıcı katman		Toprak, hayvansal gübre, ponza taşı ve kiremit kırığının belirli oranlarla karıştırılıp seçilen bitkilere uygun bitki taşıyıcı katmanın serilmesi
Yürüme yolları		Ekilen bitkilerin çatının kenarlarında ilerleyip yapıya zara vermesini engellemek ve çatıda dolaşımı kolaylaştırmak için yürüme yollarının yapılması.
Bitki Tabakası		Sıcak kuru iklime olan uyumuğu, uygulama yapılmadan önce bir yıl süreyle gözlemlenen sedum tipi bitkilerin ekilmesi.

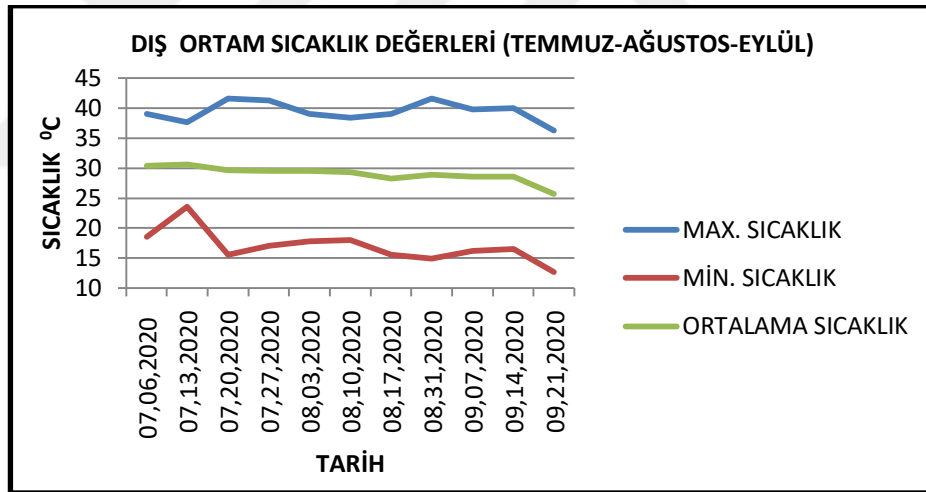
4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ölçüm Sonuçlarının Analizi

4.1.1. Sıcaklık Analizi

Çalışmada belirlenen her iki mekândan 2020 yılının Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları boyunca kaydedilen sıcaklık ve nem değerleri grafiklerle verilmiştir. Ayrıca, yeşil Çatı (YÇ) ve Betonarme Çatı (BÇ)’lara sahip iç mekânların günlük sıcaklık-nem değerleri Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden alınan iklim verileri ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçları grafikler ile ifade edilerek açıklanmıştır.

Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden alınan, 2020 yılının Temmuz-Ağustos-Eylül aylarına ait iklim verilerine göre bu dönemdeki, ortalama hava sıcaklığı 29 °C’dir. Ölçülen en yüksek hava sıcaklığı 41,6 °C olup 20 Temmuz ve 31 Ağustos 2020 tarihlerindedir. En düşük hava sıcaklığı 12,7 °C ile 21 Eylül 2020 tarihindedir (Şekil 4.1.).

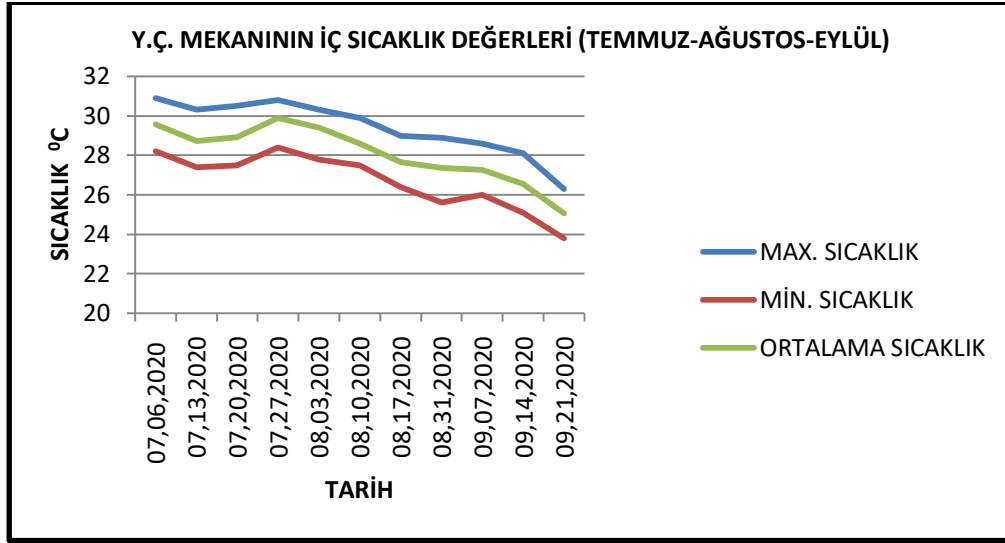


Şekil 4.1. Batman ilinin Dış Sıcaklık değerleri

Betonarme çatı (B.Ç.) ve Yeşil çatı (Y.Ç.)’ya sahip mekanların iç ortam verileri incelenirken öncelikle sıcaklık değerleri ele alınmıştır. Yeşil çatıya sahip mekanın, 2020 yılının Temmuz-Ağustos-Eylül aylarına ait iç ortam sıcaklık verilerine göre bu dönemdeki, ortalama sıcaklık değeri 27.85°C’ dir. Ölçülen en yüksek hava sıcaklık değeri 30.9°C olarak 6 Temmuz 2020 tarihinde, en düşük hava sıcaklık değeri ise

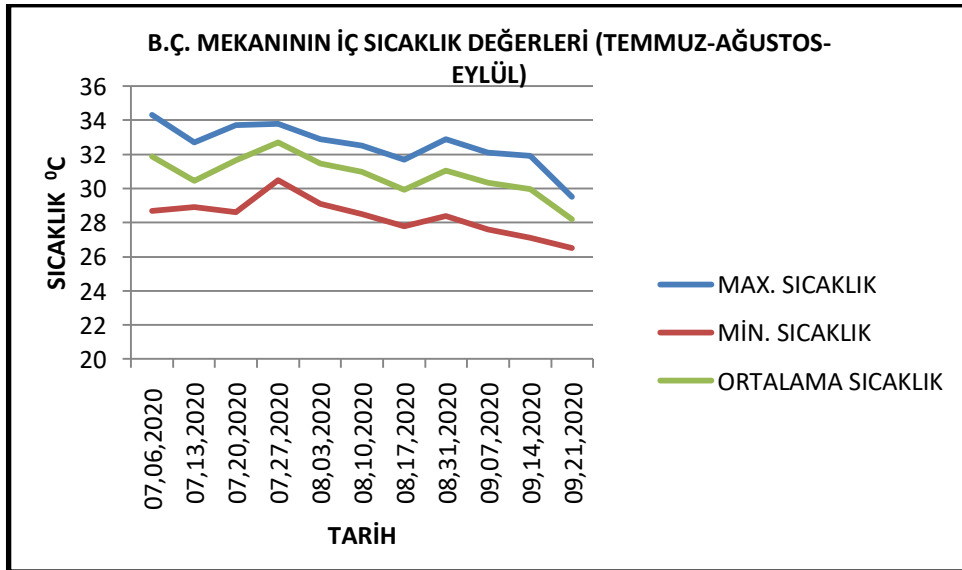
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

23.8°C olarak 21 Eylül 2020 tarihinde görülmüştür. Günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri de şekil 4.2.verilmiştir.



