

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT
YAŞAMINA ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

AYTEN KOCA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2017

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN
SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT YAŞAMINA
ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

AYTEN KOCA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. HATİCE İNAN

GEBZE
2017

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**ASSESSMENT OF EFFECTS OF GREEN
ROOF SYSTEMS ON SUSTAINABLE CITY
LIFE**

AYTEN KOCA
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. HATİCE İNAN

GEBZE
2017



GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 22/06/2017 tarih ve 2017/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 14/07/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ayten KOCA'nın tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :Doç. Dr. Hatice İNAN

ÜYE

:Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ

ÜYE

:Yrd. Doç. Dr. M. Ekrem KARPUZCU

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Doç. Dr. Arif Çağdaş AYDINOGLU
Gebze Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Günümüz şehirlerinde sanayileşme ve nüfus artışı hızla büyümeye devam etmektedir. Sanayileşme ve nüfustaki bu artış, karbon emisyonlarının artmasına ve küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin yanı sıra çevresel birçok soruna neden olmaktadır. Yeşil çatılar, kentlerdeki sürdürülebilir yaşamı destekleyerek bu çevresel sorunların kentler üzerindeki etkisini azaltabilecek ekolojik bir yöntem olarak dikkat çekmektedir.

Yeşil çatıların yaygınlaşmasıyla, bu sistemlerin yapı katmanları üzerindeki koruyucu etkisi, sürdürülebilir bina ve kent yaşamı kapsamında fayda sağlayacaktır. Yeşil çatı sistemleri, ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimini azaltarak kentsel karbon ayak izinde küçülme sağlayabilecektir. Ayrıca kentsel su yönetimine katkı yapması, doğal ortam oluşumu ve çevresel yaşam kalitesini artırması ile de sürdürülebilir kent yaşamını desteklemektedir.

Bu çalışmada, yeşil çatı sistemlerinin teknik bilgi ve tasarımının, sürdürülebilir kentsel yaşamdaki; ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerinin literatürlerle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Türkiye ve Dünya'dan örneklerle, belli bir bölge için yeşil çatı sistemlerinin uygulanması durumunda, seçilen binalar için sağlayabileceği ekonomik faydalar hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Çatı, Sürdürülebilir Kentler, İklim Değişikliği, Enerji, Karbon Ayak İzi, Kentsel Su Yönetimi.

SUMMARY

In today's cities, industrialization and population growth continue to grow rapidly. The increase in industrialization and population has caused many environmental problems as well as climate change due to increased carbon emissions and global warming. The green roofs support sustainable life in cities and are an ecological way to reduce the impact of environmental problems on cities.

The protective effect of the green roofs on the building layers will provide significant benefits in the context of sustainable building and urban life. Green roof systems can reduce urban carbon footprint by reducing energy consumption for heating and cooling. It also supports sustainable urban life by contributing to urban water management, enhancing natural environment formation and environmental quality of life.

In this study, it was aimed to evaluate that technical information and design of the green roof systems and economic, social, and environmental effects for the sustainable urban life by literature. Some examples were given from Turkey and the World. In case of the application of the green roof systems for a certain region in Turkey, for selected structures, the economic benefits were calculated.

Key Words: Green Roof, Sustainable Cities, Climate Change, Energy, Carbon Footprint, Urban Water Management.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisini cömertçe paylaşarak yoluma ışık tutan, zor anlarımda destek olup güç veren ve her zaman bana olan inancını hissettiren çok değerli hocam Doç.Dr. Hatice İNAN'a,

Tezimin hazırlığında kaynak desteği sağlayan ve tüm sorularıma nazikçe cevap bulduğum Onduline Avrasya'dan Sn. Restoratör Mimar Akın Şirin'e,

Yüksek lisans öğrenimim boyunca; iş yerinde desteklerini ve yardımlarını esirgmeden göstermiş oldukları sabır için, çok değerli müdürlerim Sn. Ali KESİKOĞLU ve Sn. Seçkin SEVKAR'a ve çalışma arkadaşlarıma,

Yüksek lisansa başladığım ilk günden beri yanımda olan ve okul hayatımı güzelleştiren meslektaşlarım Cansu KARATEPE ve Gülbahar ÖZGÜR'e,

Tezimi bitirmem için motivasyonumu her zaman yüksek tutmamı sağlayan, desteklerini hiç esirgemeyen arkadaşlarım Simge'ye, Çağla'ya ve ikizim Meltem'e,

Göstermiş oldukları sabır ve desteklerinden dolayı, her zaman yanımda oldukları için aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve İçeriği	3
2. YEŞİL ÇATI KAVRAMI VE KENT HAYATINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	4
2.1. Yeşil Çatı Kavramı	4
2.2. Sürdürülebilir Kent Yaşamı ve Yeşil Binalar	5
3. YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİ VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	12
3.1. Ekstensif (Seyrek Bitkili) Yeşil Çatılar	12
3.1.1. Ekstensif Yeşil Çatıların Avantaj ve Dezavantajları	14
3.2. İntensif (Yoğun Bitkili) Yeşil Çatılar	15
3.2.1. İntensif Yeşil Çatıların Avantaj ve Dezavantajları	17
3.3. Yeşil Çatı Sistemlerinin Planlanması	18
3.4. Yeşil Çatı Sistemlerinin Teknik Özellikleri ve Tasarımı	19
3.4.1. Su Yalıtım Katmanı	20
3.4.2. Kök Bariyeri	21
3.4.3. Koruma Katmanı	22
3.4.4. İzolasyon	22
3.4.5. Drenaj	23
3.4.6. Kesme	24
3.4.7. Su Tutma	24
3.4.8. Erozyon Kontrolü	25

3.4.9. Filtre Katmanı	25
3.4.10. Yetiştirme Ortamı	25
3.4.11. Bitki Örtüsü	26
3.4.12. Sulama	28
3.4.13. Ek Elemanlar ve Özellikler	28
3.5. Yeşil Çatının Sistemlerinin Ekonomik Değerlendirmesi	30
3.6. Yeşil Çatı Yaklaşımında Olumsuz Etkiler	31
4. TÜRKİYE’DE VE DÜNYA’DAYEŞİL ÇATI ÖRNEKLERİ	32
4.1. Türkiye’de Yeşil Çatı Örnekleri	32
4.2. Dünya’da Yeşil Çatı Örnekleri	37
5. YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ	43
5.1. Enerji Tüketimine Etkisi	43
5.1.1. Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisi	43
5.1.2. Kentsel Isı Adası Etkisi	55
5.2. Hava Kirliliğine Etkisi	56
5.3. Küresel Isınma ve Karbon Ayak İzine Etkisi	58
5.4. Gürültü Kirliliğine Etkisi	62
5.5. Kentsel Su ve Atıksu Yönetimine Etkisi	63
5.5.1. Yağmur Suyunu Geciktirme ve Taşkın Önleme	63
5.5.2. Gri Su Yönetimi	67
5.5.3. Yağmur Suyu Hasadı	68
5.6. Atık Yönetimi	69
5.6.1. Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanımı	69
5.6.2. Yerleşim Yerleri Organik Atık Yüküne Etkisi	70
5.7. Sosyal Yaşam Etkisi	70
5.7.1. Rekreasyon Amaçlı Kullanımı	70
5.7.2. Biyoçeşitlilik ve Doğal Ortam Etkisi	73
5.7.3. Kentsel Tarım Amaçlı Kullanımı	73
6. MATERYAL VE METOT	75
6.1. Uygulama Alanı ve Binalar	76
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	78
7.1. Yapı Elemanları	78
7.2. İlk Kurulum Maliyetleri	80

7.3. Bakım ve Onarım Maliyetleri	81
7.4. Enerji Maliyetleri	83
7.4.1. Müstakil Tek Katlı Bina için Uygulama	83
7.4.2. Apartman Binası için Uygulama	85
7.5. Su Tüketim Maliyetleri	88
7.6. Atık Miktarları	93
7.7. Enerji ve Su Tüketiminde Maliyet ve Tasarruf Karşılaştırmaları	94
8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	97
 KAYNAKLAR	 101
ÖZGEÇMİŞ	106

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
kg	: Kilogram
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
kWh	: Kilowattsaat
%	Yüzde
ÇEDBİK	: Çevre Dostu Binalar Derneği
M.Ö.	: Milattan Önce
UV	: Ultraviole
CO ₂	: Karbondioksit
O ₂	: Oksijen
dB	: Desibel
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
BREAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
WGBC	: Dünya Yeşil Bina Konseyi
PVC	: Polivinil Klorür
TPO	: Termoplastik Olefin
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
AVM	: Alış-Veriş Merkezi
AB	: Avrupa Birliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Yeşil çatı sistemlerinin kentsel gelişmeye etkisi.	9
3.1: Ekstensif yeşil çatı örneği.	13
3.2: Ekstensif yeşil çatı örneği.	13
3.3: Ekstensif yeşil çatı katmanları.	14
3.4: İntensif yeşil çatı örneği.	15
3.5: İntensif yeşil çatı örneği.	16
3.6: İntensif yeşil çatı katmanları.	17
3.7: Yeşil çatı tasarım katmanları.	20
4.1: Zorlu Center.	33
4.2: Nevşehir H. Avni İncekara Fen Lisesi.	34
4.3: Siemens Gebze Fabrikası.	34
4.4: Meydan AVM.	35
4.5: Küçükçekmece Belediye Binası.	36
4.6: İskandinav ülkelerinden yeşil çatı örneği.	38
4.7: İskandinav ülkelerinden yeşil çatı örneği.	38
4.8: a) Boston Dünya Ticaret Merkezi üst kat, b) Boston Dünya Ticaret Merkezi alt kat.	39
4.9: San Francisco, Californiya Bilim Akademisi Binası.	40
4.10: İsviçre Lozan’da bir metro istasyonu.	40
4.11: Chicago Belediye Binası.	41
4.12: Nanyang Teknoloji Üniversitesi Sanat Tasarım ve Medya Okulu.	41
4.13: Singapur’da çok katlı bir otopark.	42
4.14: Vancouver Kongre Merkezi.	42
5.1: Yeşil çatıların çevresel etkileri.	43
5.2: Geleneksel ve yeşil çatıda günlük ortalama sıcaklık ölçümleri.	45
5.3: Californiya, Hillsborough, geleneksel çatı ile yeşil çatılar arasında yüzey sıcaklığının karşılaştırılması.	46

5.4:	Pensilvanya, geleneksel çatı ile yeşil çatılarda iç ortam sıcaklığı ile hava sıcaklığı karşılaştırmaları.	47
5.5:	Geleneksel çatı ile yeşil çatı arasındaki yüzey sıcaklıkları, Singapur.	49
5.6:	Geleneksel çatı ile yeşil çatıda günlük ortalama ısı talebinin karşılaştırılması.	52
5.7:	Yeşil alan ve ısı etkileşiminin dairesel gösterimi.	54
5.8:	Kentsel ısı adası etkisi sıcaklık farkları.	55
5.9:	Singapur'da kullanılan yeşil çatılar için ömür boyu emisyonlar.	61
5.10:	Yeşil alan boyutu ile karbon tasarrufu karşılaştırma.	62
5.11:	Yağış olayı sonrası yeşil çatıdan örnek bir akış.	64
5.12:	Bitki türleri ile yüzey akışı arasında karşılaştırma.	65
5.13:	Örnek bir yağmur suyu toplama sistemi ve yeşil altyapı.	69
5.14:	Yeşil çatıların rekreasyon amaçlı kullanımı.	72
5.15:	Yeşil çatıların rekreasyon amaçlı kullanımı.	72
5.16:	Yeşil çatıların tarım amaçlı kullanımı.	74
6.1:	Durum çalışmasının yapıldığı bölgenin uydu görüntüsü.	76
7.1:	İlk kurulum maliyetleri.	81
7.2:	Müstakil ev ısınma maliyetleri karşılaştırma.	85
7.3:	Müstakil ev soğutma maliyetleri karşılaştırma.	85
7.4:	Apartman binası ısınma maliyetleri karşılaştırma.	87
7.5:	Apartman binası soğutma maliyetleri karşılaştırma.	88
7.6:	Yağmur suyunun kırsal, tarımsal ve kentsel alanda akışının karşılaştırılması.	89
7.7:	Müstakil ev su tüketim maliyetleri.	92
7.8:	Apartman binası su tüketim maliyetleri.	92
7.9:	Yeşil çatılı bir bina için yapılabilecek su yönetim örneği.	93
7.10:	Su ve enerji tüketim maliyetleri karşılaştırma.	95
7.11:	Su ve enerji tasarrufları karşılaştırma.	96

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: LEED Sertifikalı Alan-Ülke Dağılımı 2016 Aralık Verileri.	8
2.2: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile Yeşil Çatı Katkıları.	10
2.3: Kentsel Yeşil Alan Boyutları.	11
3.1: Yeşil Çatı Sistemlerinin Karşılaştırılması.	18
3.2: Yeşil Çatı Sistem Gereksinimleri.	29
4.1: Türkiye’de Yeşil Çatı Örnekleri ve Alanları.	36
5.1: Geleneksel Çatı ve Yeşil Çatılarda Ortalama İç Yapı Sıcaklıkları.	49
5.2: Yeşil Çatı Malzemelerinin Karbon Ayak izleri.	59
5.3: Geleneksel Çatı Malzemelerinin Karbon Ayak izleri.	60
5.4: Literatür Çalışmaları ile Yeşil Çatılarda Tutulan Yağış Oranları.	66
6.1: Kocaeli için Yıllık Yağış Oranları.	77
7.1: Yeşil Çatı Yapı Elemanları.	78
7.2: Geleneksel Çatı ve Yeşil Çatılarda Enerji ve Su Tüketim Maliyetleri.	94
7.3: Geleneksel Çatı ve Yeşil Çatılarda Enerji ve Su Tasarrufları.	95

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi öncesi dönemlerde nüfusun azlığı, üretimin birey ya da aile bazında olması, tarımsal faaliyetlerin insan gücüyle gerçekleşmesiyle beraber çevresel anlamda büyük kirliliklerden bahsetmek güçtü. Ancak sanayileşme dönemi ile beraber kontrolsüz nüfus artışı yaşam için daha geniş alanlara yayılmayı gerektirmiştir. Sanayi çevrelerine yakın yaşam alanları oluşturulmaya başlanarak, bu hızlı gelişmenin önüne geçilemeyen sağlıksız ve plansız, altyapısı olmayan, düzensiz yerleşim alanları oluşturulmaya başlanmıştır. İnsan ve hayvan gücü artık enerji ihtiyacını karşılayamaz hale gelerek yeni enerji arayışlarına girilmiş, fosil yakıt kullanımı doğmuştur. Şehirleşme kavramının oluşması ile birlikte aile bazında olan üretim, şehirler hatta ülkeler arası bir sanayi ağı oluşturarak büyüme ve gelişme katetmiştir. Bu büyüme ile yeni enerji ihtiyaçları doğmuş doğal kaynak kullanımı ve fosil yakıtların kullanımı ile beraber çevresel kirlilik sanayi öncesi dönemlere oranla artmaya başlamıştır. Bu doğrultuda artan tüketim ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan üretim de fabrikalara taşınmış ve organik atıklar, yerini bertarafı zorunlu hale gelen yeni özellikte atıklara bırakmış, fosil yakıt kullanımı ile hava kirliliği oluşarak, su ihtiyacı sebebiyle salgın hastalıklar gibi problemlerle savaşma gerekliliği doğmuştur.

Hızla artan nüfus, yaşam kalitesi ve iş ihtiyacı nedeniyle yapılan göçler sonucunda doğan barınma ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yapılan konut, yaşam alanları, çalışma alanları sebebiyle yeşil alanlar yerini beton yapılarla bırakmaktadır. Bu durum; gerek doğal yaşam alanlarının azalması gerekse nüfus artışı ile paralel olarak doğal kaynak kullanımında artış göstermektedir. Zamanla daha çok tüketim toplumu haline gelinmesine sebep olmakta ve çevre üzerinde yoğun ve geri dönüşü olmayan baskılar yaratmaktadır. Yaşama, barınma gibi ihtiyaçlar nedeniyle kullanılan kaynaklarla olumsuz çevresel gidişatı tersine döndürme gereksinimi, insanoğlunu ekolojik getirisi yüksek arayışlara itmektedir.

İklim koşullarındaki değişiklik, sera etkisi, küresel bazda çevre kirlilikleri dünyanın yoğun tüketim taleplerini karşılayamamasına neden olmaktadır ki hiçbir kaynak sonsuz değildir. Bu nedenle, yaşamı ekolojik rotaya döndürmek adına çevresel boyutlarda büyük ve köklü değişikliklerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Doğal ekosistemde üretim ve tüketim denge içerisinde birbirini takip

ederken kent hayatında da doğa taklidi yaklaşımıyla çevre dostu, sürdürülebilir kentlerin oluşturulması gerekmektedir.

Sürdürülebilir kent kavramı, şehirlerin ekolojik ayak izlerinin iyileştirilerek hem ekonomik anlamda tasarruf hem de sosyal anlamda yaşamsal kalitenin artması olarak tanımlanabilir. Şehir planlamasının başlıca amacı insan refahı ve konforunun sağlanmasıdır. Bu amaç, kentsel kalkınmayı sağlarken yeşil alanların tahribatına neden olmaktadır. Sürdürülebilir kentler, kentsel kalkınmayı amaçlarken çevresel konuların da iyi yönetimini gerektirir. Sürdürülebilir kent yaşamı; üretim-tüketim döngüsü içerisinde kendi ihtiyaçlarını kendi karşılayabilen, atık üretimi, enerji kullanımı, su kullanımında en az prensibini taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda kentlerin yapı taşı olan binalarda da bu prensibin sürdürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir kent kavramı içerisinde yeşil binaların da değerlendirilmesi gerekir. Sürdürülebilir kentlerin yapı taşı olan yeşil binalar, çevreye etkileri en az olan binalardır. Yeşil binalarla beraber oluşan eko kent olgusu kentlerdeki yeşil alanları korumayı ve yapıların çevresel ayak izlerini iyileştirmeyi amaçlar. Bu doğrultuda oluşturulan eko kentler ve yeşil binalar için uyumlaştırılan çevresel iyileştirme adımlarından biri yeşil çatılardır. Yeşil çatılar sürdürülebilir kentlerin hedeflerinden olan çevresel konularda iyileştirme gösterebilen sistemlerdendir. Kentlerde elektrik kullanımını azaltarak, hava kalitesini iyileştirir ve karbon ayak izini küçülterek iklim değişikliğinden olumsuz etkilenen su kaynaklarını korumaya yardımcı olur [1]. Binanın yeşil bina olarak kabul edilebilmesi için uluslararası anlamda getirilen standardizasyonlara uyumlu olmalıdır. Bu standardizasyonların en önemlileri Amerika’da 1998 yılında geliştirilen LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve 1990 yılında İngiltere’de geliştirilen BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)’dir [2]. Türkiye’de yeşil bina yaklaşımı yeni gelişim gösterme eğilimindedir. 2007 yılında Çevre Dostu Binalar Derneği (ÇEDBİK) kurulmuş, 2012 yılında Dünya Yeşil Binalar Konseyi’ne tam üyelik hakkı almıştır.

Yeşil binaların artışı ile gelecek yıllarda ekolojik gereklilik halini alacak yeşil çatılar daha sık görülebilecektir. Verimli bir şekilde tasarlanmış ve entegre edilmiş yeşil çatılar, modern şehirlerde kaybolan yeşil alanların ve yaşam alanlarının yerini alarak, doğadaki yaşam ortamlarını destekleyecek çözümler sunacaktır.

1.1. Tezin Amacı ve İçeriği

Bu tez çalışması ile kentli nüfusun hızlı artışı ile gündeme gelen sürdürülebilir kent yaşamında yeşil çatıların önemi ve çevresel etkilerinin, literatür bulguları ve örnek hesaplamalar ile vurgulanması amaçlanmaktadır. Yeşil atı sistemi ve kurulumu için gerekli yapı elemanları, yöntemin uygulanabilirliği ve kullanım esasları yanı sıra ekolojik, ekonomik ve sosyal açıdan sistemin değerlendirmesi yapılmıştır. Farklı tipteki yeşil çatı ve geleneksel çatılı yapılarda enerji tüketimi, su tüketimi ve atık oluşumu karşılaştırmaları yapılarak elde edilecek faydalar ekonomik olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Tez içeriğinde; 1. bölümde sistem üzerine bir giriş yapılarak, 2. bölümde yeşil çatı ve sürdürülebilirlik kavramları, 3. bölümde çatı sistemleri ve teknik özellikleri, 4. bölümde Türkiye ve Dünya’da örnekleri, 5. bölümde ise çevresel etkilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. 6. ve 7. bölümde ise yeşil çatı sistemlerinin sağlayabileceği yıllık su ve enerji tasarruflarının hesaplamalar ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

2. YEŞİL ÇATI KAVRAMI VE KENT HAYATINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

2.1. Yeşil Çatı Kavramı

Çatı kavramı terminolojide, yapıları dış atmosferden gelen yağmur, dolu, kar ve rüzgar gibi doğa olaylarından koruyan elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Yeşil çatı, ekolojik çatı ya da bahçelendirilmiş çatılar; inşaat sonucu tahrip edilen yeşil alanların yerine binaların en az kullanılan bölgeleri olan çatılarda, yeni yeşil alanların oluşturulması ve bitki yetiştiriciliği olarak tanımlanabilir. Yeşil çatılar, doğal ortamdan daha hafif bir ortam oluşturacak şekilde tasarlanarak bitkilerin yaşamasına olanak sağlayan yapılardır.

Yeşil çatılar, geçmişi eski çağlara dayanan yapılardandır. M.Ö. 600 yıllarında Kral 2. Nebukadzar tarafından yaptırılan, dünyanın 7 harikasından biri olarak kabul edilen Babil'in Asma Bahçeleri bu sistemlere örnek olarak verilebilir. Yüksek sütun ve duvarlarla inşaa edilen bu yapı cennet bahçesi olarak adlandırılmış, dağlık manzarayı andıran ağaçlarla doldurulmuştur. Büyük ağaçların ve bahçenin tüm ağırlığını taşıyacak şekilde yükselen teraslardan oluşmakta ve tiyatroyu andırmaktadır [3].