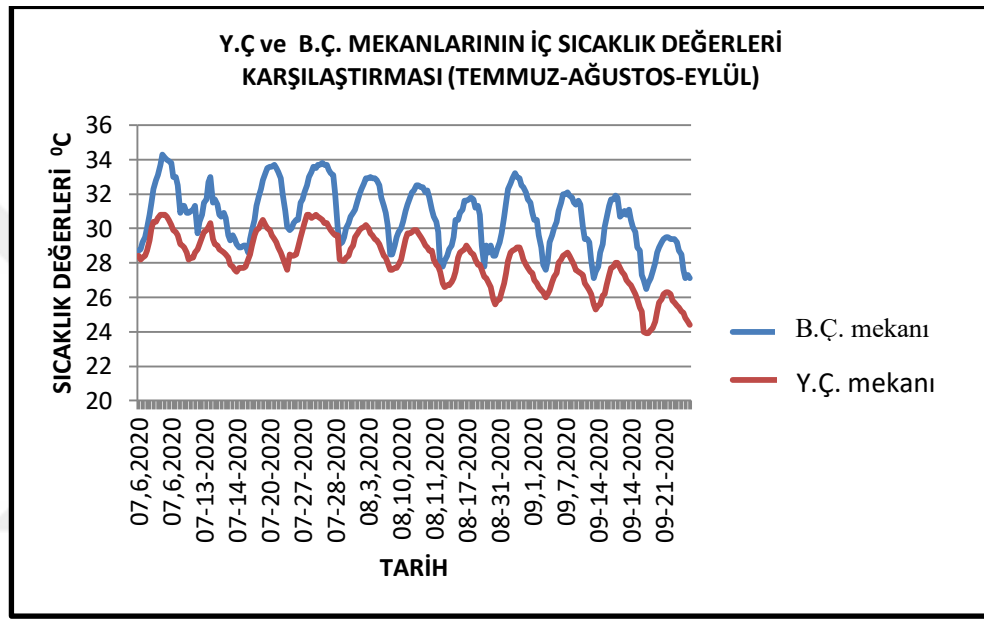
Şekil 4.2. Y.Ç. mekanı iç ortam Min. Max. ve Ort. Sıcaklık değerleri

Betonarme çatıya sahip mekanın, 2020 yılının Temmuz-Ağustos-Eylül aylarına ait iç ortam sıcaklık verilerine göre bu dönemdeki, ortalama hava sıcaklığı 30.69°C'dir. En yüksek hava sıcaklığı 34.3°C değeri ile 6 Temmuz 2020 tarihinde, en düşük hava sıcaklığı 26.5°C değeri ile 21 Eylül 2020 tarihinde ölçülmüştür. Günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri de şekil 4.3.verilmiştir.



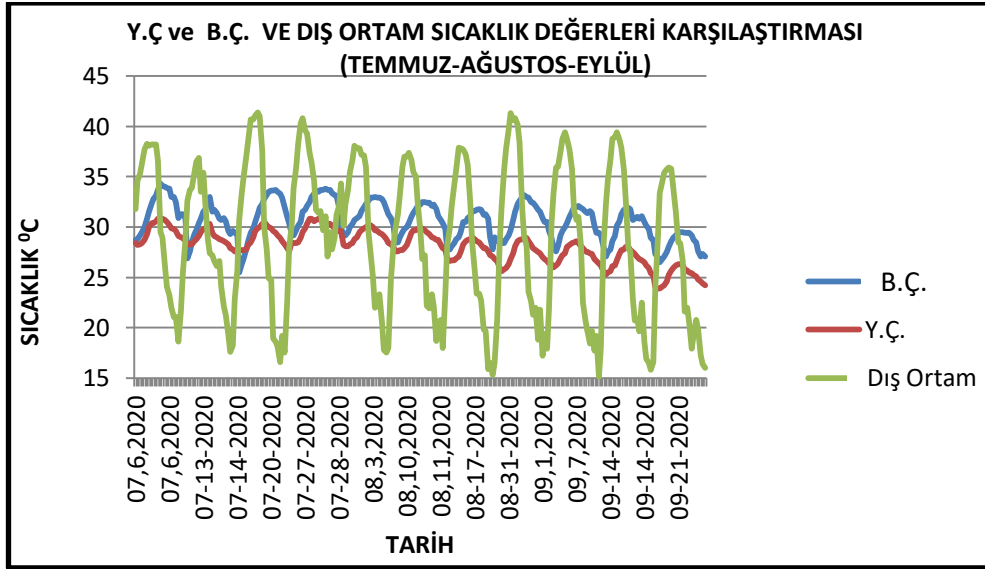
Şekil 4.3. B.Ç. mekanı iç ortam Min. Max. ve Ort. Sıcaklık değerleri

Çatı sistemlerinin sıcak-kuru dönemde iç ortam sıcaklıklarına etkisinin belirlenebilmesi için ölçüm alınan günlerin saatlik bazda ortalama sıcaklıkları alınarak günlük sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Sıcaklık grafiğinde Y.Ç. ve B.Ç. mekanlarının iç ortam sıcaklığının akşam saatlerinde birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Dış hava sıcaklığının en yüksek değerlere çıktığı öğle saatlerinde ise sıcaklık farklarının belirginleştiği ve yeşil çatılı mekanın iç ortam sıcaklığının betonarme çatılı mekanın iç ortam sıcaklığından 2.68 ± 1 °C düşük olduğu ölçülmüştür (Şekil 4.4.).



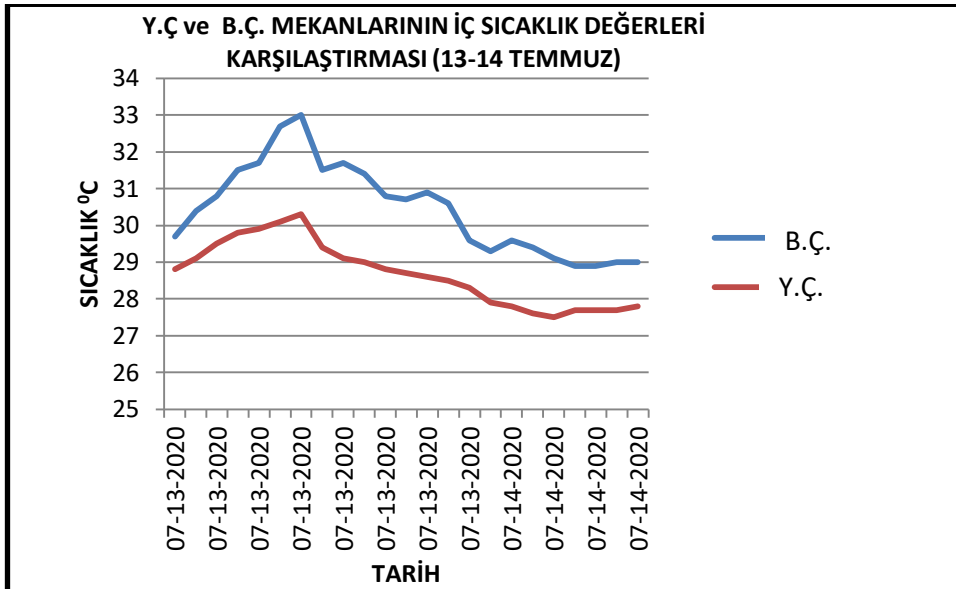
Şekil 4.4. Y.Ç. ve B.Ç. mekanlarının iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Meteoroloji Müdürlüğünden elde edilen verilere göre, hava sıcaklığı gündüz öğle saatlerinde yüksek seviyeye, gece ise düşük seviyeye sahip olmaktadır. Yeşil çatı ve betonarme çatılı mekanlarda ise alınan ölçümlere göre, sıcaklık değerleri gün içerisinde sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar yavaşça artmış ve en yüksek değere öğleden sonra saat 5'te ulaşmıştır. Aynı gün saat 17:00'dan sonraki gün sabah saat 05:00'a kadar azalmıştır. Y.Ç ve B.Ç mekanlarının her birindeki faz farkı, belirgin derecede değişim göstermiştir. Belirtilen tarihlerde dış hava sıcaklık değerleri ortalama olarak $16,9$ °C ile $39,45$ °C arasında değişirken, betonarme çatılı mekanda $28,33$ °C ile $32,54$ °C, yeşil çatılı mekanda ise $26,7$ °C ile $29,41$ °C sıcaklıkları arasında salınım göstermiştir (Şekil 4.5.).