Yeşil çatı uygulamalarına Kuzey Avrupa'da yüzlerce yıldır inşa malzemesi olarak kullanılan çim duvarlar ve çatılarda rastlanmıştır. Kuzey Amerika'daki Avrupalı göçmenler, batıya doğru göçmeleri ile beraber gittikleri yerlerde de çim çatılar inşa etmişlerdir. Yeşil çatı teknolojilerinin çağdaş yaklaşımlarının geliştirilmesi, çatı yapısına güneş ışınlarının zararlı etkilerinin azaltılması amacıyla 20.yy'da Almanya'nın kentsel alanlarında başlamıştır . Yeşil çatı denildiği zaman akla ilk gelen ülke Almanya'dır. Almanya, yeşil çatı araştırmalarında, teknoloji ve uygulamalarında lider konumdadır. Mevcut olan tüm düz çatıların %12'si yeşil çatı olup, yeşil çatının yer aldığı yapı sektörü her yıl %10-15 arası büyüme göstermektedir [4]. 70'li yıllarda özellikle kentsel alanlarda artan çevresel kaygı, Almanya'daki teknoloji, politika ve ilerici çevresel düşünciyi tanıtmak için fırsatlar yaratmıştır. Geniş kapsamlı çevresel faydası nedeniyle yeşil çatıl teknolojileri hızla benimsenmiş ve teknik anlamda ilk kılavuz 1982 yılında Almanya'da yayınlanmıştır (FLL 2002). Birçok Alman kenti yeşil çatı teknolojisini teşvik etmek ve çevresel

standartları geliştirmek için programlar yayınlamıştır. Yapılar ile ilgili yürürlüğe konan mevzuatlarla pek çok şehir merkezinde yeşil çatı inşaatları desteklenmektedir. Yeşil çatı inşası için yapılan yasal düzenlemeler uygulamanın yaygınlaşması ve teknolojisinin başarısı üzerinde büyük etki yaratmıştır [4]. Sadece Almanya’da yeşil çatılı alanlar yılda 13.5 milyon m² kadar artmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri’nde birçok binada yeşil çatı uygulamaları vardır. Chicago ve Atlanta’da belediye binalarında yeşil çatı örneklerine rastlanmaktadır [4]. Ülkemizde bu sistemlerin öğrenilmesi ve kullanıma başlanması oldukça yeni olup ilk olarak 2000’li yıllarda görölmektedir [5].

Yeşil çatılar bitki yoğunluğuna göre intensif (yoğun bitkili) ve ekstensif (seyrek bitkili) olarak iki grupta incelenebilir. Ayrıca alanın özelliklerine göre bu iki sistemin bir arada kullanıldığı karma uygulamalarda mevcuttur. Hangisinin kullanılacağı binanın yapısal kapasitesine ve proje hedeflerine göre kararlaştırılır [4].

Tüm iyi tasarlanmış yeşil çatılar drenaj için sağlam altyapı sistemi, bitki besleme ve destekleme ile alt katmanın su yalıtım sistemlerinin korunmasını içermelidir. Yeşil çatılarda tasarım girdileri, hem büyüme ortamında optimum büyüme koşullarını sağlamalı hem de ağır yağış şartlarında çatının zarar görmesinin, erozyon ya da su birikintisinin önüne geçecek şekilde yapılmalıdır. Mühendislik ile, ortamın tane büyüklüğü dağılımı, boşluk oranı ve nem tutma dahil olmak üzere çok sayıda parametre için gereksinimlere titizlikle yaklaşmak gerekmektedir. Çatılarda yetiştirilecek bitkiler doğru bitki-doğru yer bilinciyle seçilmelidir [4].

2.2. Sürdürülebilir Kent Yaşamı ve Yeşil Binalar

Sürdürülebilirlik; yeşil, ekolojik, doğayla uyumlu, çevre dostu kavramlarının doğmasıyla çevreci uygulamaların yaygınlaşması olarak tanımlanabilir. Küresel ısınma, kuraklık, çevre kirliliği, doğal kaynakların tükenmesi gibi artan çevresel sorunlar bu kavramın içinin dolmasını gerektirmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı canlı varlığının sürdürülebilmesi, nitelikli bir yaşamın olabilmesi ve ekosistemin dengesinin bozulmadan çevre kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla uzun vadede çözümler üretmek amacıyla belirlenen ekolojik, ekonomik ve sosyal hedeflerden oluşmaktadır.

Ekolojik sürdürülebilirlik; kaynakların ve ekosistemin korunmasına, ekonomik sürdürülebilirlik; kaynakların uzun dönem kullanılabilirliğine ve kullanım bedellerinin düşük olabilmesine, sosyal ve kültürel değerlerin korunmasına yönelik yöntemleri kurgulayan ilkelere.

Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılında yapmış olduğu tanıma göre;

“İnsanlık, gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneğine sahiptir.”

Dünya'daki doğal kaynakların aşırı tüketimi, küresel ısınma sonucu meydana gelen doğal afetler, ekosistemdeki bozulmalar, kuraklık insan faaliyetlerinin yaşam üzerine olumsuz etkilerinin sonucunu göstermektedir. Bu sonuç çevresel faaliyetlerle kalkınma kavramı üzerinde yeni yaklaşımlar doğurmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı altında toplanan bu yaklaşımlar; doğal kaynakların kullanımında ve kalkınmada ölçülü bir planlamayı gerektirir. Yasal düzenlemeler ile de desteklenmesi gereken sürdürülebilirlik ihtiyacı çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan daha yaygın uygulama alanları bulabilecektir [6].

Ekonomik büyüme ve refah seviyesini artırma isteği, çevreyi ve tüm canlıların yaşam hakkının korunması ile orantılı olarak ilerleme gerektirmelidir. Bu doğrultuda ortaya çıkan sürdürülebilir kalkınma tanımı insan ve çevre merkezli olmak üzere iki grupta incelenmelidir. Doğal çevrenin korunması kadar ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma da insan hayatının devamlılığı için önemli bir ihtiyaçtır. Çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik beraber gerçekleştirilebildiğinde sürdürülebilir gelişme tam anlamıyla sağlanmış olabilecektir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve doğaya karşı sorumlu davranış çevresel sürdürülebilirliğin altyapısını oluşturmaktadır. Doğal enerjinin verimli kullanımı ülke ekonomisinde gelişme gösterir. Ekonomideki kalkınma sürdürülebilir ekonomi kavramını gerçekçi kılmaktadır. Çevreye duyarlı yaklaşım sağlıklı toplum imajını oluşturur. Sağlık toplumun ekonomik refah içerisinde yaşaması sosyal sürdürülebilirlik olarak tanımlanmaktadır. Çevre, içerisinde yaşayan toplum ve toplumun yaşamı için gerekli olan ekonomi sürdürülebilirlik döngüsünde birbiriyle etkileşimde olan ayakları oluşturur [3].

Sürdürülebilir kentsel gelişme, arazi kullanım konuları, istihdam yaratma, altyapı ulaştırma-geliştirme, biyolojik çeşitliliğin korunması, yenilenebilir enerji kaynakları, atık ve geri dönüşüm yönetimi, eğitim, sağlık hizmetleri ve konut sağlanması konularını içermektedir [7].

Binalar; yapım, işletme ve bakımlarının sonucu olarak birçok çevresel sorunu beraberinde getirirler. Küresel ısınma, sanayi atıkları, doğal kaynakların tahribi, nüfus artışı tüm Dünya’da kalkınma ve kentleşme kavramlarına yeni yaklaşımlar geliştirme ihtiyacı doğurmuştur. Yapı sektörü de bu değişimden payına düşen kısmı karşılama arayışına girmiştir. Binalar, sera gazı salınımında ve enerji kullanımında önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle çevresel sorumlulukların karşılanması adına önemli adımlar atılmalıdır.

Yeşil binalar, binaların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için tasarlanan yapılar olarak tanımlanabilir. Bir binanın yeşil bina olarak kabul edilmesi için binanın tasarımından yapım, onarım, bakım ve kullanım süreci boyunca çevresel sorumluluğun bilincinde ve kaynak kullanımında verimli olması gerekmektedir. Yeşil binalar çevreye zararı en az olan binalardır. Dünya Yeşil Bina Konseyine göre yeşil bina, sadece inşasında enerjinin tasarruflu kullanımı değil sonrası içinde çevresel kaygı taşıyan binalardır. Hindistan Yeşil Bina Konseyi’ne göre yeşil binalar standart binalara kıyasla daha az su tüketen, enerji kullanan, doğal kaynakları koruyan, atık üretimi daha az olan, canlı sağlığını koruyan binalardır [6].

Binaların yeşil olarak adlandırılabilmesi için sürdürülebilir arazi planlaması, su-enerji, ekolojik ürün kullanımı, hava kalitesi, canlı sağlığı ve konforu, ulaşım, atık kontrolü, kirlilik gibi konularda belli standartları sağlaması gerekir. Bu standartlar yeşil binaların sürdürülebilirlik kriterlerini belirlemekte, yapının nasıl olması gerektiği ve ölçme değerlendirme yapılabilmesini sağlamaktadır. En önemli yeşil bina standardizasyon sertifikaları LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)’dir. BREEAM 1990 yılında İngiltere’de Yapı Araştırma Kurumu tarafından geliştirilmiştir. Çevresel ölçütlere dayanarak değerlendirme yapan ilk sertifikalandırma sistemidir. LEED ise 1998 yılında Amerikan Yeşil Binalar Konseyi tarafından, yapı sektöründeki kişi ve kurumları, çevresel etkiler konusunda bilinçlendirmeyi hedef alarak, etkilerini minimize etmek amacıyla kurulmuştur [2].

Yeşil bina çalışmalarını yaymak amacıyla 1988 yılında Dünya Yeşil Bina Konseyi (WGBC) kurulmuştur. Günümüzde bu konseye kayıtlı olan 140 binden fazla

yeşil bina ve 27 binden fazla üye firma bulunmaktadır. Üye olan 98 ülkeden biri de Türkiye'dir [2]. AB üyeliği süreci Türkiye'nin de çevre ve sürdürülebilirlik konularında adım atmasına neden olmuştur. Bu kapsamda çıkarılan ve çıkarılacak olan tüm yasal mevzuatlarda AB'ye uygunluk gerekmektedir. 2009 yılında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği en önemli örneklerdendir. Yine 2007 yılında bu bağlamda Çevre Dostu Binalar Derneği (ÇEDBİK) kurularak Türkiye'nin Dünya Yeşil Binalar Konseyinde temsili sağlanmaktadır.

2016 yılı ÇEDBİK verilerine göre Türkiye'de brüt 4.78 milyon metrekare LEED sertifikalı bina alanı bulunmaktadır. Tablo 2.1'de ülkelere göre bina alanları verilmektedir. Ayrıca toplamda 22.4 milyon metrekare alana sahip 772 proje vardır [8].

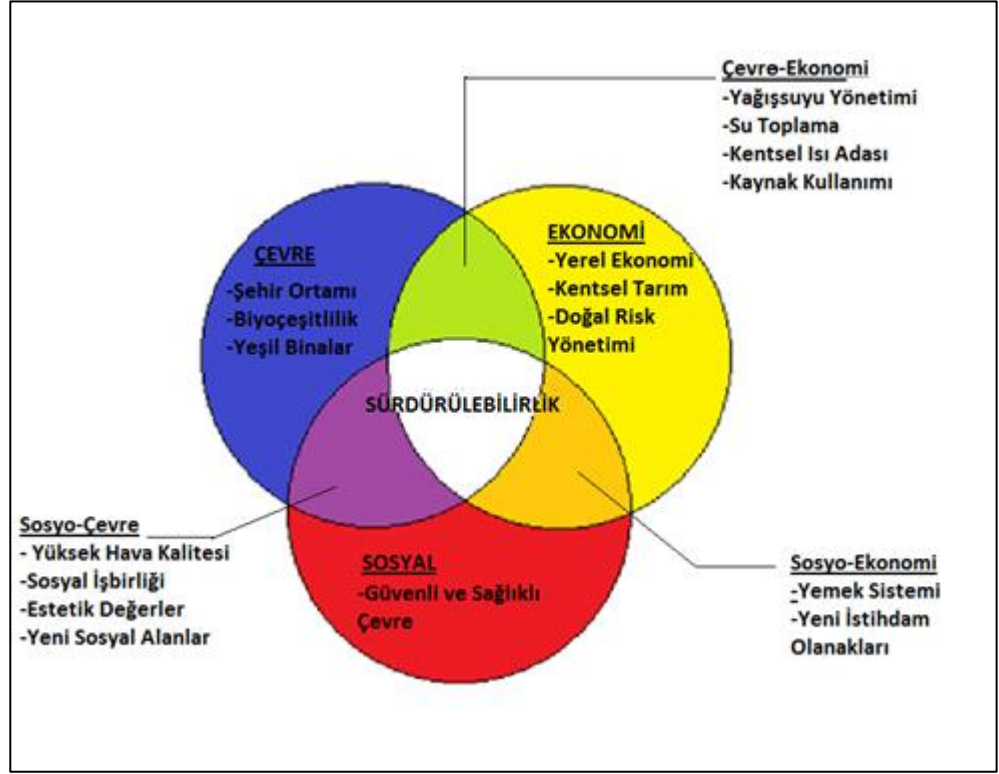
Tablo 2.1: LEED Sertifikalı Alan-Ülke Dağılımı 2016 Aralık Verileri.

Sıralama	Ülke	Sertifikalı Brüt Alan m ²	Sertifikalı Toplam Proje Sayısı
1	Çin	34.62	931
2	Kanada	34.39	2586
3	Hindistan	15.90	644
4	Brezilya	7.43	380
5	Güney Kore	5.95	97
6	Tayvan	5.66	99
7	Almanya	5.03	215
8	Türkiye	4.78	191
9	İsveç	3.88	210
10	Birleşik Arap Emirlikleri	3.64	180

Amerika Birleşik Devletleri LEED sertifikası konusunda en büyük pazara sahiptir. 336.84 milyon m² brüt alana sahip olup 27699 projesi mevcuttur. LEED programının geliştirildiği ana ülke olduğu için yukarıda belirtilen listeye dahil edilmemiştir [8].

Yapılan araştırmalar yeşil çatıların; ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları içeren sürdürülebilir kentsel gelişme hedefleriyle ilişkili olduğunu öne sürmektedir. Yeşil çatı sistemlerini uygulamak; sosyo-çevre, çevre-ekonomi, sosyo-ekonomi gibi

sürdürülebilir kalkınma ilkeleri arasındaki bağlantıyı en üst seviyeye çıkararak; daha iyi hava kalitesi, sosyal uyum, estetik değerler, yeni sosyal alanlar ve daha etkin yağmur suyu yönetimi gibi özellikleri ortaya çıkarmaktadır. Şekil 2.1 yeşil çatı sistemlerinin sürdürülebilir kentsel gelişmeye doğrudan ve dolaylı olarak katkısını göstermektedir [7].



Şekil 2.1: Yeşil çatı sistemlerinin kentsel gelişmeye etkisi.

Sürdürülebilir kalkınma için belirlenen küresel hedefler ile yeşil çatıların bu hedeflere katkısı Tablo 2.2’de incelenmektedir [7].

Tablo 2.2: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile Yeşil Çatı Katkıları.

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri	Yeşil Çatıların Katkısı
Hedef 1. Yoksulluğun kalkması	-Yeni istihdam alanları yaratarak, inşaat, kurulum, bakım için fırsatlar sunar. -Meyve-sebze yetiştirimi ile yerel yetiştirilen ürünlere harcanan paranın önüne geçilir.
Hedef 2. Açlığın kalkması	-Yerli besin yetiştiriciliği ile taze ve besleyici besinlere ulaşım kolaylaşır
Hedef 3. Sağlıklı bireyler	-Şehirin yeşillenmesine katkı sağlayarak insan sağlığı üzerinde stresi azaltır, hava kalitesini iyileştirerek hava kirliliği kaynaklı hastalıkların önüne geçer.
Hedef 6. Temiz su ve sıhhi koşullar	-Yağmuru suyunu tutarak, bitiklerle buharlaşma ve terleme yoluyla atmosfere gönderir. -Yağmur suyu akışını geciktirir ve filtreler böylece geleneksel çatılara oranla daha temiz bir suyun akışa geçmesini sağlar.
Hedef 7. Erişilebilir ve temiz enerji	-Çatıdan iç cepheye geçen ısı azaltılarak enerji kullanımında ve maliyette azalmaya yardımcı olur. -Yazın binayı direk gelen güneş ışınlarından kışın ise ısı kaybının önüne geçer.
Hedef 8. İstihdam ve ekonomik büyüme	-Yeni iş alanları ihtiyacıyla ekonomiye katkı sağlar. -İstihdam olanağı yaratır.
Hedef 9. Sanayi, yenilikçilik ve altyapı	-Yağmursularını geciktirerek altyapıya binen yükü azaltır. -Daka ekonomik ve verimli çatı ömrü sağlar
Hedef 11. Sürdürülebilir kent ve yaşam alanları	-Yeni sosyal kullanım imkanı sunan alanlar yaratır. -Şehirlerin yeşillenmesi ve hava sıcaklıklarının dengelenmesinde rol oynar. -Topluluk duygusunun gelişmesine yardımcı olur.
Hedef 12. Sorumlu tüketim ve üretim	-Sebze ve meyve yetiştiriciliği ile tüketim toplumu olmanın etkilerini ortadan kaldırabilir.
Hedef 13. İklim eylemi	-Enerji tasarrufu ile birlikte sera gazı emisyonlarının salınımının önüne geçer. -Hava sıcaklıkları üzerinde dengeleyici etki sağlar.
Hedef 15. Karasal yaşam	-Doğal ortam oluşturarak canlı yaşamına olanak sağlar.

Kentsel sürdürülebilir kalkınma konusu, kent gelişimi ile ilgili politikalar, planlama ve programları içeren temel konulardan biridir. Kentlerdeki

sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramı mantık ile ekonomik, ekolojik, politik, sosyal, kültürel ve mekansal boyutları ve bu boyutların karşılığını savunur. Sürdürülebilir kentsel kalkınma; enerji tasarrufu, çalışma ve yaşam alanlarındaki mesafenin kısılması, iş için araç kullanımını azaltmak, toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi ve yaya ulaşımı, biyoçeşitlilik ve şehir çeşitliğinin korunması, çevre kirliliğini azaltmak, atıkların yüzde yüz geri dönüşümü konularını hedeflemektedir [9]. Kentsel sürdürülebilirlikte yeşil alanların rolü Tablo 2.3 ile açıklanabilir [9].

Tablo 2.3: Kentsel Yeşil Alan Boyutları.

Kentsel Yeşil Alan Boyutları		
Çevresel Boyutlar	Ekonomik Boyutlar	Sosyal Boyutlar
Çevre kirliliğinin azaltılması	Yüksek yaşam kalitesi	Baskı ve stresin azaltılması
Kentsel görünümün güzelleştirilmesi	Kentsel sürdürülebilir kalkınma	Toplumsal bağımsızlığı güçlendirmek
Minimum iklim değişimi	Sürdürülebilir kalkınma	Toplumun katılımını arttırmak
Rüzgarın yönlendirilmesi		

3. YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİ VE TEKNİK ÖZELLİKLER

Yeşil çatılar; kullanıcı istekleri, iklim özellikleri, kurulacak yapının taşıma kapasitesi, çevresel yönden faydaları ve değerlendirilebilirliği bakımından ekstensif (seyrek bitkili) ve intensif (yoğun bitkili) olmak üzere iki grup altında incelenebilir. Yanı sıra uygulaması çok olmamakla beraber iki sistemin birarada kullanılabildiği semi-ekstensif (yarı seyrek bitkili) uygulamalarda yapılabilmektedir.

3.1. Ekstensif (Seyrek Bitkili) Yeşil Çatılar

Ekstensif yeşil çatılar, su ihtiyacı, bakım gereksinimi az olan bitkilerin tercih edildiği uygulamalardır. Genellikle hiçbir ek yapısal desteğin gerekmediği durumlarda, su tutma kapasitesi az olan bitkilerin ve karışık topraklı bitki tabakalarının tercih edildiği uygulamalardır.

Bu tip çatılar kullanım alanı olarak tercih edilmez. Fakat çevresel faydaları fazladır. Yağmur suyunu filtreleme, absorblama ya da alıkoyma gibi özelliklerinden dolayı su kalitesinde, kentleşmenin olumsuz etkilerinin azaltılmasında yardımcı olabilirler. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de ekstensif yeşil çatı uygulamalarına örnekler görülebilir [10].

Bu sistem çatılarda az su isteyen, sürekli bakım gerektirmeyen, sert, kuru ve yüksek sıcaklıklardaki atmosfer şartlarına dayanıklı bitki çeşitleri tercih edilmelidir. Genellikle yosun, çim, ot, çalılar, küçük ağaçlar gibi bitkiler tercih edilir. Su tutma özelliklerinin olması, kısa olmaları ve yatay yayılım göstermeleri nedeniyle bu bitkilerin kullanım oranları oldukça sıktır. Ancak kısa boylu bitkiler olmalarından dolayı rüzgar, don gibi atmosferik koşullardan daha fazla etkilenmektedirler. Ayrıca bu bitkiler nadiren sulama ve minimum bakım gerektirirler. Yoğun bakım, biçme ve gübreleme gerektirdiğinden çimen kullanımı tercih edilmez. Bu tip çatılarda sadece periyodik bakım yeterlidir. Kuruluş aşamasında ve yağışın yetersiz olduğu hallerde sulama gerektirir.



Şekil 3.1: Ekstensif yeşil çatı örneği.



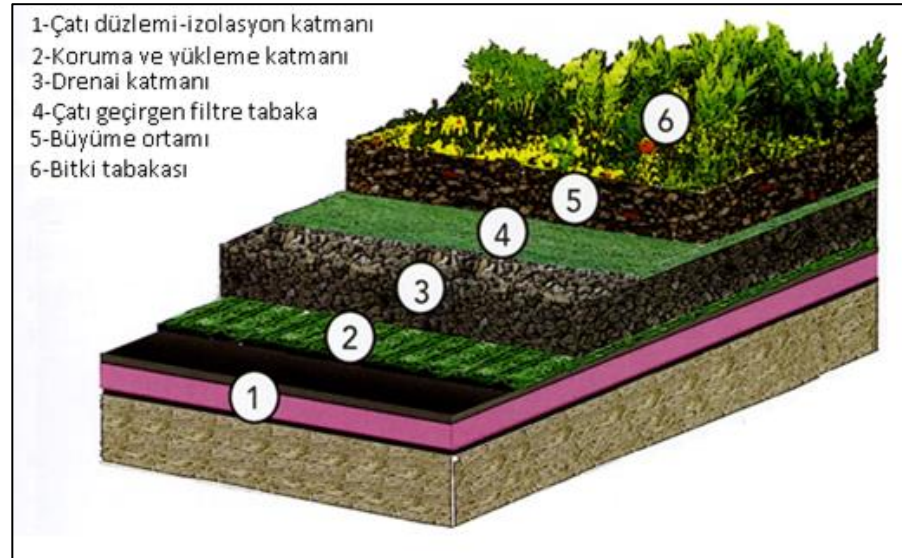
Şekil 3.2: Ekstensif yeşil çatı örneği.

8-10 cm aralığında toprak kalınlığı bu sistemler için yeterlidir. Hafif toprak ortamıyla inşa edilirler. Toprak örtüsünün altında drenaj tabakasıyla bina yapısının koruyuculuğunu sağlayan, yüksek kaliteli, su geçirmez membran olmalıdır. Özel bir çatı tipi gerektirmez ancak yük sınırlaması için inşasından önce yapının kontrol edilmesi gerekir. Bitki ortamının çatı katmanına vereceği yük yaklaşık $30-100 \text{ kg/m}^2$ olmalıdır.

Ekstensif yeşil çatı için katmanlar [4], [11];

- Bitki tabakası,
- Büyüme ortamı,
- Filtre-ayırıcı katman,
- Drenaj katmanı,
- Koruma katmanı,
- Çatı düzlemi-izolasyon katmanı.

Sahip olduğu bu katmanlardan dolayı ekstensif yeşil çatılar tabakalı sistem olarak da bilinmektedir. Bu tabakaların sıralanması kurulum yapacak firma tarafından malzemeye bağlı ya da iklim koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [12]. Ekstensif yeşil çatı kurulum katmanları Şekil 3.3’de gösterilmektedir [4].



Şekil 3.3: Ekstensif yeşil çatı katmanları.

3.1.1. Ekstensif Yeşil Çatıların Avantaj ve Dezavantajları

Ekstensif yeşil çatılar, hafif yüklü sistemler olduğu için çatıda herhangi bir güçlendirme işlemi gerektirmemektedirler. Büyük alanlar için tercih edilebilecek sistemlerdir. Eğimli çatılara uygulanabilir olmaları da kullanım alanlarının

yaygınlaşmasında etkilidir. Ekstensif yeşil çatılar sık sulama gerektirmeyen dolayısıyla drenaj sistemine de pek ihtiyaç duyulmayan çatılardır. Bitki örtüsü doğal haliyle kendiliğinden büyüeyebilen bitkilerden oluşmaktadır. Ancak bu durum bitki seçiminde sınırlamalara neden olmaktadır. Ayrıca sosyal kullanım alanı olarak uygulamaları olmaması da dezavantajları arasındadır.

3.2. İntensif (Yoğun Bitkili) Yeşil Çatılar

İntensif yeşil çatılar, daha fazla çeşitlilikte bitki türleri içeren, büyük ağaçlar ve çalılar ile geleneksel tarzdaki bahçelere benzerler. Genellikle düz çatılar üzerine tasarlanırlar. Halkın kullanımına açık, yürüme ve oturma alanları içeren açık hava alanları olarak kullanılabilir. Bitki örtüsü bir veya birden fazla katmana sahip olabilir. Çok katmanlı yapılar olduğu için yükü taşıyabilecek beton çatı üzerine kurulmalıdır.

İntensif yeşil çatılar standart bahçe özelliğinde olan yapılar olduğu için uzun süreli bakım gerektirmektedir. Aynı zamanda kişi kullanımına açık alanlar olabileceği nedeniyle bitki örtüsü yanı sıra park şeklinde de tasarlanabilirler. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de yeşil çatı uygulamalarına örnekler gösterilmektedir [10].

Bu sistemler bina için mimari ve estetik güzellik sağlamaktadır. Bu nedenle yeni yapılarda tercih edilmektedir. Binanın yapım aşamasında çatıya binecek yükün hesabı ve uygun tasarımı sonradan kurulan sistemlere oranla daha büyük kolaylık sağlayacaktır. Yeterli yük kapasitesi sağlandığı takdirde bahçe görüntülerinin yanı sıra heykeller, süs havuzları gibi görsel eklentiler de yapılarak hoş alanlar yaratılabilir.



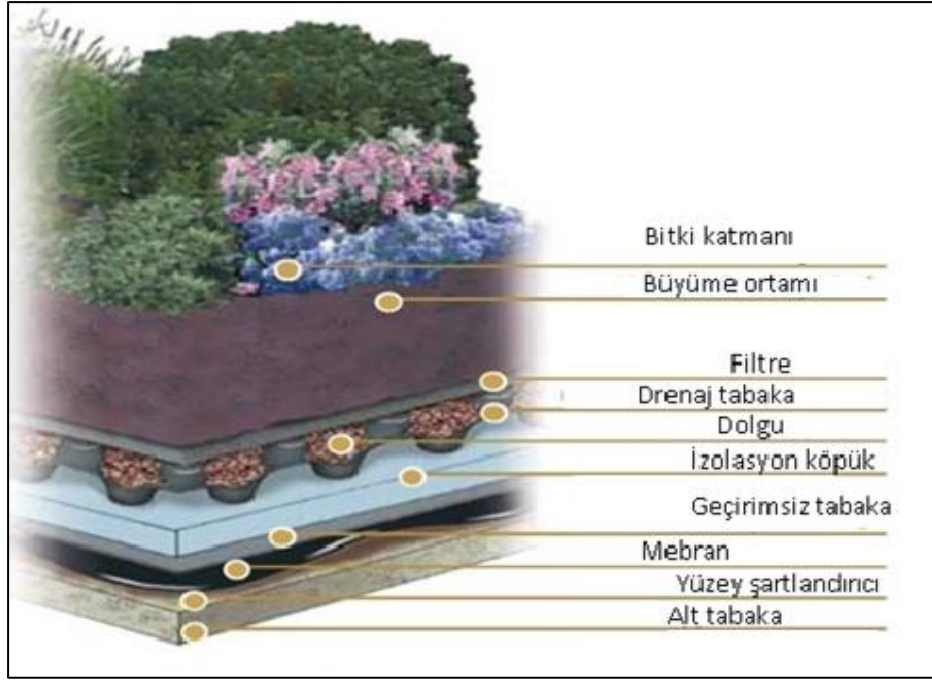
Şekil 3.4: İntensif yeşil çatı örneği.



Resim 3.5: İntensif yeşil çatı örneği.

İntensif yeşil çatılarda bitki kökünün tutumu için kalın bir bitki toprağı kullanılır. Toprak kalınlığı 20-120 cm arasındır. Ancak sistemin çatıya verdiği yük maksimum 300-400 kg/m² olduğundan sistem bu ağırlığa dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Sık bakım ve sulama ihtiyacı gerektirebilir. İntensif yeşil çatılar için katmanlar Şekil 3.6’da gösterilmiştir [4], [11].

- Bitki katmanı,
- Büyüme ortamı,
- Filtre katmanı,
- Drenaj tabakası,
- İzolasyon katmanı,
- Geçirimsiz tabaka,
- Membran,
- Eğim betonu.



Şekil 3.6: İntensif yeşil çatı katmanları.

3.2.1. İntensif Yeşil Çatıların Avantaj ve Dezavantajları

İntensif yeşil çatılar özel yalıtım sistemleri ile kurulurlar. Bitki çeşitliliği açısından oldukça zengin sistemlerdir. Görsel ve mimari açıdan özel etkilere sahip olup, kullanıcılara; park, bahçe, dinlenme alanları gibi çeşitli özellikte yeni alanlar yaratırlar. Yoğun yağmursuyu tutma özelliğine sahiptirler. Ayrıca büyüme ortamının derinliği sayesinde çatı membranının uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Fakat bu durum çatıya fazla yük getirecektir. Sistemdeki bitki çeşitliliği bakım gerektireceğinden uygun sulama ve drenaj sistemlerinin düşünülmesi gerekmektedir.

Tablo 3.1’de ekstensif ve intensif yeşil çatılar arasındaki farklılıklar vurgulanmıştır [13].

Tablo 3.1: Yeşil Çatı Sistemlerinin Karşılaştırılması.

Karşılaştırma	Ekstensif	İntensif
Genel	➤ İnce toprak kalınlığı (50-150 mm) ➤ Sulama gerektirmez ya da çok az ➤ Geniş uygulama alanı gerektirir ➤ Düşük bakım maliyeti	➤ Derin toprak kalınlığı (200-2000 mm) ➤ Sulama gerektirir ➤ Yoğun sermaye ve bakım ister ➤ Orta seviye bakım maliyeti
Avantajlar	➤ Hafif ➤ Tasarım sonrası kullanıma uygun ➤ Daha ucuz ➤ Geniş alanlar için uygun ➤ Eğimli çatılar için uygun ➤ Kendi kendine yetişen bitki ortamı ➤ Az bakım ve Teknik uzmanlık	➤ Çeşitli kullanım alanı sağlar ➤ Daha fazla yağmur suyu tutma kapasitesi ➤ Enerji verimliliği daha yüksek ➤ Bitki çeşitliliği çok ➤ İyi yalıtım özelliği ➤ Doğal yaşam alanı ➤ Görsel etkiler
Dezavantajlar	➤ Bitki seçenekleri kısıtlı ➤ Kullanım alanı olarak uygun değil ➤ Daha az enerji verimliliği ➤ Daha az yağmur suyu tutma kapasitesi ➤ Daha az görsel etki	➤ Daha pahalı ➤ Yüksek sermaye ve bakım ➤ Fazla yük getirisi ➤ Sulama ve drenaj için enerji, su ve maliyet ihtiyacı

3.3. Yeşil Çatı Sistemlerinin Planlanması

Yeşil çatı sistemleri tasarlanırken; yeşil çatının cinsi, yapının statik yük kapasitesi, ortamın kök tutma özelliği, su tahliyesi, eğim, teras olarak kullanılabilirliği, ortam şartları, hava koşulları, bakım şartları, bağlantı elemanları göz önünde bulundurulması gereken önemli kriterlerdir.

Çatılar, bitkilere doğal ortamlara göre sınırlı bakım ve gelişim ihtiyacı sunacağından yeşillendirme için seçilecek olan bitki ortamı da önemli bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yeşil çatı sisteminin uygulanacağı çatının taşıma kapasitesi dikkate alınması gereken başlıca unsurdur. Ekstensif sistemlerde taşınması gereken yük 70 kg/m²

civarında olması gerekirken intensif sistemlerde 300 kg/ m² yük taşıyabilecek kapasiteye sahip olması gerekmektedir. Ayrıca planlanacak trafik akışı olması halinde bu yükün de hesapta dikkate alınması gerekmektedir [13].

Çatı eğimi, yeşil çatı sistemlerinde ekstensif ve intensif uygulamalara göre değişkenlik göstermekle beraber, ekstensif sistemlerde 45° eğime kadar değişmekte olup, intensif sistemlerde düz ya da 1-2° eğim olmalıdır [13].

3.4. Yeşil Çatı Sistemlerinin Teknik Özellikleri ve Tasarımı

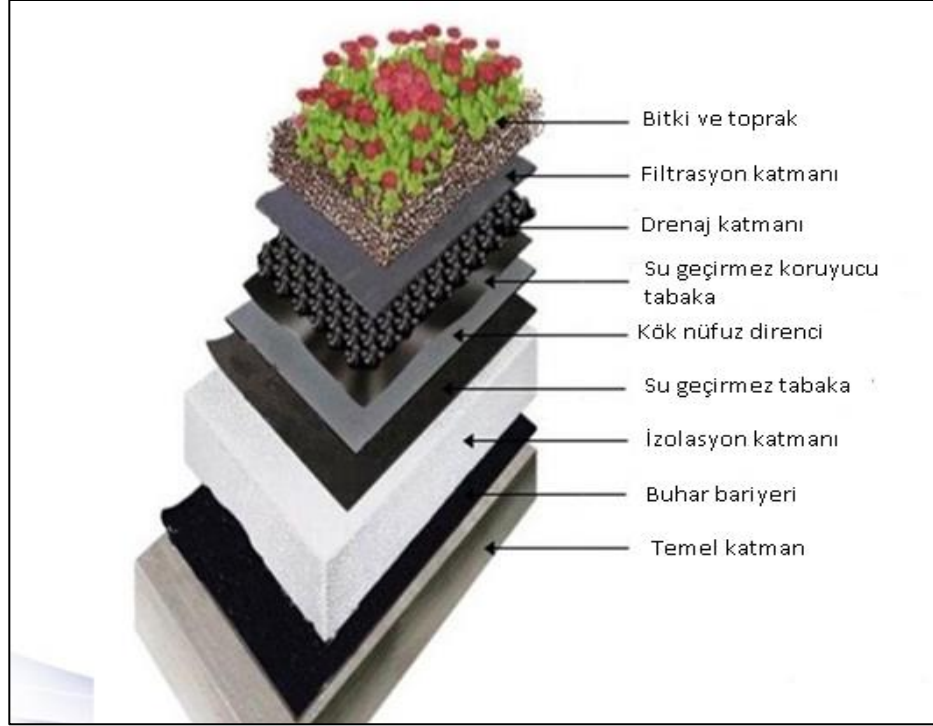
Yeşil çatılar, bina çatı yüzeyi üzerine monte edilen katmanlar ve bitki örtüsünden oluşan, doğal yoldan su muhafaza etme özelliklerinin yanı sıra, tozun kalkmasını ve yapı içerisine ısı geçişlerini ya da ısı kaçaklarını ciddi oranda azaltabilme özelliğine sahip yapılardır. Ayrıca su tutma özelliği ile altyapı sistemlerinin yükünü de azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Yeşil çatı sistemleri güzel görüntü dışında ekolojik katkı, su yönetimine katkı, enerji kullanımına katkı gibi özellikleri nedeniyle yaygınlaşma yolunda ilerlemektedir.

Yeşil çatı dizaynında katman seçimi çatının performansını etkileyen kritik bir seçimdir. Katmanlar çatının intensif ya da ekstensif olmasına göre boyut, tür, şekil gibi özelliklerinde değişiklik gösterebilir. Şekil 3.7’de yeşil çatıyı oluşturan katmanlar görülmektedir. Bu katmanlar aşağıda sıralanmış olup başlıklar altında tek tek açıklanmaya çalışılmıştır [13].

- Su yalıtım katmanı,
- Kök bariyeri,
- Koruma katmanı,
- İzolasyon katmanı (seçimli),
- Drenaj ve kesme,
- Su tutma (seçimli),
- Erozyon kontrolü (seçimli),
- Filtre kumaşı,
- Yetiştirme ortamı,
- Bitki örtüsü,

- Sulama,
- Ek elemanlar (seçimli).



Şekil 3.7: Yeşil çatı tasarım katmanları.

3.4.1. Su Yalıtım Katmanı

Yeşil çatılarda en kritik parametre yapı içerisine su girişinin önlenmesidir. Su yalıtım membranı suyun binaya nüfuzunu engellerken aynı zamanda yüzeyden akıntıyı da kolaylaştırır. Bu katman hidrostatik basınca (gölet suyu) uzun süre dayanabilen bir malzemedен oluşmalıdır. Sistemin başarılı olması için membran katmanının profesyonel olan kişiler tarafından uygulanması gerekmektedir [13].

Yarı kurak ve kurak mevsimlerde ya da kısa sürede yüksek oranda yağış olabilecek yağış dönemleri dikkate alınarak membranın dayanıklılığı konusunda seçim yapılmalıdır.

Membran tiplerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz; [13].

- Yığılmış ya da modifiye bitüm,
- Lastikli asfalt,
- Polivinil klorür termoplastik membran (PVC),
- Termoplastik olefin (TPO)-dikişli levhalar,
- Elastomerik membranlar, etilen propilen dien membranlar, dikişli levhalar.

Bunların dışında piyasada yeni olarak aktif bi-polimerler ve üretilenler bulunmaktadır. 1950'li yıllarda teras çatılı binalarda sızdırmazlık bitümlü karton/keçe, asfalt, mantar levhalar gibi malzemelerle sağlanmakta iken buhar geçişleri, yoğunlaşma durumları ihmal edilirken, sonraları polimerlerin gelişmesi ile alternatif malzeme kullanımı ortaya çıkmıştır [13].

Membranın sızdırmaya dayanma kabiliyeti; tipine, kalınlığına, uygulama şekline, kullanılan tesisat ve malzeme kalitesine göre değişir. Membran uygulama çeşitleri aşağıda sıralanmıştır.

- Yapıştırma, sıcak veya soğuk uygulama,
- Açık alev uygulama,
- Kendiliğinden yapışkanlı,
- Mekanik bağlamalı,
- Gevşek döşeme.

Membran uygulaması yapıldıktan sonra, sızdırma ve su geçirmezliğinin tespiti için taşkın testi yapılmalıdır. [13].

3.4.2. Kök Bariyeri

Kökler, yeterli zaman ve büyümek için alan verilirse besin ve nem arayacaktır. Sonucunda su yalıtım tabakasına, drenaj çıkışlarına ve muhtemel yapısına zarar vereceklerdir. Kök bariyeri, bitki köklerinin tabakaya ve destek yapısına ulaşmasını önleyerek su yalıtım membranının bütünlüğünü korur. Çünkü kurak ve yarı kurak iklimlerde kökler hayatta kalmak için saldırgan bir eğilim izlemektedir. Bu nedenle bu yapı yeşil çatı sistemlerinde büyük öneme sahiptir. Kök bariyeri sistemleri;

- Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE),
- Emdirilmiş bakır hidroksit,
- Geçirimsiz beton,
- Polivinil klorür (PVC) ve Termoplastik olefin (TPO).

Kök bariyeri, standartlara göre asfalt ve bitümlü membranlarla beraber kullanıldığında 0.8 mm kalınlığa sahip olmalı ve 15 cm'den fazla büyüme ortamlarına sahip uygulamalarda kullanılmalıdır [13].

3.4.3. Koruma Katmanı

Kurulum sırasında tüm katmanları ve üst bileşenleri yerleştirene kadar membranı korumak için bir plan oluşturmak gerekir. Bunun için genellikle bir membran koruma panosu kullanılır. Bu panonun kalınlığı 0.3-0.6 cm arası olup, suda bozulmayan dayanıklı malzemeden yapılmalıdır. Membranın zarar görmemesi için üst bileşenlerin yapımında ağır malzeme, keskin nesne ve makina kullanımından kaçınmak gerekir [13].

3.4.4. İzolasyon

İzolasyon, yapılarda ısı kaybının önüne geçerek enerji tasarrufu sağlar. İzolasyonun etkinliği R değeri ile ölçülür. Belirli bir malzemenin sıcak veya soğuk gibi termal etkiye ne kadar dayanıklı olduğunun bir ölçüsüdür. İzolasyon, kışın ısı kaybını önlerken, yazın da klima talebinin azalmasına etki eder.

En sık kullanılan izolasyon tipleri şunları içerir;

- Poliüretan köpük,
- Polistiren köpük
- Fiberglass.

Bunların yanısıra; genişletilmiş perlit, bitkisel lif ve izosiyanürat köpük de kullanılmaktadır. Polistiren ürünler; kullanımı kolay, hafif, kolay kesilebilir, ucuz ve kolay erişilebilir olması nedeniyle tercih edilmektedir.

İzolasyon katmanı yapı plakasının altına, membranın hemen altına ya da üstüne kurulabilir. Ancak daha verimli sonuç için membran üzerine kurulumu tercih edilir.

İzolasyon katmanının malzeme dayanımı, yüklere maruz kalan çatı ve döşeme gibi yapı elemanlarında önem kazanmaktadır. Yüklerin izolasyon katmanına zarar vermemesi için yüksek mukavemetli malzeme seçiminde fayda vardır [13].

3.4.5. Drenaj

Drenaj tabakası, su yalıtımı katmanına gidebilecek suyun alınması için kurulan levha, boru ve kanal ağıdır. Çatıya gelen suyun bitkilerin ihtiyacı için depolanmasını ve fazla suyun da sistemden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Depolanan bu su yeterli nemin sağlanmasına ve bitki yaşamının sürmesine yardımcı olur. Kök bariyeri ve membrana ilave bir katman görevi yaparak izolasyon katmanının basınç dayanımını ve termal kapasitesini arttırabilir [13]. Drenaj katmanları ve bileşenleri aşağıdakiler gibidir;

- Granül ortam (kırılmış taş, çakıl, yıkanmış nehir kumu),
- Sert drenaj levhası,
- Plastik veya organik malzemeden gözenekli paspaslar,
- Çatı drenajları,
- Oluklar, saçaklar,
- Nem tutucu paspas,
- Drenaj boruları.

Bitki ortamı için su alımı ve yağmur sularının akışının azaltılması için su bu tabakada bir süre alıkonabilir. Bazı drenaj sistemleri suyun taşınması ve sistemde tutulması için konkav şeklinde tasarlanmıştır. Eğimli çatılarda yer çekimi ve basit bir oluk sistemi yeterli iken düz veya az eğimli çatılarda karmaşık ve iyi planlanmış bir drenaj sistemi tasarlanmalıdır [13].

Drenaj tabakası bitkilerin, sudan dolayı bozulmasını önlemektedir. Koruyucu tabaka yapımı sırasında nokta yüklemesine karşı muhafaza özelliğine sahiptir.

3.4.6. Kesme

Kesme, en genel tanımıyla kaplama bitişlerinde su drenajını sağlama amaçlı olarak bükümlü halde aksesuar sac uygulama işlemidir. Delme, kesme ve sonlandırma noktalarında su yalıtım membranını kapatmak için gereklidir. Taban kesme, membran kenarlarını örter, üst kenarlardan sızdırmazlığın önüne geçilmesini sağlar. Kesme malzemesi paslanmaz çelik gibi korozyona dayanıklı malzemeden yapılmalıdır [13].

Yeşil çatıdaki sızıntıların büyük çoğunluğu membranda değil kesme, drenaj ve çapalar gibi kesinti noktalarından kaynaklanır. Bu nedenle bu noktaların doğru tasarlanması, kurulması ve sürdürülmesi büyük önem taşır [13].

3.4.7. Su Tutma

Su tutma tabakası suyu yakalar ve buharlaşma vasıtasıyla büyüme ortamına sağlanan nemi korur. Drenaj tabakasının su tutma kapasitesini ve sulama sisteminin performansını arttırabilir. Su tutma katmanları; plastik kuka kaplama, üretan köpük paspas, emici örtüden oluşmaktadır [13].

Yeşil çatının su tutma kapasitesi ve akış hızını etkileyen faktörler iki başlıkta incelenebilir [14].

Yeşil çatı özellikleri:

- Katman sayısı ve malzeme tipi,
- Toprak kalınlığı,
- Toprağın cinsi,
- Bitki örtüsü,
- Bitki tipi,
- Çatı şekli (eğimli, düz)
- Çatı pozisyonu (gölgeli, gölgesiz).