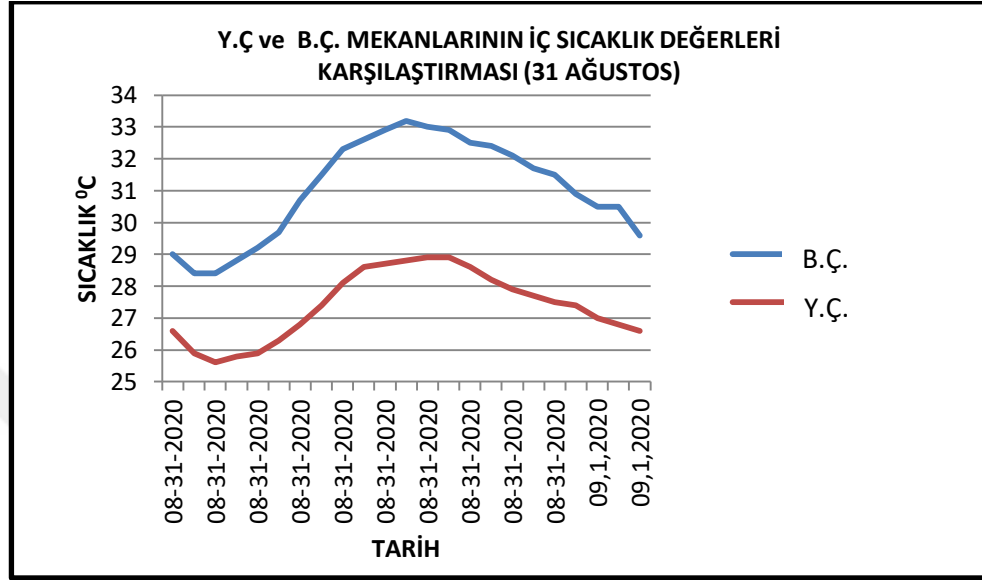
Şekil 4.5. Y.Ç., B.Ç. ve dış ortam sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Y.Ç. ve B.Ç. sistemlerine sahip mekanların iç ortam sıcaklıkları incelendiğinde günlük ortalama 30⁰C sıcaklıkla en sıcak ay Temmuz ayıdır. Bu ayda iç ortam sıcaklıkları, diğer aylardan daha yakın değerlere sahip olmuştur. 13-14 Temmuz günlerinde, 1,71⁰C 'lik fark ile iç ortam sıcaklıklarının en yakın olduğu günler olmuştur (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Y.Ç. ve B.Ç. mekanlarının iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması (13-14 Temmuz)

Y.Ç. ve B.Ç. mekanlarının iç ortam sıcaklıkları incelendiğinde günlük ortalama $26,54^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkla en serin ay Eylül ayıdır. Bu ayda B.Ç. ve Y.Ç. iç ortam sıcaklıkları farkı diğer aylara göre artmıştır. 31 Ağustos-1 Eylül günü iç ortam sıcaklık farkı $3,7^{\circ}\text{C}$ ile en yüksek seviyeye çıktığı gün olmuştur (Şekil 4.7.).



Şekil 4.7. Y.Ç. ve B.Ç. mekanlarının iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması (31 Ağustos)

Sıcak bölgelerde yazın hava sıcaklığı 35°C 'ye çıktığı zaman güneş ışınlamalarına maruz kalan düz döşemenin yüzey sıcaklığı 65°C 'yi bulmaktadır. Bu yüksek sıcaklıklar, döşemenin altındaki mekanın iç ortam sıcaklığını doğrudan etkilemektedir. Çatı, toprak tabakası ile kaplandığı ve bitkilerle gölgelendirildiği zaman güneş ışınlarının çatı yüzeyine doğrudan etkisi engellenir. Bitki örtüsü, gelen güneş ışınlamalarının emilimini büyük oranda engelleyerek yayılan ısıyı azaltılmasını sağlar. Buna ilaveten, bitkiler ve toprak suyu buharlaştırır, soğutma etkisi oluşturur ve havayı nemlendirir. Bu da daha rahat nefes alınmasına olanak sağlayarak sıcak dönemlerde yapıyı doğal olarak soğutmaktadır. Bu soğutma etkisi, geceleri artar. Kaliforniya'da Lawrence Berkeley Araştırma Merkezi tarafından yaratılan bilgisayar modelleri yüzlerce çatı bahçesinin bir arada, ortam sıcaklığını 3°C düşürebildiğini ispatlamıştır (Kabuloğlu, 2005). Deneyisel olarak inşa edilen Y.Ç. ve B.Ç. sistemlerinin günlük ortalama iç ortam sıcaklık verileri incelendiğinde ise iç ortam sıcaklıklarının birbirine en yakın olduğu gün 1.71°C farkla 13 Temmuz 2020 günü olmuştur. İç ortam sıcaklık farkının en çok olduğu değer ise 3.70°C farkla 31 Ağustos-1 Eylül 2020 tarihinde oluşmuştur. Günlük olarak sıcaklık

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

farklarına bakıldığında yeşil çatının iç ortam sıcaklığını ortalama 2.68 °C düşürdüğü belirlenmiştir (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. B.Ç. ve Y.Ç. mekanlarının günlük ortalama sıcaklık farkları(Temmuz-Ağustos-Eylül)

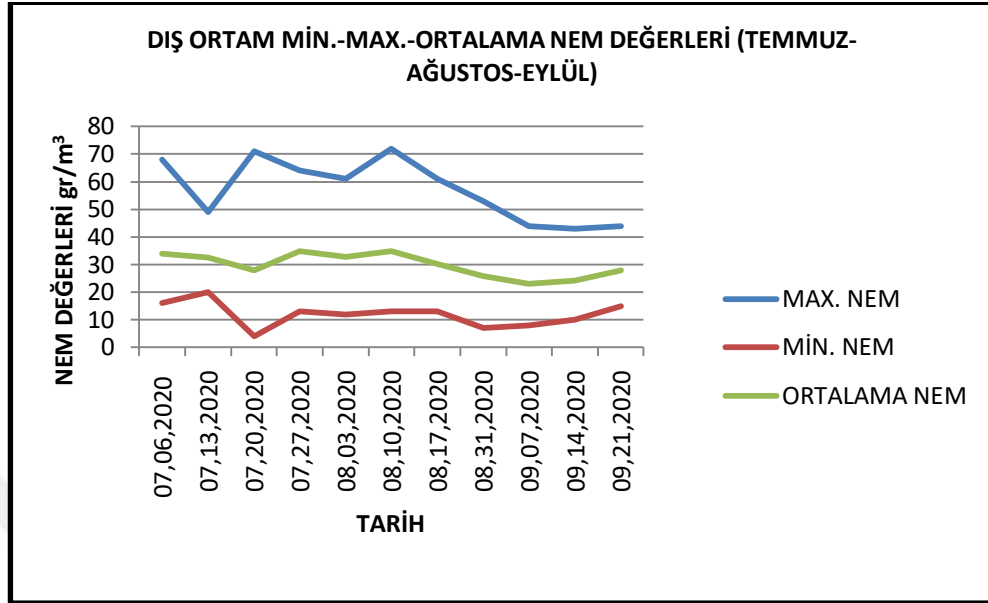
TARİH	B.Ç. ORTALAMA. SICAKLIK (°C)	Y.Ç. ORTALAMA SICAKLIK(°C)	B.Ç. VE Y.Ç. ORTALAMA SICAKLIK FARKI (°C)
07,06,2020	31,88	29,58	2,3
07,13,2020	30,44	28,73	1,71
07,20,2020	31,64	28,93	2,71
07,27,2020	32,7	29,9	2,8
08,03,2020	31,45	29,4	2,05
08,10,2020	30,96	28,6	2,36
08,17,2020	29,93	27,65	2,28
08,31,2020	31,05	27,35	3,7
09,07,2020	30,34	27,26	3,08
09,14,2020	29,98	26,54	3,44
09,21,2020	28,21	25,06	3,15
			ORTALAMA=2,68

4.1.2.Nem Analizi

Dış hava nemliliği, dünyadaki su kaynaklardan buharlaşarak havaya karışan su miktarının buhar basıncı ya da oran olarak tanımlanmasıdır. Belirli şartlardaki havada bulunan su buharı seviyesinin, aynı şartlardaki havanın su buharı ile doymuş miktarı oranına bağlı nemlilik, birim ağırlıktaki kuru hava içerisindeki su buharı ağırlığı özgül nem şeklinde tanımlanmaktadır (Dörter, H. 1994).