Hava şartları:

- Kuru hava şartlarının uzunluğu,
- Mevsimsel şartlar (hava sıcaklığı, rüzgar koşulları, nem),
- Yağışın karakteristiği (yoğunluk ve süre).

3.4.8. Erozyon Kontrolü

Eğimli yeşil çatılar için erozyon kontrolü özel bir dikkat gerektirir. Bitki örtüsü kurulumunda yüksek rüzgar alan bölgeler için erozyona karşı koruyucu katman yapmak gerekebilir. Erozyon kontrolü için kullanılacak katmanlar; dokunmamış kumaş veya paspaslar, saman örtüsü, jüt (ıhlamurgillerden bit bitki) paspasları ve koruyucu katmanlardan oluşmalıdır [13].

3.4.9. Filtre Katmanı

Filtre katmanı, partiküllerin drenaj tabakasına geçişini engelleyen ve drenaj sisteminde tıkanmayı önleyen koruyucu bir bariyer olarak görev yapan hafif ve dayanıklı bir malzeme seçilerek kurulan bir katmandır. Filtre kumaşı türleri olarak biyolojik olarak parçalanmayan, dokunmamış peyzaj kumaşı, polyester fiber paspas, polipropilen-polietilen paspaslar kullanılır [13].

3.4.10. Yetiştirme Ortamı

Yeşil çatı tasarlandığı zaman bitki örtüsünün başarılı olup olmaması yetiştirme ortamına bağlıdır. Yetiştirme ortamı; inorganik madde, organik madde, hava ve suyun bileşiminden oluşmaktadır. İyi drenaj ve havalandırma, su tutma kapasitesi, dayanıklılık, nütrient döngüsü kapasitesi, kuru/yaş ağırlık, filtrasyon gibi özellikler yetiştirme ortamında önemlidir. Ortam tasarlanırken yapı eğimi, drenaj ve iklim koşulları özellikle gözönünde bulundurulması gerekir [13].

Yeşil çatılarda genellikle yavaş büyüyen büyüme ortamı tercih edilir. Yetiştirme ortamı [13];

- Bitki kökleri için gerekli miktarda hava ve su tutmalı,
- Bitki ortamına suyun nüfuz etmesine izin vermeli,
- Kök kararlılığı ve bitki desteği sağlamalı,
- Bütünlüğü karumalı,
- Köklerin sürekli ıslak kalmaması için fazla olan suyun boşaltılmasını sağlamalı,
- Rüzgara dirençli olmalı ve dağılmamalıdır.

3.4.11. Bitki Örtüsü (Vejetasyon Tabakası)

Bitki seçimi, yeşil çatının en belirgin özelliği olup, kullanılacak olan yeşil çatı sistemine göre değişiklik gösterir. İntensif çatılarda çeşitli özellikte bitkiler kullanılırken estetik kaygı da ön planda olmaktadır. Ekstensif çatılarda ise kendi kendine büyüyen ve az bakım gerektiren bitki tipinin seçilmesine özen gösterilir.

Çeşitli tasarımlarla değişik iklim koşullarına uyum sağlayabilecek ve düşük su kullanımı gerektiren bitki seçimleri yapılmalıdır. Sistemin kurulacağı bölgenin sıcaklık ortalamaları, rüzgar yönü ve miktarı, mevsimlere bağlı yıllık yağış ortalamaları gibi etmenler bitki seçimi yapılırken dikkat gerektiren unsurlardır [13].

Bitki türlerinin karakteristik özellikleri; köklerinin büyüme hızı, üreme hızları, su ihtiyaçları da bitki seçiminde önemli etmenlerdendir. Bitki örtüsü olarak kullanılacak bitkiler birbirleri ile uyum içerisinde olmalıdırlar [13].

Bu etmenler dikkate alındığında aşağıdaki özelliklere sahip bitki seçimlerinin yapılması sağlıklı olacaktır [13].

- Çok yıllık bitkiler,
- Lifli veya odunsu köke sahip bitkiler,
- Düşük besin ihtiyacı olan bitkiler,
- Düşük bakım gerektiren bitkiler,
- Hafif, yayılmayan ya da düşük yayılma ve büyüme özelliği gösteren,
- Kuraklığa ve rüzgara dayanıklı.

Dirençle karşılaştıklarında yön değiştirme özelliği olan köklü bitkilerde hayatta kalma şansı daha yüksektir. Bitki rts yerleşiminin ilkbaharda veya sonbaharın başında yapılması gerekir. Bitki türü seçilirken iklim koşullarına dikkat edilmelidir.

Gübreleme işlemi vejetasyon tabakası üzerinde yapılır ve bu tabaka üzerine serpilir ya da suni sulama yapılacağı zaman suya karıştırılmalıdır [13].

Bitki örtüsünün altındaki tabaka da örtünün başarısını etkileyebilir. Isı iletkenliği malzemeler arasında farklılık gösterir ve ısı değişimi için havalandırmalar ve havalandırma deliklerine yakın yerlerde ısıtma hesaba katılmalıdır. Bitki seçimi yaparken dikkat edilmesi gereken faktörler aşağıdadır.

- Büyüme hızı,
- Rüzgar dayanımı,
- Kuraklık toleransı,
- Besin maddesi gereksinimi,
- Güneş maruziyeti,
- Kirlilik duyarlılığı,
- Yangın direnci.

Bitki türleri olarak kuru çim, step ve kaya bitkileri ve özellikle kendini tazeleme özelliğine sahip olan yabani otlar kullanılmalıdır. Bitkiler yetişkin fidan olarak dikilirler. İstenmeyen yabani otlar uzaklaştırılmalı, yosun oluşumu kontrol edilmeli, oluşum olduğu halde uzaklaştırılmalıdır. Düzenli şekilde biçme ve gübreleme işlemi yetiştirilecek olan bitkilerin sağlıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.

Büyüme ortamı ile ilgili yükseklik ölçüleri belirlenirken ağaç gibi büyük köklere sahip bitkilerde “boy/10=yetişme yüksekliği” formülü dikkate alınmalıdır. im gibi kaplayıcı bitkiler için 20 cm yükseklik yeterli olacaktır [15].

Kış mevsimi ağır geçen iklimlerde kar, yağmur yağışı gibi olaylar çatıya ek yük getireceğinden kurulum planlamasında, bu iklimlerde kurulan çatılarda yükleme kapasitesi iyi değerlendirilmelidir. İklime uygun özellikli bitki seçimine dikkat edilmeli, yoğun yağışlı ya da kurak bölgelerde bu şartlara uyum sağlayacak bitki tercih edilmelidir.

3.4.12. Sulama

Yeşil çatılarda sulama, yağmur suyu ile gerçekleşmekte olup su drenaj ve vejetasyon (bitki örtüsü) tabakasında birikmektedir. Doğal sulama yetersiz kaldığı hallerde, baraj biçiminde sulama tekniğiyle yağmur suyu drenaj tabakasında birikir ve mekanik bir şekilde su ilave edilir. Sulama koşulları; yüksek rüzgârlar, aşırı sıcaklık dalgalanmaları, kuraklık gibi sebeplerle zorlayıcı olabilir. Bina yüksekliği de bu koşulları etkilemektedir. Kuraklığa dayanıklı bazı bitkiler, kurulumdan sonra ilave su olmadan hayatta kalabilirler. Ancak yeşil çatı sistemlerinde sulama, tesisin bir parçası olarak dâhil edilmelidir. Sulama işlemi azaltılmak ya da kurulmamak istenirse suya ihtiyacı çok az olan özel bitkiler ile sistem kurulmalıdır. Sulama türleri arasında aşağıdakiler bulunmaktadır [13];

- Hava püskürtme,
- Damlama,
- Hortum,
- Kılcal sulama.

Damla sulama ya da püskürtme sistemi bitki ihtiyacına, büyüme hızına veya bitki örtüsüne göre seçilir. Ancak bu sistemler iyi tasarlanmadığı sürece yetersiz kalabilir. Damla sulama yönteminde bitkiler kuraklık zamanında, vejetasyon veya drenaj tabakasında bulunan damlatma hortumuyla sulanır. Spreyleme yönteminde ise suni yağmurlama düzeneği vejetasyon tabakası üzerine kurulur. Sığ derinlikli yetiştirme ortamlarında su yalıtım membranına zarar vermemek için sulama sisteminin özel olarak detaylandırılması gerekir. Bunun için spreyleme sulama sistemi düşünülebilir [13].

3.4.13. Ek Elemanlar ve Özellikler

Yeşil çatılarda ek olarak aşağıdaki elemanlar kullanılabilir:

- Kaldırımlar ve sınırlar,

- Mobilya ve gölge yapıları,
- Aydınlatma,
- Korkuluklar,
- Havalandırma boruları,
- Yürüme yolları, patikalar.

Kaldırımlar ve sınırlar, bitki örtüsünü duvarlardan, kanalizasyon kanallarından, çatı pencerelerinden ve yürüyüş yollarından ayırır. Mobilya ve gölge yapıları; tezgahlar, çöp tenekeleri, kafes sistemleri ve oyun ekipmanları gibi çatıya sabitlenmelidir. Işıklandırma ile de sistemin aydınlatılması sağlanarak kullanıcıların yönlendirilmesi sağlanır. Ayrıca yürüyüş yolları ile sisteme zarar vermeden çatının kullanımı, ekim işlemleri yapılabilir [13].

Ekstensif ve intensif çatıların kurulumu için gerekli özellikler Tablo 3.2’de listelenmiştir [13].

Tablo 3.2: Yeşil Çatı Sistem Gereksinimleri.

Değişkenler	Ekstensif	İntensif
Bitkilendirme	Sedum, çim, bitkiler	Süs çalıları, ağaçlar
Yükseklik	<15 cm	25-100 cm
Sulama	Çoğunlukla yok	Her zaman gerekli
Ağırlık	50-150 kg/m ²	250-1000 kg/m ²
Yürüme yolu	Yok/sınırlı	Var
Su tamponu	4-12 mm	18-39 mm
Çatı yük kapasitesi	Çoğunlukla yeterli	Ekstra güçlü çatı yapısı
Bakım	Çok az	Normal bahçe gibi
Çatı eğimi	45 dereceye kadar eğim	Düz veya teras şeklinde

3.5. Yeşil Çatı Sistemlerinin Ekonomik Değerlendirmesi

Bu sistemlerin inşaat sektörü ile orantılı olarak talebinin artması ile tasarımından uygulanmasına, bakımında malzeme üretimine kadar birçok alanda yeni istihdam oluşturacaktır. Mimarlardan mühendislere, teknikerlerden işçilere kadar birçok sektör çalışanı için meslek kullanımında yeni alternatifler oluşacaktır.

Yeşil çatıların ekonomik uygulanabilirliği özellikle seçilen yeşil çatı sistemine ve bitki tipine bağlıdır. Örneğin su izolasyon katmanının ömrü yeşil çatının ekonomik uygulanabilirliğinde önemli rol oynayabilmektedir. Geleneksel çatıda su yalıtım ömrü 10-20 yıl ise yeşil çatıda bu süre 50 yıldır. Wong vd., Singapur'da yaptığı yaşam döngüsü analizi ile ekstensif yeşil çatının geleneksel çatıdan %14.6 oranında daha düşük maliyeti olduğunu göstermiştir. Yapılan analizlerde hesabı zor olan diğer faydalar (hava kirliliğinin giderilmesi, ekosistemin korunması, su yönetimi, gürültünün önlenmesi) düşünülmeden sadece inşaat ve enerji tasarrufu dikkate alınmıştır. Yapılan analizde geliştirme, tasarım, bakım dahil çevresel etkiler gözönüne alınarak bu sonuca ulaşılmıştır [16].

Geleneksel çatı sistemleri ile karşılaştırıldığında yeşil çatı sistemlerinin kurulum maliyeti oldukça yüksektir. Ancak teknolojinin gelişimi, uzun sürelerle kadar dayanıklılık, bakım ve onarım maliyetlerinde düşüş ilk yatırım maliyetlerini amorti edebilecek hem çevresel alanda hem de ekonomik anlamda faydalar sağlayacaktır. Yeşil çatıların ömrü geleneksel çatılara göre daha uzundur. Yeşil çatılar çatı membranının ömrünü geleneksel çatılara göre iki kat arttırabilmektedir. Bu doğrultuda yeşil çatılar, çatı ömrünün uzaması, yalıtım ve enerji verimliliği, kentsel tarım yapılabilirliği gibi özellikleri ile hem sosyal hem ekonomik açıdan önemli faydalar sağlamaktadır [17].

Yeşil çatılar elektromanyetik radyasyonu soğurur. 10 cm toprak katmanı olan yeşil çatı elektromanyetik ışıınımı %99 oranında azaltmıştır [11]. Yapının UV ışınlarından korunmasını sağlar. Geleneksel çatılarda yüksek ısı farkları ve -20 ile +80 arasındaki genişleme aralığına karşılık, 10 cm'lik bir yeşil çatı günlük ve mevsimsel ısı farklarının azaltılmasına olanak sağlayacaktır. Bu durumda ısı farkları nedeniyle yapının malzemelerinde meydana gelecek hasarın önüne geçilecek ve ömrünü uzatacak olup, bakım-onarım giderlerini düşürecektir.

Yeşil çatılar yapıyı güneşin zararlı UV ışınlarından korur, yapı düşük veya yüksek sıcaklıklara daha az maruz kalır. Böylece su yalıtım sisteminin ömrünü uzattığı için yenileme maliyetinin azalmasını sağlar. Yeşil çatı sistemindeki bitki toprağı, ısı yalıtımına katkıda bulunduğu için enerji maliyetlerinde de azalma olcaktır. Ayrıca yeşil çatı sistemleri yağış sularının önemli bir miktarının buharlaşma sayesinde tekrar doğaya dönmesini sağlar ve bu sayede kanalizasyon şebekelerine akış miktarını %10-50 oranında azaltır. Drene edilecek su miktarındaki azalma kanalizasyon yükünü ve merkezi arıtma tesisine gelen debi yükünü hafifletir, drenaj maliyetini azaltır [11].

3.6. Yeşil Çatı Yaklaşımında Olumsuz Etkiler

Yeşil çatıların sahip olduğu avantajların yanısıra, kurulumu için kullanıcıların şüphe duyacakları bir takım olumsuz etkiler olabilmektedir. Yeşil çatılar her ne kadar doğal ortam oluşumuna katkı sağlıyor olsalar da, bu ortam insan eliyle inşa edilmiş, sonradan oluşturulan bir yeşil ortam olmaktadır. Barındıracağı yaban hayvanları, böcek gibi popülasyonun bina içlerine girme durumları söz konusu olabilmektedir [18].

Çatıların bitkilendirilmesi için gerekli olan malzemelerin ve bitkilerin çatıya ulaştırılması da problem olarak gözlenmektedir. Yüksek binalarda kurulacak olan yeşil çatılar için, malzemelerin çatıya ulaşımında asansör, vinç gibi araçların kullanımı gerekmektedir.

Kullanıcılar açısından sorun olabilecek bir diğer konu da sistemlerin taşıyacağı su yükü dolayısıyla yapı içlerine su sızıntılarının olmasıdır. Bu durum kurulumda çok iyi yalıtım yapılmasının ve iyi malzemelerin kullanılmasıyla önüne geçilebilecek problemlerdendir. Bu nedenle kurulum aşamasında çatı membranın taşıma yükünün hesabı ve kullanılacak membran malzemesinin seçimi önemlidir. Çünkü toprak katmanı ve tutulacak su kütlesi binanın yapısına ek yük oluşturacaktır. 2016 yılında Hong Kong'da bir spor salonunun yeşil çatısı ağırlık nedeniyle çökme yaşamıştır [18].

Yeşil çatı sistemlerinin yüksek kurulum maliyetleri de kullanıcı için önemli dezavantajlardan biridir. Yeşil bir çatının kurulumu geleneksel çatının iki katı kadar maliyetli olabilmektedir [18].

4. TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA YEŞİL ÇATI ÖRNEKLERİ

4.1. Türkiye'de Yeşil Çatı Örnekleri

Türkiye'de 2003 yılında uygulamaları başlayan yeşil çatılar, üzerinde her türlü süs ve tarımsal bitkinin yetiştirilmesine olanak sağlamakta, bahçe keyfini çatılara taşımaktadır. Kentsel yapılaşma sonucunda kaybolan yeşil alanlar için muadil olarak görülen yeşillendirilmiş çatılar sürdürülebilir mimarinin temel öğelerinden biri olarak kabul görmektedir. Avrupa'da yaygın olarak uygulanmakta olan yeşil çatılar ülkemizde ise yeni bir eğilim ile inşaat sektöründe tercih edilebilir hale gelmektedir. Türkiye'de sektöre 2003 yılında giren yeşil çatılara duyulan ilgi her geçen yıl daha fazla artmaktadır.

Yeşil çatıların en sık uygulandığı ülkelerden bir olan Almanya'nın sadece Stuttgart şehrinde 2 milyon m²'lik uygulama bulunurken Türkiye genelinde bu rakam 600.000 m²'yi bulmaktadır [19].

Avrupa'nın en büyük yeşil çatısı Şekil 4.1'de görülen İstanbul Zorlu Center, 72 bin m²'lik yeşil alana sahip olmakla beraber, 200'ü aşkın bitki ve 68 farklı ağaç türü ile bu alanda önemli bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 4.1: Zorlu Center.

Büyükçekmece Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü, ilçe genelindeki park ve yeşil alanların doğal yeşil dokusunu bozmamak için, bu bölgelerde yapıların çatılarına doğal bitkiler dikmektedir. Bu kapsamda Büyükçekmece genelindeki park ve yeşil alanların doğal dokusunun bozulmaması için yapıların çatılarının bitkilendirilmesi amaçlanmaktadır. Uygulamaya ilk olarak Büyük Atatürk Parkı'ndan başlanmıştır [19].

Türkiye'de ilk olarak güneş panelleriyle yeşil çatı uygulaması beraber bir kamu binasında kurulmuştur. Şekil 4.2'de görülen Nevşehir'de bulunan Türkiye'nin ilk yeşil kamu binası olma özelliği kazanan H. Avni İncekara Fen Lisesi ve yeni yurt binasında uygulanan sistemle, çevreci özellikler taşıyan yeşil çatı sistemiyle bitkiler yetiştirilirken, çatının bir bölümünde de fotovoltaik güneş panelleriyle 13.5 kW'lık elektrik üretimi hedeflenmiştir. Üretilen enerjinin fazlası devlete satılarak gelir elde edilmesi planlanmıştır. Ayrıca yine binada uygulanan yüksek ısı yalıtım sistemleri ile de doğalgaz kullanımı en aza indirilerek karbondioksit salınımının önüne geçilecektir [19].



Şekil 4.2: Nevşehir-H. Avni İncekara Fen Lisesi.

Türkiye'nin ilk LEED Gold sertifikasına sahip yeşil binası Şekil 4.3'de görülen Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan Siemens fabrikasıdır [20]. Isı adası etkisinin azaltılması ve yeşil alanların korunmasına yönelik standartların üzerinde açık alan bırakılmış ve bu alanlarda su tüketimi az olan yerel bitkiler ve ağaçlar ile intensif yeşillendirme planı uygulanmıştır [21].



Şekil 4.3: Siemens Gebze Fabrikası.

Şekil 4.4'de görülen, 15 Ağustos 2007 tarihinde İstanbul Anadolu yakasında hizmete açılan Meydan Alışveriş Merkezi de yeşil çatıya sahip ilk örneklerdendir.

Alışveriş merkezi, çevresindeki yapılaşma arasında yeşil bir görüntüye sahip olup, kullanıcılar için sosyal alan da oluşturmaktadır. Bu çatı ayrıca üzerinde rampa ve merdivenlerden oluşan yaya yollarına sahiptir [22], [23].



Şekil 4.4: Meydan AVM .

Yeşil çatı sisteminin uygulandığı bir başka örnek Şekil 4.5’de görülen Küçükçekmece Belediye Binasıdır. Binanın üst çatısı, bakım gerektirmeyen örtücü bitkiler ile kurulmuştur. Olumlu estetik görüntüsünün yanısıra, binaya akustik ve ısı yalıtımı sağlaması, binadan atmosfere ısı yayılmasını engellemesi ve yağmur suyunu toplamasıyla katkı sağlamaktadır [24].

Türkiye’de uygulanmış olan yeşil çatılar ve kapladıkları alanlar Tablo 4.1’de görülmektedir [23].



Şekil 4.5: Küçükçekmece Belediye Binası.

Tablo 4.1: Türkiye’de Yeşil Çatı Örnekleri ve Alanları.

Yeşil Çatı Örnekleri	Alan (m ²)
Kanyon Alışveriş Merkezi	4500
M1 Meydan Alışveriş Merkezi	30000
Bayrampaşa İKEA Otopark Üzeri	3500
Ortaköy Four Seasons Hotel	1000
Ankara Mesa Hastanesi	1000
Turkcell Ar-Ge Binası	2500
Nevşehir H. Avni İncekara Fen Lisesi Yurt Binası	650
Zorlu Center	60000
Savoy/Ulus	16500
Küçükçekmece Belediye Binası	3600

4.2. Dünya’da Yeşil Çatı Örnekleri

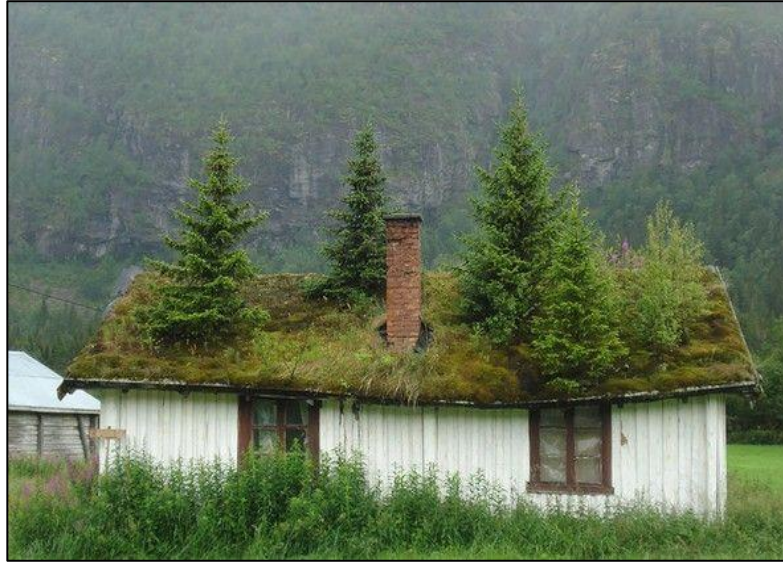
Avrupa ülkeleri özellikle Almanya yağmursuyu yönetimi için uzun zamandır yeşil çatı teknolojisini kullanarak binalarda enerji kullanımında önemli tasarruflar sağlamaktadır. Almanya, yeşil çatıların faydalarının dökümente edilmesi, teknoloji ve program avantajları ile politikaların geliştirilmesinde lider konumdadır. 1970’li yıllarda Almanya’da yeşil çatıların çevresel faydalarının araştırılması başlanmış olup aynı yıllarda Fransa ve İsviçre’de de popülaritesi artmaya başlamıştır. 1990’lı yıllarda Kanada, Amerika, Danimarka, Singapur, Avusturya gibi ülkelerde yayılmaya başlamıştır. Japonya’da ilk olarak bina sakinleri için uygun alan sağlamak amacıyla inşa edilmiş olsalar da soğutma etkisi, kentsel ısı adası etkisini azaltmak ve sürdürülebilir binaları teşvik etmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır [7], [25]. İsveç’te ise estetik kaygılarla inşa edilmişlerdir, yağmur suyu akışını azaltmada önemli etkileri olduğu gözlenmiştir. Günümüzde İsveç’te kurulan yeşil çatılı geniş alanlar dikkat çekmeye başlamıştır [25].

Yeşil çatılar ayrıca bahçe mimarisi olarak da yer tutmaktadır. Kuzey Avrupa ülkelerinde özellikle Norveç’te daha çok ısı yalıtımını arttırmak amacıyla yeşil çatılar kullanılmaktadır. Modern çağ boyunca yüzyıllar boyunca nadir kullanımından sonra 20. yüzyılda İsviçreli mimar Le Corbusier tarafından çağdaş mimariye dahil edilmiştir. Ayrıca Amerikan mimarlar, yapıları ve doğayı bütünleştirmek için bir yöntem olarak önermişlerdir [16].

İskandinav ülkelerinde geleneksel mimarinin önemli bir parçası olan yeşil çatılar görsel olarak estetik görüntü sağlamaktadır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de görüldüğü üzere İskandinav ülkelerinde çimen kaplı yeşil çatılar önem teşkil etmekte olup, her sene İskandinav Yeşil Çatı Enstitüsü tarafından en iyi yeşil çatı seçimi yapılmaktadır [19].



Şekil 4.6: İskandinav Ülkelerinden yeşil çatı örnekleri.



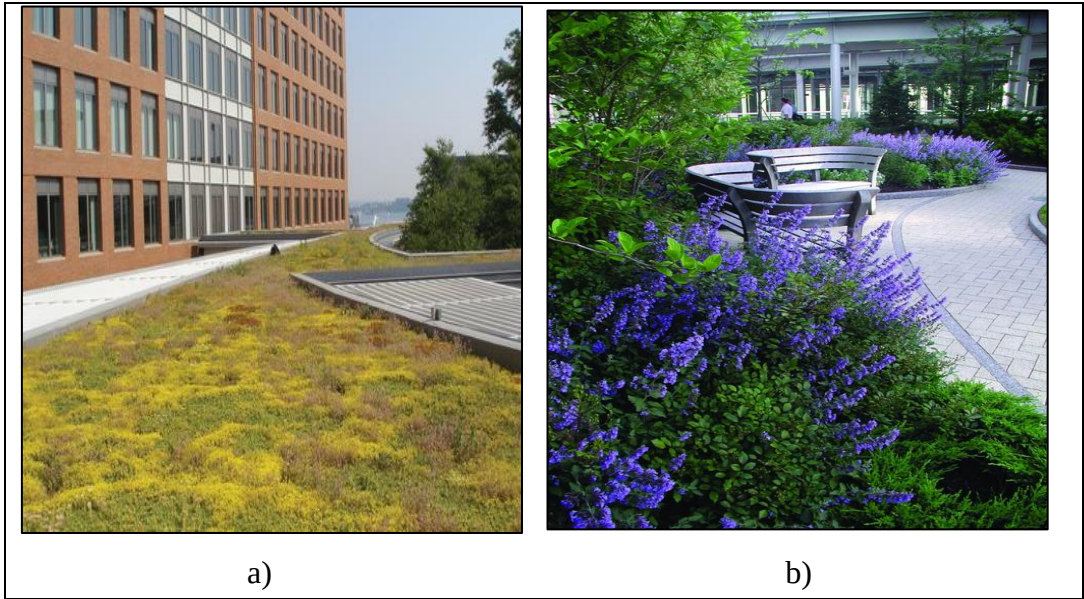
Şekil 4.7: İskandinav Ülkelerinden yeşil çatı örnekleri.

Almanya Hamburg’da yapılan uygulamalarla şehir merkezindeki nüfusun giderek artması ve sel risklerinin yüksek olması problemi sonucu yeşil çatılara yönelim artmıştır. Hamburg, 2015 yılında daha fazla yeşil çatı oluşturmak için 3 milyon Euro bütçe ayırarak 5 yıl süresince şehirdeki yeşil çatı alanlarının oranını arttırmayı hedeflemektedir. Ayrıca yapılan uygulamalarla şehir ısısının 3-4°C azaldığı gözlenmiştir [19]. 8 Nisan 2014’te Hamburg siyasileri tarafından alınan kararla, şehirde yeni yapılan ve yenilenen uygun tüm çatıların en az %75’inde yeşil çatı stratejisi benimsenmiştir. Böylece şehirde yeni sosyal kullanım alanları

oluşturulmuş olacaktır. Ayrıca, atıksu için yeni ücretlendirme getirilerek yeşil çatı uygulaması olan bina sakinleri için %50'ye varan indirimli tarife uygulayacaktır [26].

Paris Belediyesi 2014-2020 dönemi için 1 milyon metrekare yeşil çatı hedefi belirlemiş olup yeşil çatı ve duvarların artması için yeni stratejiler uygulamaya koymuşlardır. Bu alanın 1/3'lik kısmının kentsel tarım için kullanımı hedeflenmektedir. Paris Belediyesi, ekonomik kalkınma, üretim, lojistik, atık yönetimi gibi hedeflerle kentsel tarımı geliştirmeyi amaçlamaktadır [26].

Boston Dünya Ticaret Merkezi'nin 2700 m²'lik bir bölümü yeşil çatı ile kaplanmış olup yeşil çatının metrekaresi ortalama 60 Dolar'a yapılmıştır. Şekil 4.8.a) ve Şekil 4.8.b)'de görülen alt ve üst kat olmak zere iki katta tasarlanan yeşil çatının alanı toplam yüzey alanının %50'sini oluşturmaktadır. Üst kat sulanmayan ekstensif yeşil çatıdan oluşurken alt katta intensif yeşil çatı uygulaması yapılmıştır [27].



Şekil 4.8: a) Boston Dünya Ticaret Merkezi üst kat, b) Boston Dünya Ticaret Merkezi alt kat.

Şekil 4.9'da San Francisco'da bulunan California Bilim Akademisi Binası, Şekil 4.10'da İsviçre Lozan'da bir metro istasyonu, Şekil 4.11'de Chicago Belediye Binası, Şekil 4.12'de Singapur'daki Nanyang Teknoloji Üniversitesi ve Şekil 4.13'de çok katlı bir otopark, Şekil 4.14'de Kanada'da bulunan Vancouver Kültür Merkezi yeşil çatılara örnek olarak gösterilebilir [28].



Şekil 4.9: San Francisco, Californiya Bilim Akademisi Binası.



Şekil 4.10: İsviçre Lozan'da bir metro istasyonu.



Şekil 4.11: Chicago Belediye Binası.



Şekil 4.12: Nanyang Teknoloji Üniversitesi Sanat Tasarım ve Medya Okulu.



Şekil 4.13: Singapur’da çok katlı bir otopark.



Şekil 4.14: Vancouver Kongre Merkezi.

5. YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Yeşil çatıların çevresel etkileri; enerji, ısı, hava kirliliği, gürültü, su yönetimi ve estetik görüntü gibi başlıklar altında incelenebilir. Şekil 5.1’de etkilerin şematik gösterimi mevcuttur [29].



Şekil 5.1: Yeşil çatıların çevresel etkileri.

5.1. Enerji Tüketimine Etkisi

5.1.1. Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisi

Ülkemizde enerjinin %30’u, toplam elektrik tüketiminin ise yaklaşık %43’ü binalarda kullanılmaktadır. Enerji tüketiminde ilk sırada sanayiler olup ikinci sırayı binalar almaktadır. Binalarda tüketilen enerjinin %65’i ısıtma-soğutma, sıcak su ve havalandırma sistemlerinde, %20’si aydınlatmada, %15’i beyaz eşya ve elektronik eşyalarda kullanılmaktadır. Isınma amaçlı kömür kullanımı ülkemizde 14 milyon ton/yıl civarındadır. Bu amaçla en yüksek tüketim son yıllarda doğalgazdan olup,

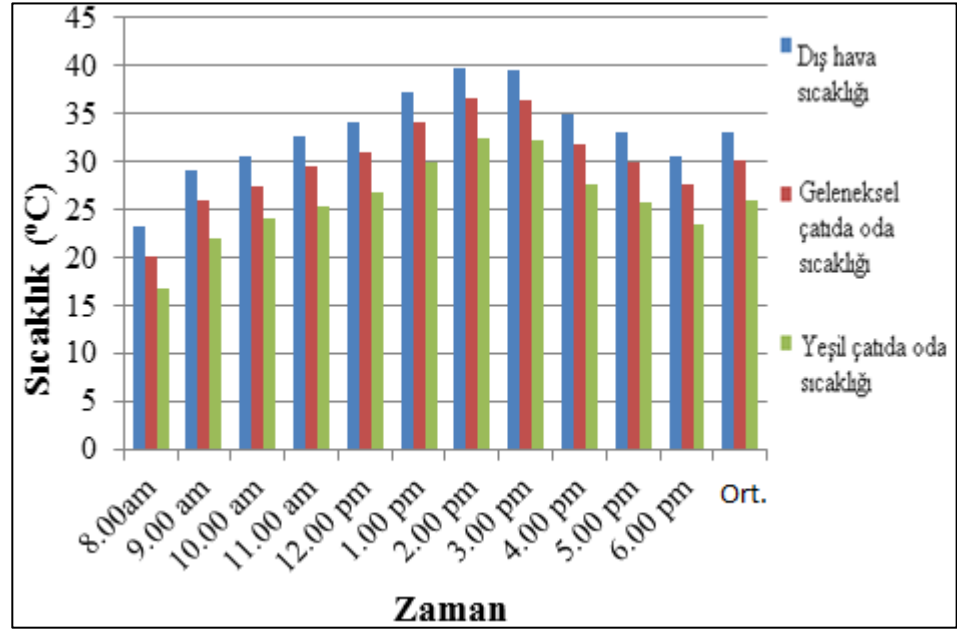
güneş enerjisi, jeotermal gibi yenilenebilir enerjinin tüketimi de yaygınlaşmaktadır [6].

Türkiye’de çevrenin korunmasının ve enerji kullanımının devlet politikalarına yansması ile binalarda tüketilen enerjinin kontrolü ve izlenmesi amaçlı yasal düzenlemeler yapılmaktadır. Örnek olarak 2009 yılında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği verilebilir. Bu yönetmeliğe göre binaların ısıtma ve soğutma sistemleri ile ilgili uygulanması gereken standartlar getirilmiştir. Bu standartlar ile binaların yakıt tüketimine göre de enerji kimlik belgeleri düzenlenmesi zorunluluk haline getirilmiştir. Yine yanı sıra 2011 yılında yayınlanan İklim Değişikliği Eylem Planı 2011-2023 ile 2023 yılına kadar en az 1 milyon binada ısı yalıtımı ve enerji verimliliği sağlanması ile yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Ayrıca enerji kullanımında da kamuya ait yapılarda %10-20 oranında azalma amaçlanmıştır [6]. Yapılan bu yasal düzenlemeler ile beraber inşaat sektöründe gerek yeşil bina tanımı yaygınlaşacak gerekse de yeni uygulamalar ile yeni iş kapıları açılacak ve sürdürülebilir mimari ile beraber sürdürülebilir çevre yaklaşımı ve bilinci yer etmeye başlayacaktır.

Son yıllarda ekolojik, sürdürülebilir bina tasarımlarında sıklıkla uygulanmakta olan yeşil binaların enerji performansına katkılarıyla ilgili hem ülkemizde hem de yurtdışında bilimsel çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde yeşil çatıların farklı iklim bölgelerinde ofis binalarının ısıtma ve soğutma yüklerine etkisine yönelik analizler yapılmıştır. Ankara ve Adana’da yapılan bir çalışmada 100, 500, 1000, 3000 ve 5000 m²’lik ofis binası özellikli örneklemeler hazırlanmıştır. Standart teras çatı ile ekstensif yeşil çatı sistemleri incelenerek karşılaştırma yapılmıştır. Farklı sıcaklıklara sahip iki şehirde bir yıllık periyotta örneklemeler alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde yeşil çatılı örneklerin standart teras çatılı örneklerle göre her iki bölgede de bina enerji performansına olumlu katkı yaptığı gözlenmiştir. Yeşil çatı sisteminin standart çatı sistemine göre sıcak bölgelerde ısıtma yükünde %10 daha avantajlı olduğu gözlenirken soğuk bölgede bu oran %3 bandındadır. Soğutma yükünde ise her iki bölgede %5 avantajlı olduğu sonucu gözlenmiştir [30].

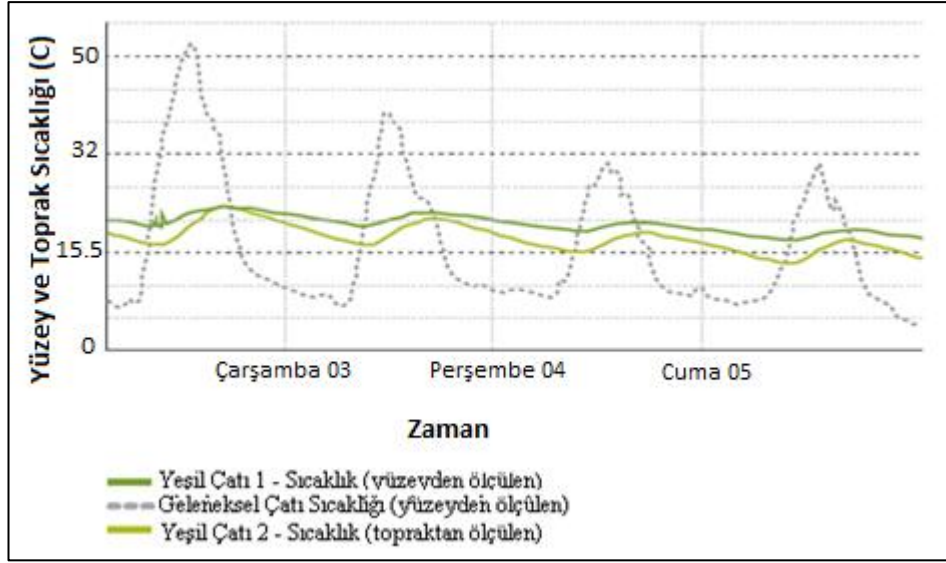
Standart çatılarda taş, asfalt ve beton yüzeylerin gün boyunca güneşten gelen ısıyı emerek gece de yaymasından dolayı geceleri hava sıcaklığının normalden daha üst seviyelere çıktığı görülmektedir. Bunun sonucu “kent ısı adaları” meydana gelmektedir. Şekil 5.2’de gün içerisinde geleneksel çatı ile yeşil çatılar arasındaki sıcaklık farkı gösterilmektedir [11]. Yeşil çatı sistemlerindeki bitki örtüsü, yapıda

doğal havalandırma sağlayarak yaptığı gölge etkisiyle havanın soğumasına yardım eder ve yapının daha rahat nefes almasına olanak sağlar. Yeşil çatılardaki bitki örtüsü sağladığı bu gölge etkisiyle ısı adalarının oluşumunun önüne geçmektedir. Ayrıca mevcut toprak tabakası da yapıda yalıtımı sağlamaktadır. Bu durum yapıların ısıtma gereksinimlerini ve ısı kayıplarını %50 oranında azaltabilir [11].



Şekil 5.2: Geleneksel ve yeşil çatıda günlük ortalama sıcaklık ölçümleri.

2008 yılında California Hillsborough kentinde yapılan bir çalışmada sonbahar aylarında yeşil çatı ve geleneksel çatı olan binalarda çatı yüzeyi sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda yeşil çatılarda farklı günlerde sıcaklıklarda fazla dalgalanma gözlenmezken geleneksel çatıda gün içerisinde sıcaklıklarda pik yaptığı gözlenmiştir. Şekil 5.3’de ölçüm sonuçlarının grafiği gösterilmektedir [1].



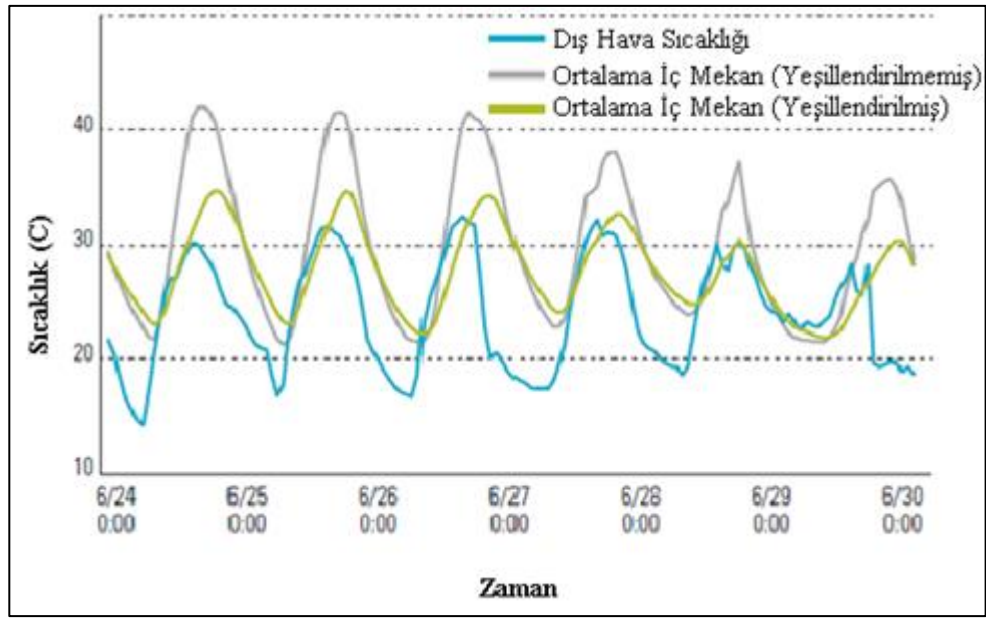
Şekil 5.3: California Hillsborough, geleneksel çatı ile yeşil çatılar arasında yüzey sıcaklığının karşılaştırılması

Sonuçlar çeşitli olsa da, yeşil çatıların çatının altındaki zeminde soğutma için gereken enerjiyi %50 oranında azaltabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Güney Californiya’da yapılan çalışmada, mevcut çatıların %50’sinde yeşil çatılar kurulusa, bina soğutma enerjisindeki azalmadan kaynaklı enerji tasarrufu 1.6 milyon megawatt/sa olabileceği gözlenmiştir. Bu da elektrik giderlerinde 211 milyon \$’lık bir azalma ve seragazi emisyonlarında 465 bin ton CO₂ eşdeğeri kadar düşüş demektir. Yeşil çatıların sadece yapılacak yeni inşaatlarda planlanması bile 2035 yılına kadar yılda 1 milyon megawatt/sa’lık bir tasarruf ve 288 bin ton CO₂ eşdeğerine kadar azalmaya neden olabilir. Mevcut çatıların %50’si yeşil çatı kurulusa, yağmursuyu akışı yılda 144000 m³ üzerinde azalacaktır [1].

Birleşik Devletler genelinde kullanılan elektrik enerjisinin yaklaşık %20’si soğutma amaçlıdır. Californiya’da merkezi bir klima sistemi ile konut soğutma amaçlı ortalama yılda 766 kW elektrik kullanılmaktadır. Bu da yaklaşık 217 kg CO₂ emisyonu demektir. New York’da yapılan bir araştırmada yeşil çatılar gündüz sıcaklığının en yoğun olduğu zamanlarda geleneksel çatılarda 33 °C daha serindir. Yeşil çatılar bu nedenle iç mekan soğutma yükünün azaltılması, elektrik tasarrufla maliyetin azalması ve sera gazı emisyonlarının azalması için önemli bir fırsattır. Enerji tasarrufu birçok değişkene bağlı olmakla beraber yaz boyunca yeşil çatılar soğutma için kullanılan enerji ihtiyacını geleneksel çatılara oranla günlük ortalama %75 oranında azaltır. Genel olarak, yeşil çatının soğutma için elektrik kullanımına

etkisi, çatı yüzeyinin hemen altındaki katta en yüksektir, diğer katlara doğru azalır [1].

Pensilvanya’da yapılan bir çalışmada hava sıcaklığı ile yeşil ve geleneksel çatıda yapı iç ortam sıcaklık karşılaştırması yapılmıştır. Şelik 5.4’de görüldüğü üzere Haziran ayında alınan ölçümlerde yeşil çatılı binalarda iç ortam sıcaklığı dış hava sıcaklığı ile yakın giderken geleneksel çatılı binalarda iç ortam sıcaklığının daha yüksek dalgalanmalar yaptığı gözlenmiştir [1].



Şekil 5.4: Pensilvanya, geleneksel çatı ve yeşil çatıda iç ortam sıcaklığı ile hava sıcaklığı karşılaştırmaları

2001 yılında Japonya’da Onmura tarafından yapılan bir çalışmada 3 katlı bir binada, çatı bahçelerindeki buharlaşmalı soğutma etkisi araştırılmıştır. Araştırmalar gündüz saatinde ısı akısının azaltılmasıyla çatı yüzey sıcaklığının 6-30°C arası azaldığını doğrulamıştır [31].

Termal özelliklerin ve enerji performansının matematiksel bir yaklaşımla ayrıntılı analizi 2011 yılında Niachou tarafından yapılmıştır. Çalışma Yunanistan’ın başkenti Atina’da bir otelde yapılmıştır. Araştırma sonuçları bir yıl boyunca en büyük enerji kaybının %37 oranında yalıtılmamış binada olduğunu, %4 kadar orta yalıtımlı binada ve %2 kadar da iyi yalıtımlı binada olduğunu göstermiştir. 2003 yılında Theodore tarafından enerji örneklemleri bir binada çalışma yapılmıştır. Sonuçlar Selanik’teki bir inşaatın alınan gerçek verilerle doğrulanmıştır. Ekili bir

çatının performansını etkileyen etmenler araştırılmış, bağıl nemin yeşil çatının soğutma potansiyelini etkileyen en önemli iklim faktörü olduğunu göstermiştir [31].