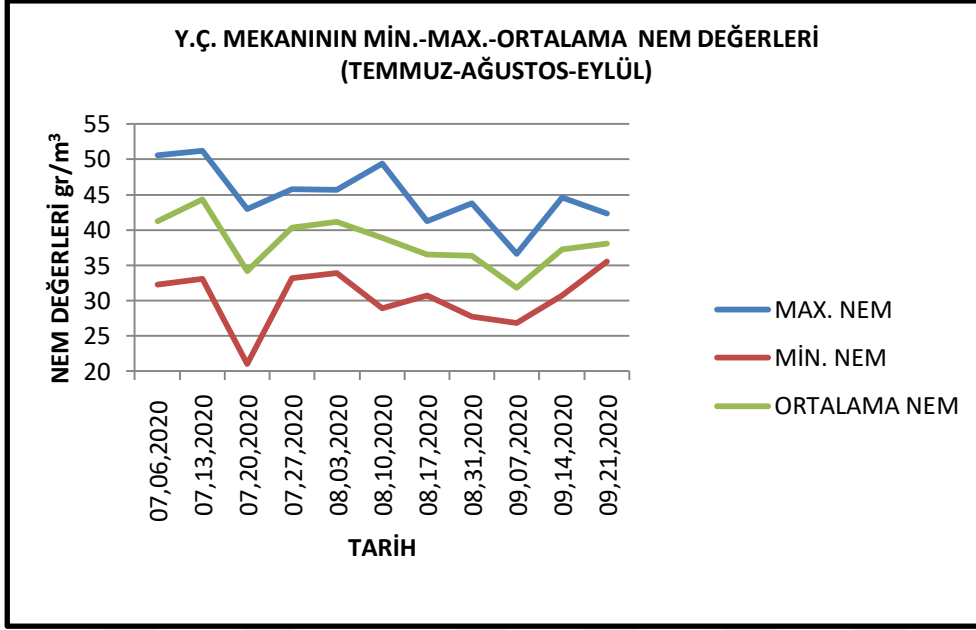
Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden alınan, 2020 yılının Temmuz-Ağustos-Eylül aylarına ait iklim verilerine göre; bu dönemdeki ortalama nem seviyesi 29,83 gr/m³ dür. En yüksek nem seviyesi 72 gr/m³ olup 10 Ağustos 2020 tarihlerinde, en düşük nem seviyesi 4 gr/m³ olup 20 Temmuz 2020 tarihinde

gözlemlenmiştir. Değerler incelendiğinde nem seviyesi ölçüm alınan tarihlerde %100 seviyesine ulaşmadığından bu dönemde yağış görülmemiştir (Şekil 4.8.).



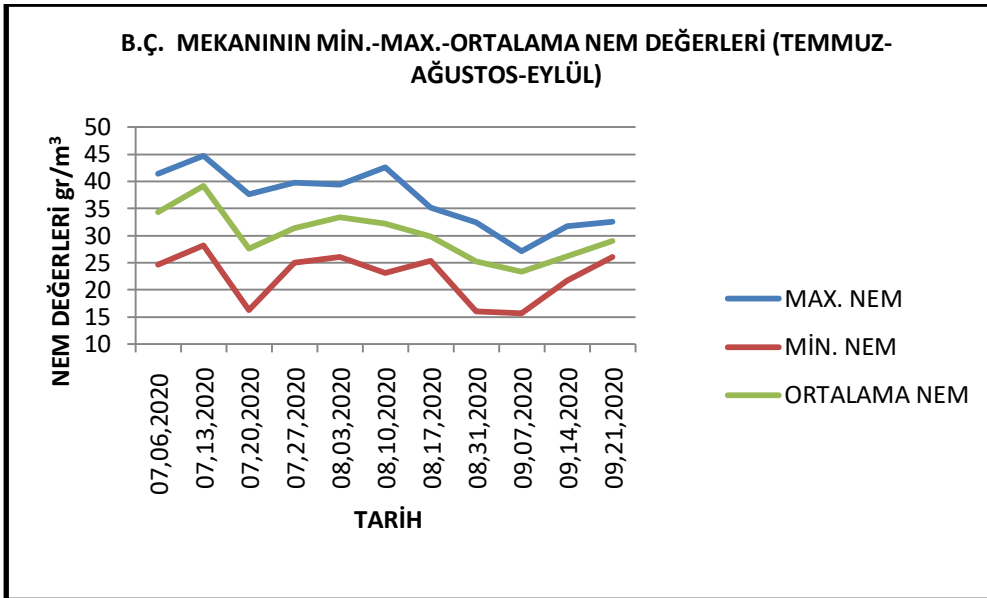
Şekil 4.8. Batman ilinin Dış ortam Min. Max. ve Ort. Nem değerleri

Yeşil çatıya sahip mekanın, 2020 yılının Temmuz-Ağustos-Eylül aylarına ait iç ortam nem seviyelerine göre bu dönemdeki, ortalama nem seviyesi $38,18 \text{ gr/m}^3$ dür. En yüksek nem seviyesi $51,2 \text{ gr/m}^3$ olarak 13 Temmuz 2020 tarihinde, en düşük nem seviyesi 21 gr/m^3 olarak 20 Temmuz 2020 tarihinde görülmüştür. Günlük minimum, maksimum ve ortalama nem değerleri de şekil 4.9.'da verilmiştir.



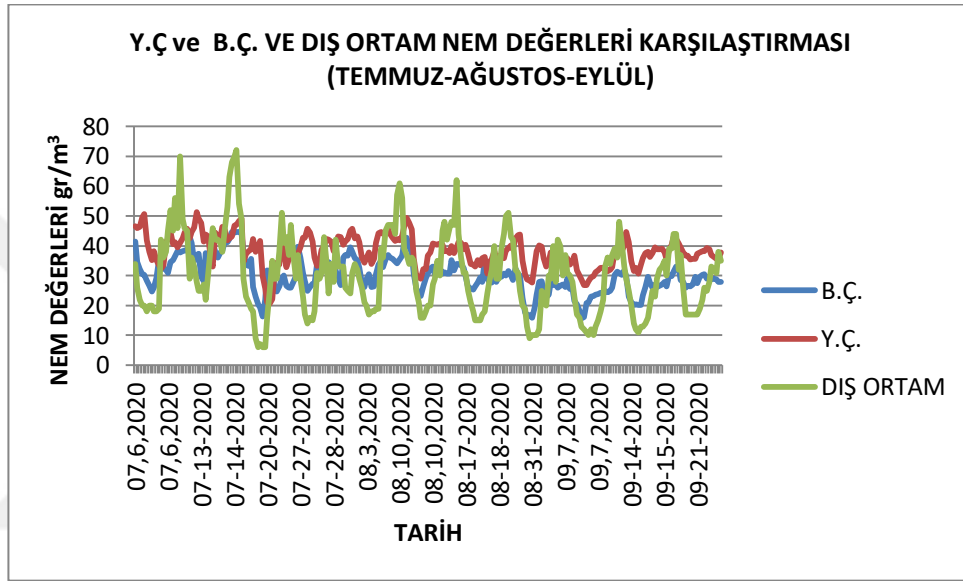
Şekil 4.9. Y.Ç. Min. Max. ve Ort. Nem değerleri

Betonarme çatıya sahip mekanın, 2020 yılının Temmuz-Ağustos-Eylül aylarına ait iç ortam nem seviyelerine göre bu dönemdeki, ortalama nem seviyesi 30.14 gr/m^3 en yüksek nem seviyesi 44.7 gr/m^3 13 Temmuz 2020 tarihinde, en düşük nem seviyesi 15.7 gr/m^3 , 7 Eylül 2020 tarihinde ölçülmüştür (Şekil 4.10.).



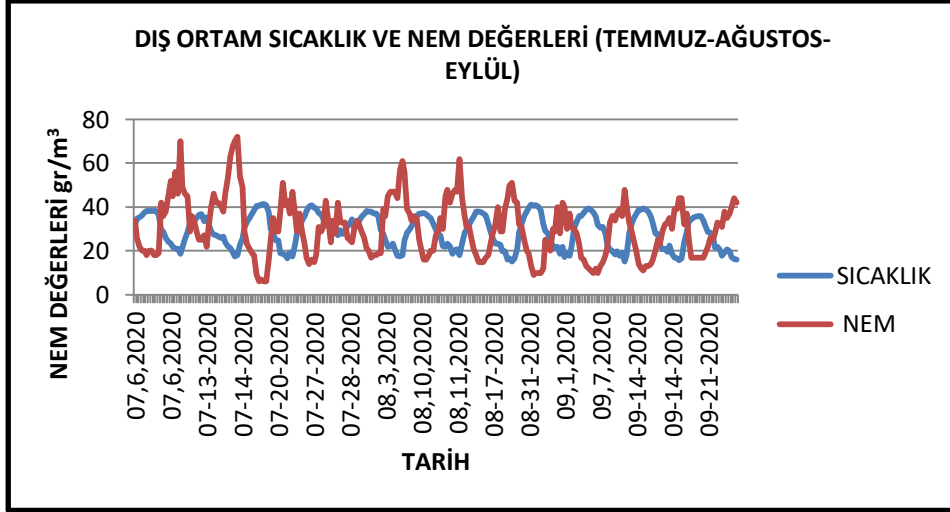
Şekil 4.10. B.Ç. Min. Max. ve Ort. Nem değerleri

Nem değerlerinde oluşan günlük değişimleri incelemek için dış ortam, B.Ç. ve Y.Ç. nem değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.11. 'de gösterildiği gibi, yeşil çatıların sıcaklık dalgalanmalarını azaltma yeteneği olması sebebiyle yeşil çatıya sahip mekanın betonarme çatılı mekandan daha yüksek nem seviyelerine sahip olduğu kaydedilmiştir. Y.Ç. nem seviyesi 21 gr/m^3 ile $51,2 \text{ gr/m}^3$ arasında iken, B.Ç. nem seviyesi $15,7 \text{ gr/m}^3$ ile $43,2 \text{ gr/m}^3$ arasında, Dış ortam nem seviyesi ise 6 gr/m^3 ile 72 gr/m^3 arasında değişim göstermektedir.

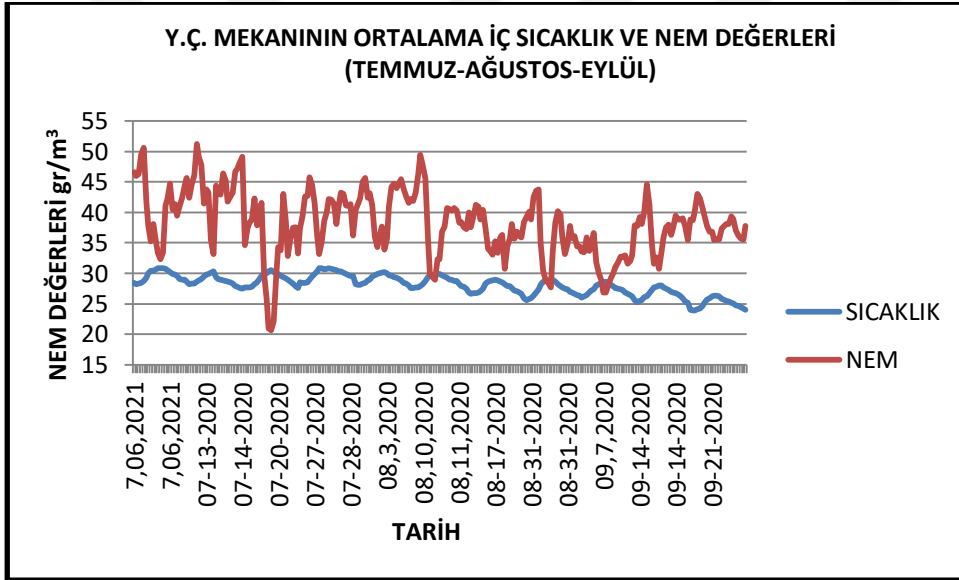


Şekil 4.11. Y.Ç., B.Ç. ve Dış ortamın nem değerlerinin karşılaştırılması

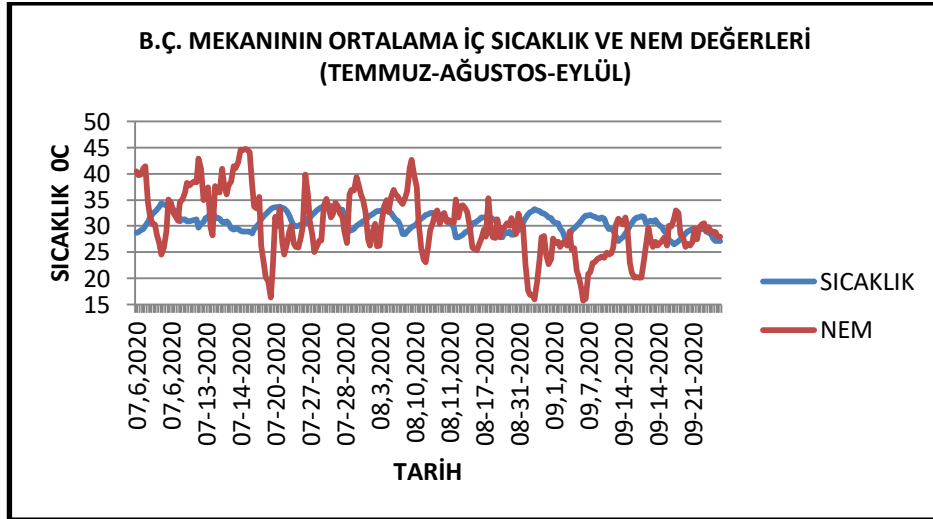
Y.Ç. ve B.Ç. sistemlerinin günlük ortalama iç ortam sıcaklık verileri incelendiğinde Y.Ç. mekanın iç ortam sıcaklıklarının, B.Ç. mekanının iç ortam sıcaklıklarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Sıcak kuru iklimlerde sıcaklık değeri yüksek iken nem oranı düşüktür. Şekil 4.12.'de Batman ilinin dış hava sıcaklık seviyesinin yüksek, nem seviyesinin de düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca yeşil çatıların sıcaklığı düzenleyici etkisinden dolayı da Y.Ç. mekanının sıcaklığının B.Ç. mekanından az olduğu ve buna bağlı olarak Y.Ç. mekanının neminin B.Ç. mekanının neminden daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.13.)(Şekil 4.14.).