2003 yılında Singapur'da Wong tarafından düşük katlı ticari bir binada saha çalışması yapılmıştır. Çalışmalarında maksimum 30°C'lik bir yüzey sıcaklığı düşüşü elde edilmiş ve bu sıcaklık düşüşü bitki türleri ve bitki yoğunluğu üzerinde farklılık göstermiştir [31].

İtalya'nın Vincenzo Hastanesi tarafından kurulan yeşil çatının termal performansı 2005 yılında Lazzarin tarafından incelenmiş ve analiz edilmiştir. Kuru dönemlerde yeşil çatı yalıtımının geleneksel çatıya kıyasla alttaki odaya giren ısıda yaklaşık %60 oranında tasarruf yaptığı gözlenmiştir [31].

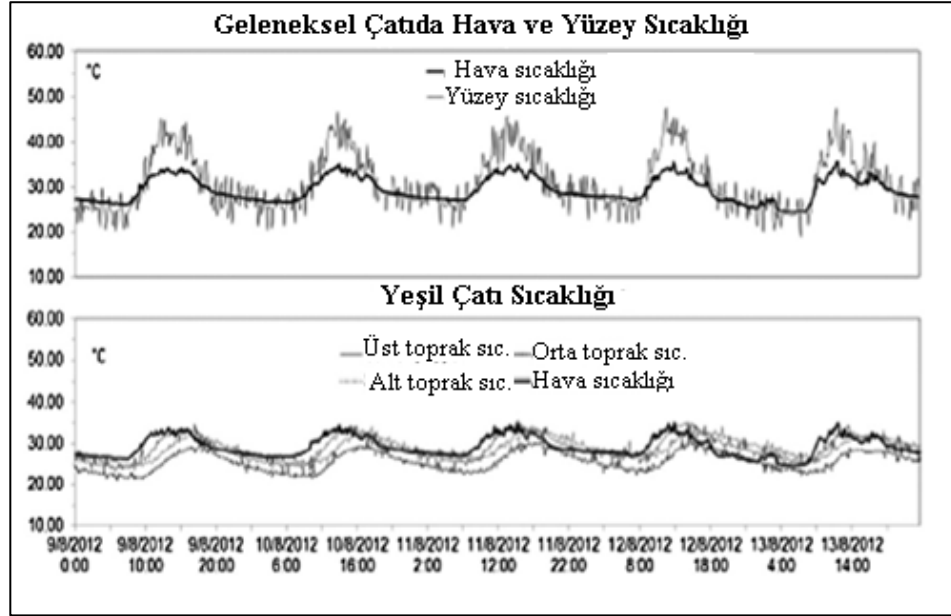
Binalarda yeşil çatının soğutma potansiyeli ile solar termal gölgeleme 2005 yılında Kumar tarafından incelenmiştir. Model Hindistan'da benzer yeşil çatıdan elde edilen verilerle doğrulanmıştır. Çalışmaya göre yeşil çatılar solar termal gölgeleme ile birleştirildiğinde iç hava sıcaklığını geleneksel çatılara göre ortalama 5.1°C düşürmüştür [31].

Yeşil çatılar binaların enerji verimliliğini arttırmak için biyoklimatik bir yol olarak araştırılmıştır. Parizotto, 2011 yılında Brezilya'da tekli bir konutun yeşil çatı termal performansını deneysel yolla incelemiş, çalışmaları yaz ve kış aylarında gerçekleştirmiştir. Sıcak aylarda yapılan araştırmada yeşil çatılarda ısı kazanımı seramik ve metal çatılara kıyasla %92-97 oranındayken, ısı dağılımı %49-20 oranında artış göstermiştir. Soğuk aylarda %70-84 oranında ısı kazanımı sağlarken ısı kaybını %44-52 oranında düşürmüştür. Çalışmalardan elde edilen verilere göre; yeşil çatılar, ılıman iklim şartlarında binaya termal olarak fayda ve enerji verimliliğinde katkı sağladığını göstermiştir [31].

Yeşil çatı için uygun bitki seçimi üzerine deneysel bir çalışma Liu tarafından yapılmıştır. Deney Tayvan'da bulunan 8 katlı bir binanın en üst katında yapılmıştır. Sonuçlar sıcaklık düşüşünün bitki boyuyla beraber azaldığını ve yeşil renk yapraklı bitkilerin çatı üstü ısı yalıtımında daha etkili olduğunu göstermiştir. Kanada'da yapılan çalışmada Liu ve Baskaran, günlük yüzey sıcaklığı değişiminin geleneksel çatıda 45°C iken yeşil çatıda 6°C olduğunu göstermişlerdir [16].

Yunanistan'da yapılan bir çalışmada yeşil çatıların kapladığı alana bağlı olarak iç sıcaklıkta düşüş ve soğutma için kullanılan enerjide %2-48 aralığında azalma sağladığı görülmüştür [16].

Singapur’da yapılan bir çalışmada, geleneksel ve yeşil çatının sıcaklık değişimleri araştırılmıştır. Analizde yeşil çatıların hava sıcaklığına göre yüzey sıcaklığı değişimini azaltmaya ve topraktaki farklı seviyelerde sıcaklığı dengelemeye yönelik olumlu etki gösterdiği görülmüş, Şekil 5.5’de vurgulanmıştır [16].



Şekil 5.5: Geleneksel çatı ile yeşil çatı arasındaki yüzey sıcaklıkları, Singapur.

Olivieri vd. tarafından yaz mevsiminde Akdeniz kıyı kesiminde yapılan çalışmada, yeşil çatıda bitki yoğunluğu arttıkça geleneksel çatıya kıyasla %60 oranında soğutma yükünde tasarruf sağladığı gözlenmiştir [16].

İngiltere Londra’da yapılan bir çalışmada hava sıcaklığının geleneksel ve yeşil çatıda iç cepheye olan etkisi incelenmiştir. Tablo 5.1’de yaz ve kış aylarında ölçülen ortalama sıcaklıklar verilmiştir [32].

Tablo 5.1: Geleneksel Çatı ve Yeşil Çatılarda Ortalama İç Yapı Sıcaklıkları.

	Yaz	Kış
Hava Sıcaklığı	18.4 °C	0 °C
Geleneksel Çatıda İç Yapı Sıcaklığı	32 °C	0.2 °C
Yeşil Çatıda İç Yapı Sıcaklığı	17.1 °C	4.7 °C

2011 yılında Hong Kong’da Jim tarafında tren istasyonu binasında ekstensif bir yeşil çatının termal analizi ve performansı araştırılmıştır. Çalışma 2 yılda farklı hava koşullarında yürütülmüş, alınan ölçümlerde bitki örtüsünün sıcaklığının yüzey sıcaklığına oranla 3.4°C yüksek olduğu görülmüştür. Solar radyasyon ve bağıl nem yeşil çatının termal etkisinde en önemli meteorolojik faktörlerdendir. İstasyon binasında soğutma yükünü güneşli günlerde 0.9 kWh/m², bulutlu günlerde 0.57 kWh/m², yağmurlu günlerde ise daha hafif oranlarda düşürebildiği gözlenmiştir [31].

2011 yılında Gabriel Perez tarafından Lleida Üniversitesi’nde yapılan çalışmada, drenaj tabakasında gözenekli taş yerine geri dönüştürülmüş kauçuk kullanılmıştır. Ekstensif yeşil çatılarda Akdeniz ikliminde yaz aylarında enerji tasarrufu yapmak için iyi bir araç olabileceği ve ekstensif yeşil çatılarda drenaj tabakası olarak poroz taş yerine kauçuk parçalarının kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna varmıştır. Böylece üretiminde büyük miktarda enerji gerektiren doğal malzemelerin tüketimi azalmış olacaktır. Dahası lastik kaynaklı atık kauçuk sorununa bir çözüm sağlanmış olacaktır [31].

2012 yılında Permpituck, Tayland’daki çatı bahçelerinin enerji tüketimi performansını incelemiştir. Toprak derinliğini değiştirerek ısı performans gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre 10 cm toprak derinliğine sahip çatıda geleneksel çatıya kıyasla %46.24 oranında daha az ısı transferi sağlanırken, 20 cm derinliğindeki toprak ile %93.96 oranında daha az ısı iletildiği görülmüştür [31].

Sailor vd. tarafından 2011 yılında yapılan bir laboratuvar çalışmasında termal iletkenlik, hacimsel ısı kapasitesi ve ısı dağılımı ölçülmüştür. Sonuçlar, farklı bileşimlerdeki 12 adet yeşil çatı örneğinde termal özelliklerin büyüme ortamı tasarımının bir fonksiyonu olarak önemli ölçüde farklılaştığını göstermiştir. Numunedeki nem içeriği arttırıldığında termal iletkenlikte önemli bir artış meydana gelmiştir. Ayrıca değişik mevsim şartları için kurulan yeşil çatı sistemlerinin nemli topraklardaki termal iletkenliği %30-40 arttırabildiği bulunmuştur [31].

2011 yılında Paulo Cesar Velasco vd. tarafından yeni bir deney olarak “Soğuk levha” adı verilen bir aparat tasarlanmıştır. Yeşil çatı için ısı ve kütle transfer süreçleri ölçülmüş, toplanan deneysel veriler, buharlaşmanın bitkiye ve çevresel koşullara bağlı olarak tüm ısı akısının yoğunluğunu kontrol ettiğini göstermiştir. Ayrıca bu laboratuvar koşullarında bitkilerle yalıtılmış yeşil çatı numunelerinin bitkisiz yeşil çatılara oranla ısı akısında ortalama %25’lik bir azalma göstermiştir [31].

Tahir Ayata vd. 2011 yılında laboratuvar ortamında yaptığı çalışmada ısı akısının ölçülmesi için farklı çevresel koşullar yaratılmıştır. Bu deneysel kurulum, yeşil çatı ile test edilen örneklerin etrafında serbest ve zorlanmış konveksiyon (ısı yayma) koşulları oluşturmak için farklı rüzgar hızlarında (0-3 m/s) başarıyla kullanılmıştır. Ayrıca yeşil çatı kurullarında konvektif ısı transferinin hesaplanması için temel bir model geliştirilmiştir. Bu Newton'un soğutma yasasının uyarlanmış bir şekli olup kalibre edilmiş ve farklı veri setleriyle doğrulanmıştır [33].

Olası bir enerji tasarrufunu ölçmek için tek katlı bir konutta yeşil çatı sistemi simule edildiği çalışmada, simülasyon sonuçları sıg tabakaların temel olarak yılın yaz döneminde bina enerjisini koruduğunu göstermiştir. Taş yünü olan ve daha derin yüzeyler önemli soğutma ve ısı yalıtımı özelliği göstermiştir [31].

Yeşil çatıların dinamik termal davranışının matematiksel bir modeli 1998 yılında Barrio vd. tarafından çalışılmıştır. Yaz aylarında yeşil çatıların soğutma potansiyelini değerlendirmek için çeşitli parametrik duyarlılık analizleri yapılmış ve yeşil çatılar için en önemli tasarım parametreleri incelenmiştir. Bunların arasında en önemlileri, yatay yayılım gösteren büyük yapraklı bitki seçimi ve hafif toprak seçiminin ısı iletkenliği ve ağırlığı azaltmasıdır. Bu çalışmanın temel sonucu yeşil çatıların yalıtım malzemesi olarak davranması ve ısı akışını çatı boyunca azaltmasıdır [31].

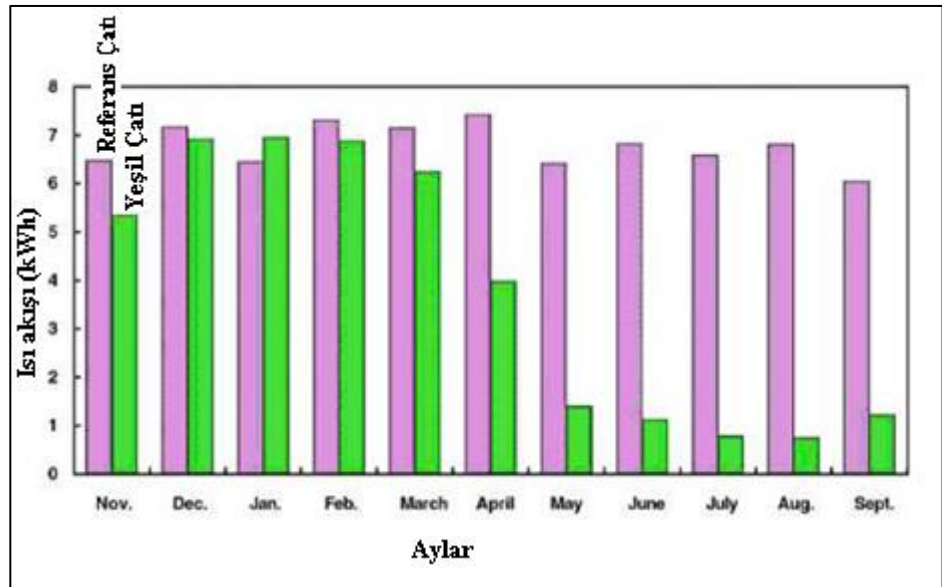
Termal özelliklerin ve enerji performansının matematiksel yaklaşımla ayrıntılı bir analizi Niachou vd. tarafından 2001 yılında yapılmıştır. Analiz iki aşamadan oluşmuştur. Birinci aşama boyunca yeşil alanın bulunduğu iç ve dış mekanlarda yüzey ve hava sıcaklığı ölçümleri yapılmış olup ikinci aşamada enerji tasarrufu incelenmiştir. Sonuçlarda yalıtılmamış binalar için bir yıllık dönemde en yüksek enerji tasarrufu %37 olarak bulunmuştur [31].

2011 yılında C.Y.Jim vd. tarafından yapılan teorik analizlerde Hong Kong'daki yaklaşık 1400 kamu binasında yeşil çatının kurulması ile yaz aylarında 43.9 terajoule güneş enerjisinin binalara nüfuzunun önlenileceği gösterilmiştir. Bu da elektrik tüketiminde önemli bir düşüş anlamına gelmektedir [31].

Atina'da iki katlı bir ofis binasında yapılan bir çalışmada Mayıs ve Eylül ayları arasında yeşil çatının binanın üst katında soğutma yükünü ayda %27-58 oranında azaltırken giriş katında %15-39 oranında azaltmıştır. Atina'da başka bir binada yapılan benzer incelemede yeşil çatı kurmanın soğutma yükünü %11 oranında düşürdüğü görülmüştür [34].

Toronto Üniversitesi'nden Brad Brass tarafından 2005 yılında yapılan araştırmaya göre, kışın ısıtma için yeşil çatıların önemli oranda enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Sıcak yaz günlerinde geleneksel çatının sıcaklığı 60-80°C arasındayken yeşil çatı kurulumunda 25 °C'yi geçmediği görülmüştür [34].

Kanada Çevre Enstitüsü tarafından yapılan bir araştırmada yaz aylarında serinleme amacıyla kullanılan enerjide %26'lık bir azalma sağlandığı görülmüştür. Amerikan Peyzaj Mimarları Derneği, Washington'da geleneksel bir çatı ile yeşil çatıyı karşılaştırdığında, yeşil çatının geleneksel çatıdan 32 °C daha serin olduğunu gözlemlemiştir [34]. Şekil 5.6'da 11 ay boyunca geleneksel çatı ve yeşil çatı arasında ısıtma ve soğutma için ortalama günlük enerji ihtiyacı karşılaştırılmıştır. Yeşil çatıların yılın sıcak aylarında enerji tüketiminde daha etkin olduğu görülmektedir [34].



Şekil 5.6: Geleneksel çatı ile yeşil çatıda günlük ortalama ısı talebinin karşılaştırılması

Yeşil çatı uygulamaları modelleme sonuçları binanın ve yeşil çatının karakteristiğine bağlı olarak yıllık bina soğutma yükünde %25 azalma olduğunu göstermiştir. Farklı bölgelerde ekstensif yeşil çatıların modelleme analizinde araştırmacılar aşağıdaki enerji tasarruflarını tahmin etmişlerdir.

- Singapur'da çim çatılı 5 katlı tarihi bir ticari binada soğutma yükünde %17'lik, çalılarla kaplı binada %47'lik azalma,

- California, Santa Barbara’da tek aktlı ticari bir binada %10’dan fazla azalma,
- Portland’da tek katlı bir bina için %12’lik bir azalma tahmin edilmektedir.

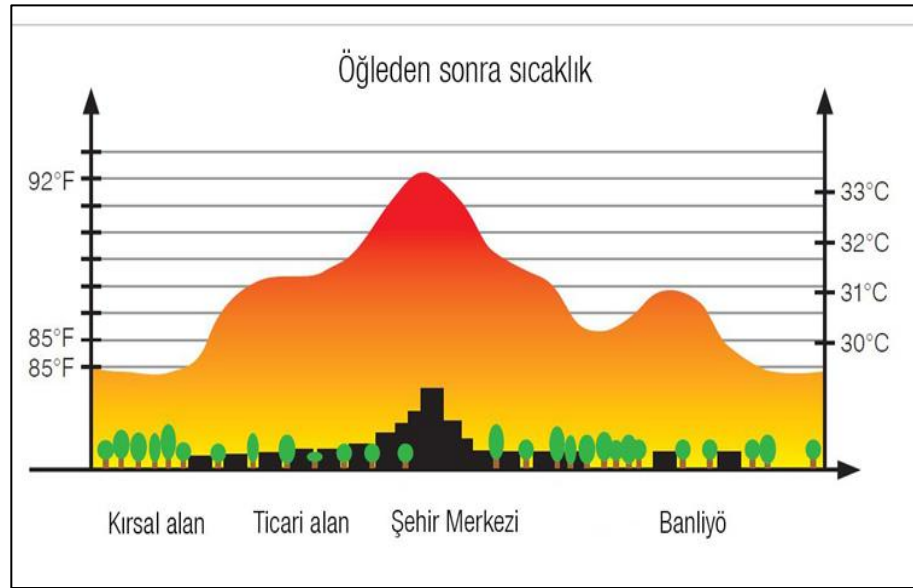
Güney California’da mevcut çatılarda veya yeni inşa edilecek yapılarda yeşil çatıların kurulumuyla elde edilecek enerji tasarrufu ve CO₂ salınımlarında azalma ile ilgili analiz yapılmıştır. Analizde %30-50 oranında yeşil çatı kurulumu ile merkezi ya da oda klimalı binalar dikkate alınarak tasarruf hesabı yapılmıştır. Yeşil çatının altındaki katta %25’lik tasarruf varsayarken birden fazla kat için çatının altındaki ikinci katta %10’luk tasarruf varsayılmıştır. Analiz sonucu kazanılan enerji ile California’da 127000’den fazla tek aileli evlere güç sağlamanın yeterli olacağı gözlenmiştir. CO₂ salınımlarındaki azalma her yıl 91000 aracın saldırdığı CO₂ ile eşdeğerdir [1].

Yeşil çatı sistemleri; sahip olduğu bitki katmanının ısı depolama özelliği ile yaz aylarında ısıyı içeriye daha az geçirerek, kış aylarında ise ısıнын iç ortamdan dış ortama kaçışını engelleyerek binalarda iklimlendirme için harcanan enerjiden tasarruf edilmesini sağlayacaktır. Bu amaçla son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar geleneksel çatılar ile yeşil çatılar arasındaki farkı ortaya koymaktadır. Kanada’da yapılan bir çalışmada 72 m²’lik bir çatı alanını eşit iki parçaya bölünmüş, yarısı ekstensif bitkilendirilmiş çatı sistemi olarak diğer yarısı da modifiye bitümlü su yalıtım malzemesi kullanılan geleneksel çatı olarak tasarlanmıştır. Meteoroloji istasyonundan alınan veriler ile iki çatı arasındaki ısı farkları, yansıtma özellikleri, atıksu bertaraf miktarları 2 sene boyunca ölçülmüştür. Sonuçlara göre; iç ortamın iklimlendirilmesi için gerekli olan günlük enerji ihtiyacı geleneksel çatı için 6.0-7.5 kWh/gün olarak belirlenmiş olup bitkilendirilmiş çatıda bu ihtiyaç 1.5 kWh/gün olarak ölçülmüştür. %75 oranında tasarruf yapılabildiği ortaya konmuştur [30].

Yeşil çatıların bir başka özelliği de çatı yalıtım malzemesini korumalarıdır. UV ışınlarından ve sıcaklık değişimlerinden çatı malzemesini koruyarak ömrünün uzamasını sağlar. UV ışınları çatı konstrüksiyonunda yapı malzemesinin kimyasını etkileyerek dayanım mukavemetini düşürmektedir. Geleneksel çatılarda güneş radyasyonu gün boyu absorblandığı için çatının sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Bu durumda çatı membranında baskı oluşturarak yıpranmasına neden olmaktadır. Çatı sıcaklığının sabit olması çatı ömrünü uzatmaktadır. Böylece yenileme ya da bakım onarım maliyetlerinde azalma görülecektir.

5.1.2. Kentsel Isı Adası Etkisi

Şehirleşmenin ölçütü yapılar, taş, asfalt, beton yüzeyler gün boyu güneş ısısını emerek gece bu ısıyı yaymaya başlarlar. Bu nedenle gece hava sıcaklığı normal sıcaklığın üzerinde seyreder. Bu durum kent ısı adalarının oluşmasına neden olur. Kent ısı adası etkisi kırsal alanlara göre kentlerde daha fazla gözlenmektedir. Bunun nedeni olarak da kentlerdeki yoğun nüfus gösterilebilir. Dünya bankası verilerine göre Türkiye'nin %73'ü kentlerde yaşamaktadır ve bu nüfus her yıl artış göstermektedir. Kentlerde kırsal alanlara göre sıcaklık 0.5-9°C, yağış %5-20, sislenme %30-100, bulutluluk %5-10 oranında artış göstermekte olup buna ek olarak oransal nem %2-30, radyasyon %15-20 ve güneşlenme süresi %5-15 oranında azalmaktadır [36]. Şekil 5.8'de gösterildiği üzere kentlerdeki yoğun yapılaşma, yeşil alanların azlığı, sanayileşme bu etkinin artmasında önemli rol oynamaktadır [37].



Şekil 5.8 : Kentsel ısı adası etkisi sıcaklık farkları.

Yeşil çatılardaki bitki örtüsü, yapıda doğal havalandırmayı sağlarken yaptığı gölge etkisiyle havanın soğumasına yardımcı olur. Yeşil çatı bitkilerinin yapmış olduğu gölge etkileri ısı adaları etkisini düzeltmeye yardım etmektedir [11].