Şekil 4.12.Dış ortam günlük ortalama sıcaklık ve nem değerleri



Şekil 4.13.Y.Ç. mekanın günlük ortalama sıcaklık ve nem değerleri



Şekil 4.14.B.Ç. mekanın günlük ortalama sıcaklık ve nem değerleri

13 Temmuz 2020 günü Y.Ç. ortalama nem 41,27, B.Ç. ortalama nem 39,13 gr/m³ olup 5,15'lik farkla ortalama nem seviyelerinin birbirine en yakın olduğu gün olmuştur. 31 Ağustos 2020 günü Y.Ç. ortalama nem seviyesi 36,36, gr/m³ B.Ç. ortalama nem seviyesi 25,23 gr/m³ ile birbirine en uzak olduğu gün olmuştur. Ölçüm yapılan tüm günler göz önüne alındığında ortalama 8,04'lük bir fark gözlemlenmiştir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. B.Ç. ve Y.Ç. günlük ortalama nem farkları

TARİH	B.Ç. ORTALAMA NEM (gr/m ³)	Y.Ç.ORTALAMA NEM (gr/m ³)	Y.Ç. VE B.Ç. ORTALAMA NEM FARKI (gr/m ³)
07,06,2020	34,32	41,27	6,95
07,13,2020	39,13	44,28	5,15
07,20,2020	27,63	34,17	6,54
07,27,2020	31,34	40,3	8,96
08,03,2020	33,34	41,17	7,83
08,10,2020	32,17	38,9	6,73
08,17,2020	29,89	36,54	6,65
08,31,2020	25,23	36,36	11,13
09,07,2020	23,3	31,8	8,5
09,14,2020	26,23	37,24	11,01
09,21,2020	29,03	38,05	9,02
			ORTALAMA=8,04

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda şehirlere göçün artması ve nüfusun büyümesiyle konut ihtiyacında artış meydana gelmiştir. Şehirlerde betonlaşmanın artışı ile birlikte yeşilin azalması, hava kirliliği, kentsel ısı adası oluşumu gibi olumsuzluklar belirgin hale gelmektedir. Yapı sektörünün de enerji kaynaklarının yaklaşık yarısını kullandığı düşünülünce enerji etkin yapı ve enerji etkin yapıda büyük rol sahibi olan yeşil çatılar ön plana çıkmaktadırlar.

Antik dönemlerden günümüze kadar uygulanmış yeşil çatılar, küresel ısınma, çevre-hava kirliliği, ekolojik kaygılar ve yüksek orandaki betonlaşma gibi pek çok olumsuzluğu önlemektedir. Şehirlerde yok edilen yeşil alanların yeşil çatılar aracılığıyla telafi edilmeye çalışılması, görsel, psikolojik ve çevresel açıdan birçok fayda sağlayıp ekolojik alanların artmasına olanak sağlamaktadır.

Yeşil çatı sistemleri yalıtım özelliklerinden dolayı ek bir yalıtım maliyeti gerektirmeyip tasarruf sağlar. Toprak, bitki ve bitki tabakası arasında hapsedilen hava, bina yüzeyi için iyi bir yalıtım görevi görüp bu şekilde yapılarda ısı alışverişini azaltmaktadır. Yaz aylarında hava sıcaklığı arttığından çatı yüzeyleri aşırı ısınır. Bu sıcaklık artışı, yapının içinin ve çevresinin de ısınmasına sebep olur. Yeşil çatılar bu yönden faydalı tasarımlardır. Çatıların toprak ve bitki tabakasıyla örtülmesi ile çatı yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığıyla benzer oranlarda seyretmektedir. Yaz aylarında, bitkilerin gölge oluşturması, bitki ve bitki taşıyıcı katmanın suyu buharlaştırması yapının sıcaklığını düşürüp nemini artırarak soğutma etkisi oluşturur. Kış aylarında ise, bitki taşıyıcı katman yalıtım görevi görerek soğuk havaya ve rüzgarın soğutma etkisine karşı bir bariyer görevi görür. Bu özelliklerle birlikte yeşil çatılar, yapıların enerji kullanımını düşürerek uzun vadede yüksek oranlarda enerji tasarrufu sağlamaktadırlar.

Bu tez çalışmasında yeşil çatı sistemlerinin sıcak kuru iklimdeki performansı incelenmiştir. Bu amaçla ele alınan bir binaya yapılan uygulamadan edinilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Çalışmada uygulanan yeşil çatı sistemi, katmanlar ile oluşturulan ısı yalıtımı, bitkilerin gölgelendirmesi, termal kütle gibi etkilerinden dolayı yapı yüzey sıcaklığını ve yapının iç ortam sıcaklığını yaz aylarında yüksek sıcaklıklardan korumuştur.

- Ölçüm süresince dış ortam hava sıcaklığı 12,7°C ile 41,6 °C arasında, betonarme çatılı mekan 26,5°C ile 34,3°C arasında, yeşil çatılı mekan ise 23,8 °C ile 30,9°C arasında sıcaklıklara sahip olmuşlardır. Yeşil çatıya sahip mekanın iç ortam sıcaklık dalgalanmaları daha dengeli ve düşük seviyelerde iken betonarme çatılı mekanın sıcaklıkları daha değişken ve daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Ayrıca ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers/ Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Topluluğu) Standard 55-2010 ISO 7730'ye göre; yaz aylarında 23°C -28 °C aralığında, kış aylarında 20°C – 25,5°C aralığındaki sıcaklık değerlerinin bir mekanın termal konfor için uygun olduğu belirlenmiştir. Ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre Y.Ç. mekanının, ölçüm süresince 23,8⁰C-30,9°C sıcaklık aralığında kalarak ASHRAE 55'e göre ısı konfor koşullarını büyük ölçüde sağladığı sonucuna varılmıştır.
- Betonarme teras çatının yüzey kaplaması mermerdir. Bu malzeme yaz aylarında yüksek sıcaklıklara kış aylarında ise don olaylarına maruz kalmaktadır. Buna bağlı olarak zaman içerisinde yüzeyde derz çatlakları oluşmaktadır. Yağmur suları bu çatlaklar ile yapıya rahatça girip iç mekanda boya dökülmeleri, küf ve tavandan su sızıntıları gibi yapısal sorunlara neden olmaktadır. Yeşil çatıda uygulanan çift katlı su yalıtımı ile bu tür yapısal sorunların oluşmasının önüne geçilmiştir.
- Alınan ölçümlere göre, hava sıcaklığının en düşük ve en yüksek olduğu saatlerden yaklaşık üç saat sonra yeşil çatıya sahip mekan ve betonarme çatıya sahip mekan en düşük ve en yüksek sıcaklık seviyelerine ulaşmıştır. B.Ç. mekanının en düşük sıcaklık seviyeleri 28,3±2°C iken Y.Ç. mekanının en düşük sıcaklıkları 26,7±2°C seviyelerinde gözlemlenmiş olup, B.Ç. mekanının en yüksek sıcaklık seviyeleri 32,5±2°C iken Y.Ç. mekanının sıcaklık seviyeleri 29±2°C seviyelerinde gözlemlenmiştir. Bu şekilde faz farkı oluşmasının en büyük sebebi termal küttedir. Y.Ç. mekanında sıcaklıkların daha düşük olması, yeşil çatıların büyük oranda ısı emilimine katkıda bulunup günlük sıcaklık dalgalanmalarını azaltmasıdır.
- Ölçüm dönemi boyunca elde edilen verilerin sonuçlarına göre Y.Ç. mekanının iç ortam sıcaklığı, B.Ç. mekanının iç ortam sıcaklığından en az 1,7 °C, en çok 3,44 °C, ortalama 2,68 °C daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Oluşan bu sıcaklık farkı, yapının ısı performansını etkileyerek, ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılacak enerji miktarının düşürülmesine katkı sağlayacaktır.