Kanada'da %50'si yeşil çatı olan bir alanda yapılan çalışmada kentsel alanlardaki yüzey ve hava sıcaklıklarının kırsal alanlara göre yaz aylarında 2-3°C fazla olduğu gözlenmiştir [38]. Yeşil çatı bitkileri; terleme-buharlaştırma (evapotranspirasyon), gölge etkisi ve ısı tutma etkileri sayesinde bu sıcaklık artışının

engellenmesine katkıda bulunur [30]. Tyndall İklim Değişikliği Merkezi'nin yaptığı bir araştırmaya göre, kentsel ısı adası etkisini azaltmak için kentlerde %10 daha fazla yeşil alana ihtiyaç vardır [39]. Rowntree vd. 1982 yılındaki araştırmalarına göre kentsel ısı adası etkisi nedeniyle artan sıcaklığın %25-50'si bitkilendirme yoluyla hafifleyebilmektedir [35].

Kentlerde artan sıcaklıklar; zayıf hava kalitesi, ısıya bağlı hastalıklarda artış, enerji kullanımı ve sera gazı emisyonlarında artış, su tüketiminde artış ve ekosistem sağlığı üzerinde baskı gibi bir takım olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Isı adası etkisi şehirler üzerinde atmosferik dalgalanmalar oluşturmakta, kış dönemlerinde yağışlara ve gök gürültülerinde artışlara neden olabilmektedir. Yaz dönemlerinde ise soğutma amacıyla kullanılan enerjinin artmasına neden olmaktadır. Sonuçta şehirlerde hava kirliliğinin artmasına sebep olarak hava kalitesini azaltmaktadır [12]. Bu nedenle yeşillenen çatılar şehirlerde sıcaklık farklarını azaltarak kentsel ısı adası etkisini azaltmaya yardımcı olurlar.

5.2. Hava Kirliliğine Etkisi

Bitkiler, gaz haldeki kirleticileri kendi stomaları ile bünyelerine alırlar, partiküler maddeleri yaprakları ile önlerler ve bitki dokularında veya topraktaki poliaromatik hidrokarbonlar gibi bazı organik bileşikler parçalayabilirler. Buna ek olarak, dolaylı soğutma ile yüzey sıcaklıklarını düşürür ve atmosferde ozon gibi kirleticileri oluşturan fotokimyasal reaksiyonları azaltarak hava kirleticilerini dolaylı olarak azaltırlar. Ayrıca klima ihtiyacını azaltarak enerjide tasarruf sağlamaktadırlar [40].

2008 yılında Yang tarafından Chicago'da yapılan bir çalışmada yeşil çatıların hava kirliliği üzerindeki etkileri ölçülmüştür. Sonuçlarda hava kirleticilerinin yılda 85 kg/ha kadar giderildiği görülmüştür. Bu oran Mayıs ayında bitkilerin yoğun büyümesi nedeniyle en yüksek seviyeye ulaşırken Şubat ayında minimum seviyede görülmüştür. Bu çalışmaya göre Chicago'daki tüm çatılar intensif yeşil çatılarla kaplanırsa tutulan kirleticisi miktarı 2047 tonlara ulaşacaktır. Ancak bunun için kurulum maliyetinin 35.2 milyar dolar olacağı tahmin edilmiştir [40].

Yeşil çatıların hava kirliliğini gidermesinin yanı sıra emisyonların azaltılmasında da dolaylı etkileri vardır. 1998 yılında Rosenfeld tarafından yapılan

hesaplamalarla Los Angeles'da klima ihtiyacının azaltılarak, kömür santrallerinden gelen NO_x emisyonlarının günde 350 ton kadar azaltılabileceği görülmüştür. Bu hesaplama ile şehirde 1 milyon dolar kadar kazanç sağlanırken NO_x kaynaklı sis oluşumunda %10'luk bir düşüş sağlanacaktır [40].

Peng ve Jim kentsel ekolojide büyük ölçekli yeşil çatıların önemli rollerini vurgulamakla birlikte, bu faydaların ölçme yöntemlerinin zorluğunu da ortaya koymuşlardır. Binachini ve Hewage, yeşil çatı malzemelerinden polimerler için üretim sürecindeki NO₂, SO₂, O₃ ve PM₁₀ emisyonlarını karşılaştırarak yeşil çatıların çevresel faydalarını ortaya koymak adına yaşam döngüsü analizi çalışması yapmışlardır. Analizler yeşil çatıların uzun vadede sürdürülebilir ürünler olduğunu göstermiştir. Genel olarak polimer üretim sürecinden kaynaklanan hava kirliliği 13 yılda yeşil çatılarla dengelenebilmektedir. Yine yeşil çatılarda kullanılan geri dönüşümlü düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ile geri dönüştürülmemiş LDPE kullanımında yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Çalışma, geri dönüşümlü LDPE'nin havaya 2.8 kat daha az toksik madde salacağını göstermiştir. Geri dönüştürülmemiş malzeme kullanımından türetilen NO₂, SO₂, O₃ ve PM₁₀ konsantrasyonunun geri dönüştürülmüş LDPE kullanımından daha yüksek olduğu görülmüştür [16].

Washington'da mevcut yeşil çatı için hazır olan binaların %20'si yeşil çatılar ile yüklenirse ekilen bitkiler 17000 sokak ağacı ile aynı miktarda hava kirliliğini giderecektir. Ancak yeşil çatılar oldukça pahalı sistemlerdir. 19 m²'lik ekstensif bir yeşil çatı orta boy bir ağaç ile aynı miktarlarda kirleticiyi giderebilir. Ancak yeşil çatının maliyeti 3059 \$ iken ağaç için maliyet 400 \$'dır. Buna rağmen yeşil çatılar da uzun vadede birçok avantaj sağlamaktadır [40].

Ulaşım, ısınma ve endüstriyel kaynaklı fosil yakıtların etkisiyle atmosfere karışan azot dioksit, karbon dioksit, karbon monoksit, kükürt oksit, hidrokarbon ve toz partiküller havayı kirleten en önemli etmenlerdendir. Karbondioksit kaynaklı sera etkisi olarak da bilinen küresel iklim sorunları nedeniyle dünyadaki sıcaklığın artacağı kabul edilmektedir. Yeşil çatı bitki örtüsünün nefes alabilir özellikte olması, karbondioksit kullanması, oksijen miktarının artmasına ve dolayısıyla havanın temizlenmesine olanak sağlamaktadır. 25 m² yaprak yüzeyi insanın bir saatte tükettiği kadar oksijen üretebilmektedir. Yaz aylarında 1 m² çim alan 4 kişinin oksijen ihtiyacını karşılamaktadır. Chicago'da yapılan bir çalışmaya göre tüm çatıların yeşillendirilmesi ile yılda yaklaşık 417 ton azot oksit ve 517 ton kükürt oksit emisyonlarında azalma gözlenmiştir [30]. Ayrıca yeşil çatılar kentlerde oluşan tozu

da tutarak hava kirliliğinin önlenmesine yardımcı olmaktadırlar. 2000 m² kesilmemiş çim alanın 4000 kg kadar partiküler madde tuttuğu tahmin edilmektedir. Benzinli bir araç pratikte her mil için 0,01 gr kadar partiküler madde üretir. Yılda 10000 mil yol yapan araç 0.1 kg partikül madde üretmiş olacaktır. 1 m²'lik bir yeşil çatı, bir aracın oluşturduğu yıllık partikül madde emisyonlarını dengeleyebilir. Toronto'da yapılan bir çalışmada yeşil çatıların hava kirliliği üzerine etkileri incelenmiştir. NO₂, SO₂, O₃ ve PM₁₀ seviyeleri, saatlik verimlilik oranları ve bunların ekonomik değerleri modellenmiştir. Hesaplamalarda bitki örtüsü, saatlik hava durumu verileri ve kirleticilerin konsantrasyonları kullanılmıştır. Ağaçlar ve çalılar, büyük yaprak yüzey alanlarından dolayı otsu bitkilere göre kirletici maddelerin uzaklaştırılmasında daha etkili olmuştur [40]. Toz partiküllerden kaynaklı hava kirliliği insan sağlığında da gerek solunum yolları gerek akciğer ve kalp rahatsızlıklarında önemli yan etkiler göstermektedir. Yeşil çatılarda bitki örtüsü, rüzgara bağlı olarak taşınan tozu m² başına 200 g ile 2 kg arası tutabilmektedir. Yeşil çatıya sahip olmayan bölgelerde, yeşil çatı olan bölgelere oranla bir litre havada 3-7 kat daha fazla toz partikülü ölçülmüştür [11]. Kentsel alanlarda endüstri veya trafik kaynaklı oluşan ve hava kirliliğine neden olan azotlu bileşiklerin emilmesine yardımcı olmaktadır.

5.3. Küresel Isınma ve Karbon Ayak İzine Etkisi

Yeşil çatılar, küresel ısınmanın en önemli sebeplerinden biri olarak görülen havadaki CO₂ miktarının azaltılmasına iki açıdan yardımcı olabilmektedir. İlk olarak, karbon bitki yapılarının önemli bir bileşenidir ve doğal olarak bitki dokularında fotosentez yoluyla ve kökleriyle toprak alt tabakasında tutunur. İkinci olarak da binalarda yalıtımı sağlayarak ve kentsel ısı adası etkisini düzenleyerek enerji kullanımını azaltır ve buna bağlı emisyon oluşumunun önüne geçer [40]. 1995 yılında Rosenfeld vd. serin yüzeyler ve ağaç gölgeleri ile tüm A.B.D. şehirlerinde iklimlendirmenin %20 oranında azaltılarak 27 milyon ton karbon emisyonunun azalacağını tahmin etmişlerdir [35]. Michigan'da yapılan bir araştırmada 6 cm derinliğinde büyüme ortamı olan ekstensif bir yeşil çatıda 2 yıl boyunca sedum bitkileri ile karbon miktarı incelenmiştir. Çalışmanın sonunda bitki ve kök biyokütlesi, türler arasında farklılık olmak üzere m²'de ortalama 168 g ve 107 g C tutmuştur. Büyüme ortamının C içeriği ise ortalama 913 g C/m² olarak

hesaplanmıştır. Ektensif yeşil çatı sisteminde bitki ve substrata bakıldığında toplamda 1188 g C/m² tutulmuştur. 810g C/m² substratta bulunan karbon miktarı çıkarıldığında parçalanmadan sonraki net karbon miktarı 378 g C/m² olarak bulunmuştur [40]. 1 m²'lik bir yeşil çatı yılda 5 kg CO₂ emebilir. Ayrıca düşen enerji tüketimi sayesinde CO₂'in azalmasında yılda 3.2 kg kadar ek katkıda bulunur. 1 m²'lik bir yeşil çatı, bir otomobilin 80 km'de yaydığı CO₂ gazını emebilir [41].

Michigan Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmaya göre kampüsdeki 1.1 km²'ye sahip çatı alanının tümü yeşillendirildiğinde elektrik ve doğal gaz kullanımından kaynaklı yılda 364 ton CO₂ emisyonu önlenabilir [36]. Yine yapılan araştırmada iki yıl süreçte yeşil çatıların metrekare başına 375 g karbon tuttuğu sonucuna varılmıştır [1]. Yine Michigan Üniversitesi'nde yapılan başka bir çalışmada farklı yapıda 13 bitki kullanılarak yer yüzeyinde ve çatı üzerinde peyzaj sistemleri kurularak karbon içerikleri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında yer seviyesinde ve çatı yüzeyindeki bitkilerin karbonu tutma kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür. Sedum ve çayır peyzaj sistemine sahip yeşil çatıların yerdekine oranla daha az karbon tuttuğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeninin muhtemelen toprak ve yüzey özelliklerinin farklılığı ve peyzaj sisteminin yüzeye erişebilme kabiliyetine bağlı olabileceği tahmin edilmektedir. Yine de yeşil çatı sistemlerinde kullanılan malzemelerin sebep olduğu karbonu azaltabilmek için gerekli olan süreyi 15 yıldan 3 yıla düşürebileceği sonucuna varılmıştır [42]. Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'de yeşil çatılarda ve geleneksel çatılarda kullanılan malzemelerin CO₂ emisyonları gösterilmektedir. [42], [33].

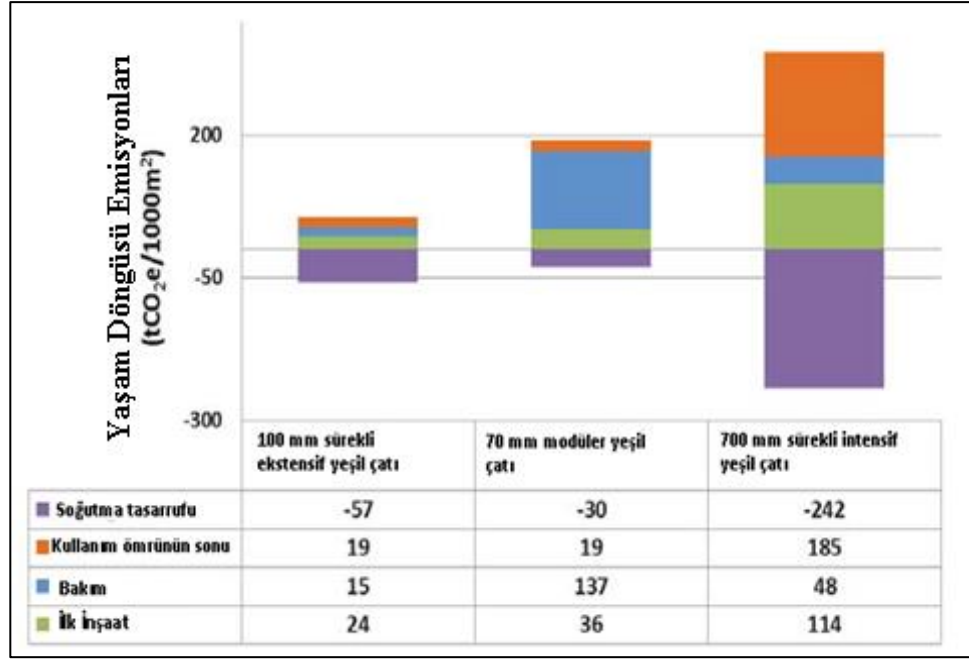
Tablo 5.2: Yeşil Çatı Malzemelerinin Karbon Ayak İzleri.

Yapı Elemanı Katmanı	kgCO ₂ eq/kg malzeme
Toprak	0
Filtre	2.41
Drenaj	2.63
Bitümen membran	0.44
Alçıpan	0.33
Polisitren levha	6.6

Tablo 5.3: Geleneksel Çatı Malzemelerinin Karbon Ayak İzleri.

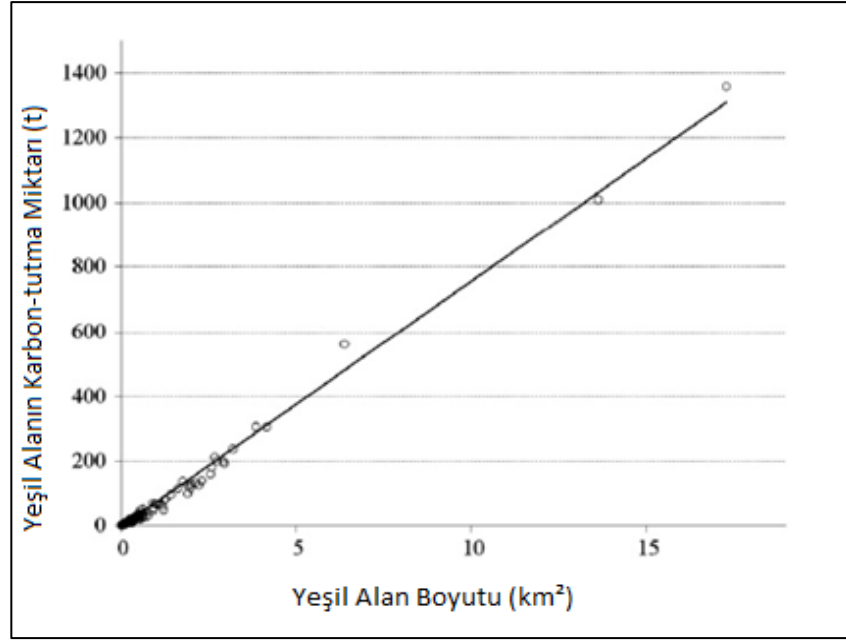
Yapı Elemanı Katmanı	kgCO ₂ eq/kg malzeme
Çelik	0.64
Çimento	0.26
Donatılı beton	0.34
Tuğla	0.24
Taş	1.01
Harç	0.26
Cam yünü	3.3
Taş yünü	2.17

Singapur’da üç farklı yeşil çatı örneği üzerinde karbon emisyonları incelenmiştir. Çalışmada 100 mm kalınlığa sahip sürekli ekstensif çatı, 70 mm kalınlığa sahip geri dönüştürülmüş polipropilen kullanılmış ekstensif yeşil çatı ve 700 mm kalınlıkta sürekli intensif yeşil çatı kullanılmıştır. Sonuçlar karbon emisyonlarının çoğunluğunun inşaat aşamasından kaynaklandığını göstermiştir. Sürekli ekstensif ve intensif çatıların inşasında emisyonların çoğu (toplamın %70’den fazlası) yeşil çatı olup olmamasına bakılmaksızın inşaat aşaması kaynaklıdır. Geri dönüştürülmüş malzeme kullanılmış ekstensif çatıda ise katmanın kısa ömürlü olması nedeniyle bakım kaynaklı emisyon oluşmaktadır. Geri dönüşümlü malzeme kullanılmış ekstensif çatı sisteminin toplam emisyonu, sürekli ekstensif çatının üç katına eşit olup, sürekli intensif yeşil çatı emisyonunun, sürekli ekstensif yeşil çatıdan 6 kat daha fazla olduğu sonuçlarda gözlenmiştir. İntensif çatıdaki bu oran, ekstensif sisteme göre kurulum için daha farklı ve fazla yapı elemanı gerektirmesinden ve dolayısıyla kullanım ömrü dolan bu elemanların bertarafı için uygulanacak işlemlerden kaynaklanmaktadır. Soğutma ihtiyacının azalması dahil olmak üzere farklı yeşil çatı sistemlerine bağlı toplam emisyonlar Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Çalışmada 20 yıllık kullanım ömrü dikkate alınmış ve salınan emisyonlar karşılaştırıldığında sadece sürekli ekstensif çatı sisteminin yeterli miktarda tasarruf yaptığı gözlenmiştir [43].



Şekil 5.9: Singapur’da kullanılan yeşil çatılar için ömür boyu emisyonlar.

Pekin’de yapılan bir çalışmada hangi faktörlerin karbon tasarrufunun büyüklüğünü etkilediğini araştırmak için karbon tasarrufu ile biyokütle, büyüklük ve şekil gibi yeşil alan özellikleri arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Bu faktörler yeşil alanın soğutma etkisini ve karbon tasarruf miktarını değiştirmektedir. Sonuçlar, daha fazla biyokütlenin daha iyi soğutma etkisi ile daha iyi karbon tasarrufu sağlayacağını, daha küçük yeşil alanların aynı toplam yeşil boyuta sahip biraz daha geniş alanlara göre daha iyi sonuç verdiğini ve karışık şekilli yeşil alanların aynı ebattaki basit şekilli yeşil alanlardan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Yeşil alanın boyutu ile karbon tasarrufu arasında doğrusal bir ilişki olduğu Şekil 5.10’da gösterilmektedir. Daha büyük bir yeşil alan daha fazla bitki içerdiğinden, daha fazla buharlaşma ve gölge üreteceğinden, daha yoğun soğutma etkisine ve daha fazla karbon tasarrufuna neden olacaktır [35].



Şekil 5.10: Yeşil alan boyutu ile karbon tasarrufu karşılaştırma.

Biyolojik kütlesi düşük olan ekstensif yeşil çatılar şehirlerdeki karbon emisyonlarını azaltma potansiyelleri az olmasına rağmen, odunsu bitki örtüsünü destekleyen intensif yeşil çatı bahçeleri bir kentsel karbon lavabosu olarak önemli katkılar sağlayabilir [38].

5.4. Gürültü Kirliliğine Etkisi

Kent yaşamında; caddelerden, endüstriyel alanlardan, hava alanlarından kaynaklı gürültüler problem teşkil etmektedir. Gürültü sadece sinir bozucu etkiye değil, işitme kaybı, hipertansiyon ve kalp rahatsızlıkları, uyku bozuklukları gibi sağlık sorunlarına da yol açabilmektedir [40].

Yeşil çatılardaki bitki örtüsü standart çatılara oranla şehir kaynaklı oluşan trafik, inşaat, kalabalık gibi çevresel gürültüyü bina yüzeyleri, kaldırım gibi sert yüzeylerden yansıyan kısma oranla emerek gürültünün azalmasına yardımcı olur. 3-30 Hz arası alçak frekansları toprak, 30-300 Hz arası frekansları bitki örtüsü engeller. Yapılan çalışmalar Almanya Frankfurt Havaalanı'nda 10 cm'lik derinliğe sahip bir yeşil çatı örtüsünün, gürültüyü 5 dB düşürdüğünü göstermiştir. Ayrıca 12 cm derinliğinde bir yeşil çatının gürültüyü 40 dB azaltabileceği tahmin edilmektedir [35].

Konuşma ses şiddeti 50 dB ve gürültü eşiği 60 dB kabul edildiğinde 12 cm kalınlığında bir yeşil çatının 90-100 dB arası araç seslerini bile gürültü eşiğinin altına düşürdüğü gözlenmiştir [44].

Yapıların çevresindeki yeşillikler rüzgar hızını azaltarak ses dalgalarını emmektedir. Bitki örtüsü ve toprağın yeşil çatıda oluşturduğu gözenekli tabaka ses dalgalarını yutmaktadır. Böylece aynı zamanda ses yalıtımı da sağlanmaktadır [12].