- Yaz aylarında, bina yüzeylerinde sıcaklık artışları meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak da bina dış cephesinden ve bina çatısından büyük ısı kazançları oluşmaktadır. Bitki örtüsü kullanmak, düşen güneş ışınlamalarının döşemeye olan direk etkisini engelleyerek yayılan ısıyı azaltmaktadır. Bitkiler sıcak günlerde yere düşen güneş enerjisi oranını %90'a kadar azaltarak yapı ve yapının yakın çevresinin sıcaklık miktarını büyük oranda düşürebilmektedir. Bina çatısına kurulacak yeşil çatı sistemiyle bu izolasyon etkisinin artırılması, buna bağlı olarak da mekanların konfor şartlarına getirilmesi veya mekanlarda konfor şartlarının korunması mümkündür. Yapılan birçok çalışmada ve uygulanan yeşil çatıda bu durum incelenerek bu etki gözlemlenmiştir. Yapılan yeşil çatı uygulamasının sadece çatının altında kalan mekanın iç ortam sıcaklığına değil, yan tarafındaki odada da sıcaklık açısından olumlu etkiler yapı sakinleri tarafından ifade edilmiştir.
- Meteoroloji müdürlüğünden alınan 3 aylık nem verileri incelendiğinde hava nem seviyeleri, sıcaklığın düşük olduğu gece saatlerinde 38 gr/m^3 ile 72 gr/m^3 arasında değişirken, sıcaklığın yüksek olduğu öğle saatlerinde ise 6 gr/m^3 ile 22 gr/m^3 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmanın yapıldığı 6 Temmuz-22 Eylül tarihleri, 3 aylık kurak bir dönem olmakla birlikte yağış görülmemiştir.
- ASHRAE standartlarına göre konforlu bir iç mekân için önerilen optimum nem değerleri yaz ve kış aylarında $40\text{-}60 \text{ gr/m}^3$ arasında olmalıdır. Bu değerlerin dışına çıkılması kişiler açısından konforsuz iç mekân oluşumuna neden olurken, aynı zamanda ısıtma veya soğutma enerji tüketimlerini de artırmaktadır. Alınan ölçümler sonucunda Y.Ç. mekanının nem seviyesi 21 gr/m^3 ile $51,2 \text{ gr/m}^3$ değişim gösterip ortalama $38,18 \text{ gr/m}^3$ iken B.Ç. mekanının nem seviyesi $15,7$ ile $43,2 \text{ gr/m}^3$ arasında değişim gösterip ortalama $30,14 \text{ gr/m}^3$ olarak ölçülmüştür. Yeşil çatı, bulunduğu mekanın nem seviyesini $8,04 \text{ gr/m}^3$ yükselterek konfor koşullarına daha yakın bir ortama dönüştürmüştür.

Bu sonuçlar ile yeşil çatı sistemlerinin sıcak kuru iklimlerde iç mekan sıcaklığını azaltarak nem seviyesini arttırdığı görülmüştür. Bu da yeşil çatı sistemlerinin yılın sıcak dönemlerindeki soğutma yükünü azaltmada etkili olduğu ve enerji kullanımını düşürdüğü sonucunu ortaya çıkarmıştır. Tek bir yeşil çatı örneğiyle elde edilen sonuçlar yeşil çatıların arttırılmasıyla kentsel ölçekte belirgin oranlarda serinletme sağlayarak, kent ekolojisi açısından da büyük yarar oluşturmaktadır.

6.KAYNAKLAR

- Alaeddinoğlu, F. 2009. *Batman Şehri, Fonksiyonel Özellikleri ve Başlıca Sorunları. DOĞU COĞRAFYA DERGİSİ*, vol.15, 19-42.
- Akande, O. K. 2011. Passive design strategies for residential buildings in a hot dry climate in Nigeria. Architecture Programme, Abubakar Tafawa Balewa University, Nigeria.
- Anonim, 2014. Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü'nün 2014 Yılında Düzenlenen Sempozyumda Sunduğu Makaleler. Erisim Tarihi :02.01.2021. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/Klimatoloji_Makaleler_2014.pdf
- Anonim, 2019. Energy Efficient Passive Techniques for Green Buildings. Erisim Tarihi:02.01.2021.(<https://www.greenepots.com/2019/02/energy-efficient-passive-techniques-for.html>)
- Anonim, 2013. *Enerji Etkin Bina Tasarım Temelleri. Termodinamik* İnf. Ekim 2013.
- Ayçam, İ. ve Kınalı, M. 2013. *Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi*. Tesisat Mühendisliği - Sayı 135 - Mayıs/Haziran 2013.
- Akpınar Külekçi, E. 2017. *Geçmişten Günümüze Yeşil Çatı Sistemleri ve Yeşil Çatılarda Kalite Standartlarının Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma. ATA Planlama ve Tasarım Dergisi* Yıl: 2017, Cilt:1, Sayı:1. Erzurum.
- Breuning, J. 2014. The Economics of Green Roofs from the Perspective of the Commercial Client A Cost-Benefit Analysis of Extensive Green Roofs. Green Roof Service, LLC. Baltimore, Maryland.
- Behbood, K.T., Taleghani, T. ve Heidari, S. Energy Efficient Architectural Design Strategies in Hot-Dry Area of Iran: Kashan. Iran.
- Blackhurst, M., Hendrickson, C. ve Matthews, S. 2010. Cost-Effectiveness of Green Roofs. Journal of Architectural Engineering ASCE.
- Catalano, C., Laudicina, V.A., Badalucco, L. ve Guarino, R. 2018. Some European green roof norms and guidelines through the lens of biodiversity: Do ecoregions and plant traits also matter?. Ecological Engineering.
- Carpenter, S. 2014. A Guide to Green Roofs, Walls and Facades. in Melbourne and Victoria, S. 7,8,9,10, Australia.
- Dikmen, Ç. B. 2011. *Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi*. Politeknik Dergisi Cilt:14 Sayı: 2. S. 121-134. Yozgat.
- Ekizce Can, M. 2015. Sıcak Kuru İklim Bölgelerinde Bina Kabuğu Isıl Performansının Yaz Konfor Koşulları Açısından Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

- Erdemir, İ. 2014. Sıcak Kuru İklim Bölgelerinde Enerji Korunumu-Yerleşme Dokusu-Form Etkileşimi: Geleneksel Diyarbakır Evleri Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Ergin, Ş. Ve Doğan, E. 2019. An Evaluation on Graduate Dissertations Made in Turkey in the Field of Green Roof. Kerpik'19 – Earthen Heritage, New Technology, Management 7th International Conference Köyceğiz, Muğla Turkey.
- Erkul, E. 2012. Yeşil Çatı Sistemlerinin Yapım Açısından İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gargari, C., Bibbiani, C., Fantozzi, F. ve Campiotti, C. A. 2016. *Simulation of the thermal behaviour of a building retrofitted with a green roof: optimization of energy efficiency with reference to italian climatic zones. Agriculture and Agricultural Science Procedia* 8 (2016) 628 – 636. Italy.
- Günel, M. H. ve Ilgın, H. E. 2007. Güneş ve Rüzgâr haklarının Analizi ve Kentsel Planlama Kriterleri Bağlamında Türkiye Önerisi, TÜBİTAK Projesi, Mühendislik Araştırma Grubu, No.106M151. Ankara.
- Goulding, J. R., Lewis, O.J. ve Steemers, T.C., 1992. *Energy conscious design, a primer for architects*.
- Harputlugil, G. U. 2016. Enerji Verimli Bina Tasarım stratejileri. Binalarda Enerji Verimliliğinin Arttırılması İçin Teknik Yardım Projesi. Ankara.
- Hui, S. C. M. ve Yan, L. T. 2016. Energy saving potential of green roofs in university buildings. Building a Smarter City via Latest Technologies, 22 kasım 2016. Hong Kong.
- Johnston, J. ve Newton, J. 2004. Building Green A guide to using plants on roofs, walls and pavements. S.53. London.
- Kady, S.N. ve Yahya, S.M. 2015. Green Roofs and Their Implementations in Architecture The obstacle and challenges in Erbil city. Ishik university, Architectural Department.
- Kısa Ovalı, P. 2009. Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematiğinin Oluşturulması “Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi”. Doktora tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne.
- Koca, Ö. 2006. Sıcak Kuru ve Sıcak Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarım İlkelerinin Belirlenmesine Yönelik Yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Kılıç Turan, B. ve Gülten, A. 2020. *Yeşil Çatı Sistemlerinin Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı Bina Formları ve Derece Gün Bölgeleri İçin Analizi*. Fırat Üniversitesi Müh. Bil.Dergisi32(1),105-118,Elazığ.

- Kınalı, M. 2013. Farklı İklim Bölgelerindeki Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi. Ankara.
- Kok, K.H., Sidek, L.M. ve Zainal Abidin, M.R. 2011. Evaluating the Performance of Green Roof for Stormwater Management Options for Green Technology. Unitenscored 2011, Uniten, Putrajaya Campus, Malaysia.
- Kılıç Turan, B. 2019. Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı İklim Bölgeleri İçin Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi. Elazığ.
- Lavafpour, Y. Ve Surat, M. 2011. *Passive Low Architecture in Hot and Dry Climate. Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 757-765, Selangor.
- Laminack, K. D., Dvorak, B. D. ve Volder, A. 2014. Substrate loss is minimal in vegetated and un-vegetated extensive roof modules over a 14-month period. *Journal of Living Architecture* (2014) 1(4).
- Liu, Kyle ve Bas Baskaran. 2003. Thermal Performance of Green Roofs Through Field Evaluation, NRC-CNRC, First North American Green Roof Infrastructure Conference, S.5. Proceedings, Chicago.
- Malik, S. 2015-16. Energy Efficient Design of the Building Envelope in a Moderate Climate. Faculty of Architecture Manipal University, Manipal, Karnataka.
- Manioğlu, G. 2012. Enerji Etkin Tasarım ve Yenileme Çalışmalarının Örneklerle Değerlendirilmesi. *Tesisat Mühendisliği* - Sayı 126 – Kasım-Aralık 2011. S, 35
- Magill, J.D., Midden, K., Groninger, J. ve Therrell, M. 2011. A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research. Southern Illinois University Carbondale.
- Marten, R., Bass, B. ve Alcazar, S.S. 2008. Roof envelope ratio impact on green roof energy performance. *Urban Ecosyst* (2008) 11:399-408.
- Mercado, F. 2015. The study case of Berlin and Portland in the use of green roofs towards sustainability. The Johns Hopkins University Watershed Management.
- Meir, A. I. ve Roaf, S. C. 2002. Thermal comfort - thermal mass: Housing in hot dry climates. The International Academy of Indoor Air Sciences. Santa Cruz, CA.
- Muharam, A., Amer, E. ve Al-Hemiddi, N. 2016. Thermal Performance of the Extensive Green Roofs in Hot Dry Climate. International Journal of Advanced Engineering Research and Science. King Saud University, Dubai.
- Müller, H., Sasso, F., Okoye, A., Stadter, H. ve Isiolaotan, O. 2017. *Energy Efficient Building Design*. 2nd Edition. S58. Nigeria.

- Mohapatra, S.D., Mohapatra, S.S. ve Satpathy, S. Green Roofing Addressing Climate Change and Reducing Energy Use . Odisha, India.
- Orhon, İ., Küçükdoğu, M. Ş., Ok,V. 1985. Toplu konut işletmesi I: proje planlama- tasarım el kitabı. CI/SfB 81. UDC:69.00:728.1
- Onduline. 2017. Ondugreen Yeşil Çatı Sistemi.
- Olgyay, V., 1992. Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism
- Parizotto, S. ve 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 Efficiency in Buildings Laboratory, Civil Engineering Department, Federal University of Santa Catarina. Brazil.
- Peck, S.V. ve Callaghan, C. 1999. Greenbacks From Green Roofs: Forging a New Industry in Canada. Canada Mortgage and Housing Corporation, S. 19, 20, 21, 22, 23, 25, 31, Canada.
- Pacheo, R., Ordonez, J., Martinez, G. 2012. **Energy efficient design of building: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16(2012), Spain. S, 3559-3573.
- Soysal, S. 2008. Konut Binalarında Tasarı Parametreleri ile Enerji Tüketimi İlişkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
<http://www.surdurulebilirbinalar.net/>
- Southwood, J. 2016. All Under One Roof : An Exploration Into Ecological Biomimicry For The Built Environment. September 2016.
- Shafik, S. ve Hussein, S. M. 2013. Eco-Roofs Technology and the benefits in the Greater Cairo.
- Sadeghian, M.M. 2017. Green Roof, A Review of History and Benefits. Faculty of Agriculture, Department of Landscape Design, Islamic Azad University. Isfahan (Khorasgan) Branch.
- Shaffik, S: ve Hussein, M.S. 2013. Eco-Roofs Technology in the Greater Cairo. Eco-Roofs. S.15.
- Sommer, B., Pont, U. 2014.**Energy Design by Evolution: Applying Evolutionary Computing to Energy Efficient Architectural Design**. Austria . S, 120-125.
- Sojoudihassanlouei, L. 2019. Sıcak Kuru İklim Geleneksel Konutlarında İklim Duyarlı Tasarım. Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Spalaa, A., Bagiorgasa. H. S., Assimakopoulosb. M. N., Kalavrouziotisa. J., Matthopoulosa. D., Mihalakakoua. G., “On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece”, Renewable Energy, 33,173-177(2008).

- Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y. ve Balta, İ. Türkiye İklimi. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, P.O.Box: 401. Ankara.
- Tohum, N. 2011. Sürdürülebilir Peyzaj Tasarım Aracı Olarak Yeşil Çatılar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Tönük, S. 2001. Bina Tasarımında Ekoloji. YTÜ Basım Merkezi. İstanbul.
- Tıkansak, T. E., 2013. Konutlarda Enerji Etkinliği, International Journal of Architecture and Planning. S.189-200.
- Usman, M. 2016. Design and Performance Analysis of Energy Efficient Building in Pakistan. University of Engineering & Technology, Taxila, Pakistan
- Ulukavak Harputlugil, G. 2016. Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri. Ankara.
- Yılmaz, A. Z., 2013. *Farklı İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Tasarım Stratejileri: Türkiye'nin Sıcak Kuru ve Ilımlı Nemli İklim Bölgeleri için Örnek bir Karşılaştırma*. Mimarlık 373 Eylül-Ekim 2013.
- Yüksek, İ. ve Tıkansak Karadayi, T. *Energy-Efficient Building Design in the Context of Building Life Cycle*. DOI: 10.5772/661670.
- Zeren, L. 1962. *Türkiye'nin Tipik İklim Bölgelerinde En Sıcak ve En Az Sıcak Devre Tayini, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi YAK.Yayını*, Sayı 3, İstanbul.
- (URL1,2020),[https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/85527/mod_resource/content/1/6_T%C3%BCrkiye%E2%80%99de%20%C4%B0klim%20Elemanlar%C4%B1.pdf].(Erişim Tarihi: 09.04.2020).
- (URL2,2020),[<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=10#:~:text=R%C3%BCzgar%20en%20basit%20anlat%C4%B1mla%20yatay,bas%C4%B1nca%20do%C4%9Fru%20olan%20hava%20ak%C4%B1m%C4%B1d%C4%B1r.&text=R%C3%BCzg%C3%A2r%20h%C4%B1z%C4%B1%20anemometre%20ile%20%C3%B6l%C3%A7%C3%BCl%C3%BCr,otomatik%20meteoroloji%20istasyonlar%C4%B1%20taraf%C4%B1ndan%20yap%C4%B1lmaktad%C4%B1r>]. (Erişim Tarihi: 13.01.2021).
- (URL-3, 2020), [<https://www.termodinamik.info/enerji-etkin-bina-tasarim-temelleri>]. (Erişim Tarihi: 13.01.2020).
- (URL-4, 2020), [<http://www.surdurulebilirbinalar.net/>]. (Erişim Tarihi: 15.10.2020).
- (URL5,2020)[https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/85527/mod_resource/content/1/6_T%C3%BCrkiye%E2%80%99de%20%C4%B0klim%20Elemanlar%C4%B1].(Erişim Tarihi: 13.01.2020).
- (URL6,2020),[<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/istatistik.aspx?m=BATMAN>]. (Erişim Tarihi: 15.12.2020).
- (URL-7,2020),[Climate-Data.org].(ErişimTarihi:21.09.2)



**DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU**

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	Esma ECE
ÖĞRENCİ NO	18808002
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2018-2021
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	YEŞİL ÇATILARIN SICAK KURU İKLİM BÖLGESİNDEKİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ”

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	115
BENZERLİK ORANI	%17
RAPORLAMA TARİHİ	22/03/ 2021

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 115 sayfalık kısmına ilişkin, 22/03/ 2021 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *TURNİTİN* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %17 ‘tür.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları’nı inceledim ve bu Uygulama Esasları’nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(Öğrencinin Adı Soyadı)

(İMZA/TARİH)

..... Tez Danışmanı (İMZA/TARİH)	 Anabilim Dalı Başkanı (İMZA/TARİH)
--	--