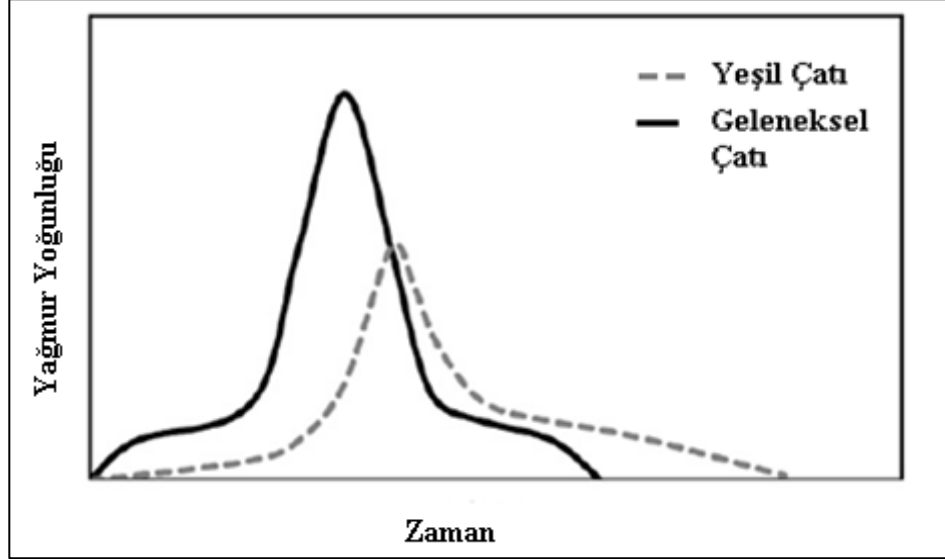
5.5. Kentsel Su ve Atık Su Yönetimine Etkisi

5.5.1. Yağmur Suyunu Geciktirme ve Taşkın Önleme

Yeşil çatıların önemli bir avantajı yağmur suyu akışını azaltmasıdır. Geçirimsiz çatı yüzeyleri yeşil çatılar sayesinde geçirimli hale gelmektedir. Bu özelliği ile yazın kanalizasyon sistemleri üzerindeki yükü %70-95 arası azaltmaktadır. [39], [45]. Mentens tarafından 2006 yılında yayınlanan raporda 1987'den 2003'e kadar yapılan Alman araştırmaları incelendiğinde intensif yeşil çatıların yıllık yağış akışını, yıllık yağışın %65-85'i kadar azalttığını, ekstensif çatılarda ise bu oranın %27-81 aralığında olduğu belirtilmiştir [14].

Carter ve Rasmussen (2006) yağış miktarı ile tutulan yağış yüzdesi arasında ters bir ilişki olduğunu bulmuşlardır. 25.4 mm'den düşük yağışlarda yağışın %88'i tutulurken, orta ölçekli yağışlarda (25.4-76.2 mm) %54'ten fazlası tutulduğu, büyük ölçekli yağışlarda ise (76.2 mm'den büyük) %48 oranında yağışın tutulduğu görülmüştür. Küçük ölçekli yağışlarda yeşil çatıdaki akışın geleneksel çatıya oranla daha az olduğunu ancak büyük ölçekli yağışlarda bu farkın azaldığını belirtmişlerdir [14]. 10 mm'den küçük yağışların tamamının yeşil çatıda tutunabildiği ve akışı yaklaşık 10 dk kadar geciktirdiği Simmons vd. tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada gözlenmiştir [14]. Villarreal and Bengtsson (2005) yeşil çatıda su tutma oranının büyük ölçüde yağış yoğunluğuna bağlı olduğunu görmüşlerdir. Yağış yoğunluğu ne kadar düşük olursa tutulma oranı o kadar yüksek olmaktadır [14]. Yağış yoğunluğu 0.4 mm/dk ve çatı eğimi 2-14 derece arasında olduğunda yağışın %39-64'ü tutulurken, yağış yoğunluğu 1.3 mm/dk olduğunda bu oran %14-21 arası gözlenmiştir [14]. DeNardo vd., 2005 yılında yaptığı çalışmada yeşil çatıların ortalama 4.3 mm/s olan yağışlarda çatıdan akışı 2.4 mm/s'e düşüğünü

gözlemlemişlerdir [14]. Yeřil çatıların akış başlangıcını ortalama 5.7 saat geciktirdiğini ve pik akışı ortalama 2 saat kadar ertelediğini raporlamışlardır [14]. şekil 5.11’de yağış yoğunluğu ile yeşil çatıdan akışa gećecek zaman arasındaki fark gösterilmektedir.



şekil 5.11: Yağış olayı sonrası yeşil çatıdan örnek bir akış.

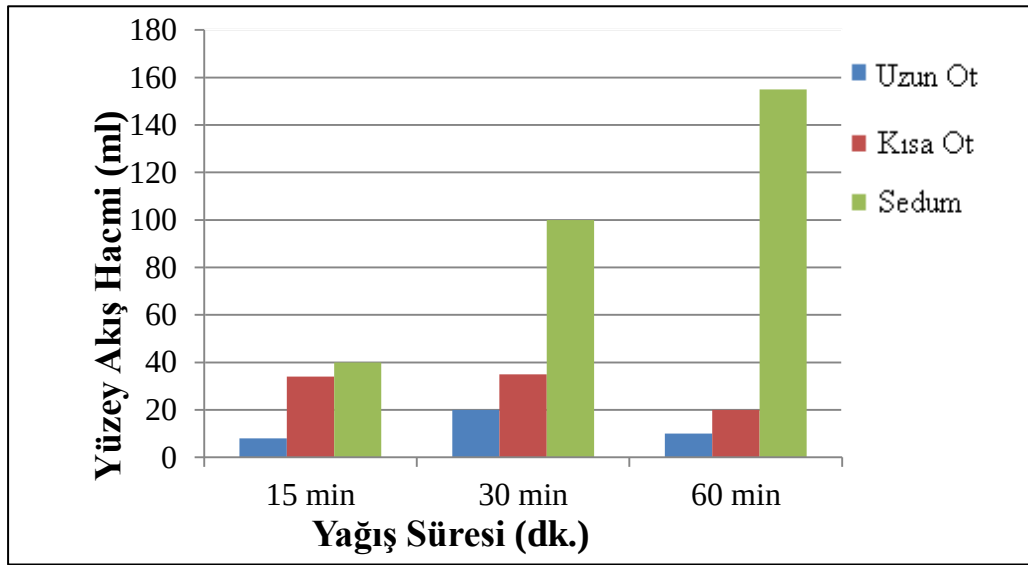
Birçok araştırmada yağmur suyu akışında yeşil çatının önemi vurgulanmıştır. Çoğu yeşil çatıların ve çatı bitkilerinin tasarımında su varlığının rolü ortaya konmuş ve sıklıkla suyun düşük olduğu koşullardaki bitki tiplerine odaklanılmıştır.

DeNardo vd. ile VanWoert vd. yaptığu çalışmalarda ekstensif çatılarda %60 oranında, intensif çatılarda ise %100 oranında akışın azaldığu görölmüştür. VanWoert vd. tarafından geleneksel çatı, bitkisiz ekstensif çatı ve bitkili ekstensif çatı olmak üzere üç farklı çatı yapısı için yağmur suyu tutma seviyesi karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda yağmur suyu tutma seviyesi yeşil çatı için %82.8 oranında olduğu gözlenmiştir. Drenaj sistemi ile birleştirilmiş geleneksel çatı, geleneksel yeşil çatı ve ekstensif yeşil çatının karşılaştırıldığu çalışma sonuçlarında geleneksel yeşil çatıda akış %57 oranında düşerken, ekstensif yeşil çatıda %71.7’lik düşüş gözlenmiştir [16].

Amerika genelinde yaygın yeşil çatılar için tahminen yağmursuyu tutma oranları toplam yağış hacminin %40-80’inini oluşturmaktadır. Kuzey Carolina’da yapılan bir çalışmada, yeşil bir çatının çatı yüzeyindeki yıllık toplam akışın %60 oranında azaldığu ve en yoğun yağış zamanlarında akışa gećen suyun %75 oranında

azaldığı gözlenmiştir. Portland Oregon’da 10 cm derinliğindeki ekstensif çatının, toplam akışı yaklaşık olarak %70 oranında azalttığı raporlanmıştır. New York’da ekstensif bir çatıda yılda metrekare başına 30 cm yağış tutulabildiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Pensilvanya’da bir yıl süresince yapılan bir çalışmada, kış aylarındaki kar ve donma koşullarına rağmen toplam aylık yağışın %20’si, yaz aylarında ise neredeyse tüm yağışların tutulduğu belirtilmiştir [1].

Mickowski vd. tarafından yapılan çalışmada üç türde birki örtüsü (uzun ot, kısa ot ve sedum) için yüzey akışı karşılaştırılmıştır. Bulgular Şekil 5.12’de gösterilmekte olup, yüzey akışında en düşük etkiyi sedumun gösterdiği gözlenmiştir [16].



Şekil 5.12: Bitki türleri ile yüzey akışı arasında karşılaştırma.

Ekşi vd. tarafından yapılan çalışmada İstanbul’da, 2011 yılından başlanarak 5 yıl süren bir zaman diliminde geleneksel çatı ile yeşil çatının su ve enerji dengesi incelenmiştir [46]. Sonuçlar; yaz aylarında geleneksel çatıda 28 günlük süreçte 30°C üzerinde sıcaklık olduğunu gösterirken yeşil çatının bu sıcaklığa ulaştığı gün sayısının 7 olduğunu göstermiştir. Geleneksel çatıda iç yapı sıcaklığı 56 gün 30°C üzerinde okunurken yeşil çatıda bu süre 3 gün olarak gözlenmiştir. Yağışın başladığı anlarda yetiştirme ortamındaki su miktarına bağlı olarak akışa geçecek su miktarını 1-23 saat arasında geciktirerek akışa geçecek su miktarını %20-100 oranında azalttığı gözlenmiştir [46].

Yapılan literatür çalışmaları sonucu elde edilen yağış tutma oranları Tablo 5.4’de gösterilmektedir.

Tablo 5.4: Literatür Çalışmaları ile Yeşil Çatılarda Tutulan Yağış Oranları.

REFERANS	Yeşil Çatılarda Tutulan Yağış Miktarı,	Yağış Akışındaki Azalma	Çalışma Süresi
Mentens (2006)		%27-85	
Carter ve Rasmussen (2006)	%48-88		13 ay
Villarreal ve Bengtsson (2005)	%14-64		17 ay
Denardo et al. (2005)		%60-100	2 ay
VanWoert et al.		%57-72	15 ay
Ekşi vd. (2011)		%20-100	5 yıl
Amerika	%40-80		
Kuzey Carolina		%60-75	
Portland		%70	
Pensilvanya	%20-100		12 ay

Yeşil çatılar bitki örtüsünde yağmur suyunu tutarak drenaj yoğunluğunu azaltmaya yardımcı olur. 20-40 cm arası intensif bitkilendirilmiş bir çatı 10-15 cm yüksekliğinde su tutma kapasitesine sahiptir. Genel olarak kente düşen yağmur suyunun %10-15'inin yeşil çatılarda tutulması mümkündür. 10 cm toprak kalınlığı üzerine düşen yağmurun %50'sini, 20 cm toprak ise %60'ını tutabilmektedir. Bu oran 50 cm toprak kalınlığında %90'a ulaşmaktadır [41].

Yağmur suyu tutma oranları; yağmurun şiddetine, birim yağış miktarına, süreye, yeşil çatının büyüme ortamının derinliğine, yağış mevsimine bağlı olarak değişmektedir. Yağmur suyunun yeşil çatılarda alıkonması ile beraber yapılacak depolama sistemleri ile fazla yağmur suyu gerek kurak dönemlerde sulama amaçlı gerek de yapı içerisinde kullanım suyu amaçlı döngüye katılabilir.

Doğal bir filtreleme sistemi görevi gördüğü için yeşil çatılar, atık ve toksinlerin su yollarına ulaşmasını önlerler. Kohler ve Schimidt'in 1990 yılında yaptığı bir araştırmaya göre yeşil çatılar yağmur suyundan kaynaklanan kurşun, bakır ve kadmiyum sülfürün %95'i ve çinkonun %19'unu tutarak su yollarına ulaşmasını engeller [45].

Yeşil çatılar yağmur suyunun tutulmasında başarılıdır ancak bazı araştırmalar yeşil çatı sızıntısının bitki ortamına bağlı olarak azot ve fosfor düzeylerini arttırdığını göstermiştir. Büyüme ortamındaki ve çatı membranındaki organik madde, besinler ve kirleticiler, akışa geçen suyun yeni bir yüzey kirliliği kaynağı olmasına yol açabilir.

Singapur Üniversitesi'nde 2009 yılında yapılan bir çalışmada yapay ve gerçek yağmur olaylarıyla çatıdan akışa geçen suyun kalitesi araştırılmıştır. İnorganik iyon ve eser elementlerin konsantrasyonlarına göre inceleme yapılan çalışmada, yeşil çatıların, akışın pH'ını neredeyse nötr seviyeye çektiği gözlenmiştir. Ayrıca akışa geçen suyun yüksek konsantrasyonlarda Na, K, Ca, Mg gibi hafif metaller içerdiği bulunmuştur. Sonuçlar, akışa geçen suyun nitrat ve fosfat gibi bazı besi maddelerini de sızdırdığını göstermektedir [47]. Bu maddelerin bertaraf edilmesi ya da azaltılması yeni yaklaşımların araştırılması ihtiyacını doğuracaktır.

Daha inert substratlar ve gri suyun yeniden kullanımı üzerinde yapılan araştırmalar bu etkilerin azaltılmasında yardımcı olabilir. Yeşil çatı bitki örtüsünün gübrenmesinin azaltılması aynı zamanda suyun kalitesini de iyileştirecektir. Ancak bitki büyümesine ve bitkilerin hayatta kalmalarına olumsuz etki yapacaktır. Besin maddelerinin ve kirleticilerin alımını sağlayan bitki seçimi bitkinin sağ kalmasını arttırırken kirleticilerin akışında azalmaya yardımcı olabilir [38].

Yeşil çatı akışında geleneksel çatılara benzer konsantrasyonlarda nitrat içeriği olmakla birlikte yüksek konsantrasyonlarda fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum gibi nütrientler içermektedir. Gübreleme işlemi bittikçe bu konsantrasyonlarda da düşüş gözlenecektir [1].

Yeşil çatılar yağmur suyunu tutarak bitkilerin kullanmasına olanak sağlar. 20-40 cm arası yoğun olarak bitkilendirilmiş bir çatı 10-15 cm yüksekliğinde su tutma kapasitesine sahiptir. Bu sistemler ile yağmur sularının %10-15'inin çatı yüzeyinde tutulması mümkündür [11]. Yeşil çatılar ile yağmur suyuna karışan ağır metaller ve tuz toprak tarafından tutularak sudan arındırılması sağlanır. Dolayısıyla doğal bir arıtma görevi de görür. Yeşil çatıların su tutma özelliği ile yapıda ve alt yapı sistemlerinde drenaj yükünü azaltmakta, su baskınlarının önüne geçilebilmektedir.

5.5.2. Gri Su Yönetimi

Gri su, foseptik atığı içermeyen duş, küvveti lavabo gibi kullanım alanlarından gelen evsel atıksulardır. Gri sular, evsel atıksuyun yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır [45]. Gri su kanalizasyon sularından ayrı olarak toplandığı takdirde hem kanalizasyon yükünü azaltacak hem de sarı ve kahverengi su ile temas olmayacağı için arıtım ve tekrar kullanımı kolaylaşacaktır. Diğer arıtma gerektiren sularla

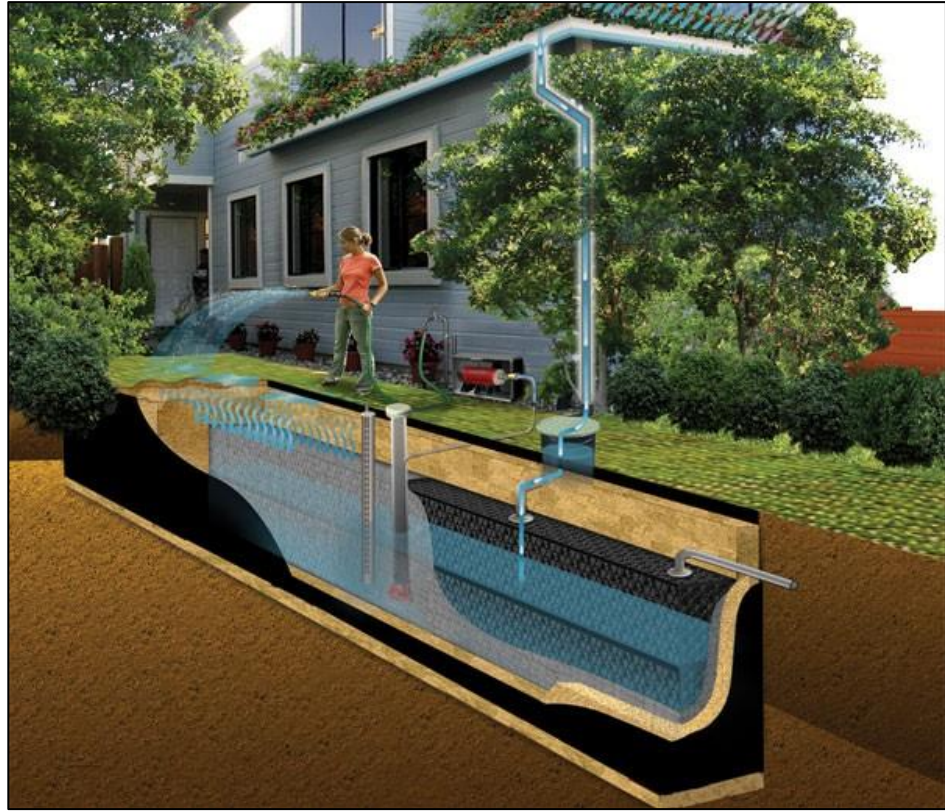
kıyaslandığında daha kısa sürede ve daha az maliyetle arıtma işlemi gerçekleştirilebilir. Gri sular; içme suyu kalitesi gerektirmeyen tuvalet sifonlarında, yeşil alan sulamalarında, çamaşır yıkama, araç yıkama gibi alanlarda tekrar kullanılabilir.

Malta’da yapılan bir çalışmada gri su geri dönüştürülerek yeşil çatı sulama sisteminde kullanılmıştır. Malta Enstitüsü’nün öğrenci ve personelleri tarafından geliştirilen sistemde enstitünün lavabo ve banyolarından toplanan gri sular bir rezervuarda toplanarak yeşil çatıya pompalanmıştır. Burada gri su işleminden geçirilerek sulama amaçlı depolanmıştır. Kontrollü bir sulama sistemi ile geri dönüştürülmüş gri su yerel iklim için uyarlanmış tipteki bitkilerin sulanmasında kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma Malta’daki geleneksel su kaynaklarına alternatif olarak görülmüş ve iklim değişikliğine uyumu geliştirebilmek için geleneksel su kaynakları programı çerçevesinde yürürlüğe girmiştir. Malta’da geri dönüştürülmüş gri su ile sulama sistemi ilk defa gerçekleştirilmiş bir sistemdir [48].

5.5.3. Yağmur Suyu Hasadı

Dünyada kısıtlı tatlı su kaynakları düşünüldüğünde, yapılarda yağmur suyu toplama önemli bir su kaynağı olabilir ve uygun durumlarda yapının veya şehrin su ihtiyacının yarısından iki katına kadar olan kısmı karşılayabilir [49]. Şekil 5.13’de yeşil çatılar için örnek bir yağmur suyu toplama uygulaması görülmektedir [50]. Yeşil çatıdan akışa geçen yağmur suları doğal bir filtreleme işleminden geçmiş olan sulardır. Böylece doğal yollardan arıtılmış bu su, ek arıtma ihtiyacı duymadan kullanım suyu olarak değerlendirilebilir.

Sulama için potansiyel bir seçenek, tutulan yağmur suyu ve gri suyun kullanılmasıdır, bu da sulama amaçlı içilebilir suyun kullanımını azaltabilir veya ortadan kaldırabilir.



Şekil 5.13: Örnek bir yağmursuyu toplama sistemi ve yeşil altyapı.

5.6. Atık Yönetimi

5.6.1. Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanımı

Yenilenebilir kaynaklar; çevresel kirliliği azaltan, çevre sorunlarının çözümünde etkisi olan ve sürekli yenilenebilir olması sayesinde tükenmediği kabul edilen kaynaklardır. Yapılarda da bu amaçla yenilenebilir kaynaklardan elde edilen doğal malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Kullanım ömürleri dolan malzemelerin geri dönüştürülebilir olması veya yeniden kullanılabilir durumda olması hem kaynağın etkinliğini sağlamakta hem de hammaddenin ve enerjinin tasarruf edilmesi gibi ekolojik anlamda olumlu etkiler kazandırmaktadır [11]. Kaynakların yeniden kullanılması veya geri dönüştürülebilir olması atık miktarında ve bertaraf için gerekli olan maddi yükümlülükte olumlu sonuçlar doğurmaktadır.

Yapılarda dayanıklı malzeme kullanımı, malzemenin çeşitli etkenlere karşı daha dirençli ve uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Böylece malzemelerin

bozulması ya da eskimesi gibi nedenlerle değiştirilmesi gerekliliği daha uzun vadelerde ortaya çıkacak olup atık haline gelişi uzun zamanlar alacaktır. Bu durum da kirliliğin azaltılmasında etkili olacaktır. Ayrıca bakım onarım gereksinimi daha az olacağından malzeme ve işçilikten de tasarruf sağlanacaktır [24].

5.6.2. Yerleşim Yerleri Organik Atık Yüküne Etkisi

Yeşil çatılar, çatı çiftçiliğine de olanak sağlamakta olup tarım amaçlı değerlendirilebilmektedir. Bu bağlamda yapı içerisinde oluşan organik atıkların toplanarak kompostlaştırılması ile daha verimli toprak meydana getirilebilir. Ancak çatı sistemlerinde yüksek miktarda kompost kullanımı önerilmemektedir. Bunun nedeni olarak kompostun ayrışması sonucu yetiştirme ortamında çökme meydana getirmesidir. Kompost kullanılacak sistemlerde yetiştirme ortamı olarak hacimce %80 oranında genişletilmiş arduaz (kayağan taş olarak bilinen doğal bir mineral) kullanımının uygun olduğu yapılan çalışmalar ile gözlenmiştir [5]. Tarım amaçlı kullanılacak yeşil çatı sistemlerinde kompost kullanımı verimli ürün eldesi için iyi bir alternatif olabilir, böylece organik kaynaklı atıklar ve bertaraf yükleri azalmış olacaktır.

5.7. Sosyal Yaşam Etkisi

5.7.1. Rekreasyon Amaçlı Kullanımı

Çatılar, şehirleşmede en az kullanım alanına sahip bölgelerdir. Yeşil çatı olarak değerlendirilmeleri şehir sakinlerine ihtiyaç duydukları dinlenme alanlarını ve canlılar için doğal yaşam ortamlarını sağlarken binaların estetik açısından değerlendirilmesine de katkı sağlar.

Yeşil çatıların yapımı ile turizm, ofis binaları, eğitim ve sağlık binalarında kullanıcılara farklı ve özel dinlenme mekânları ve yaşam alanları oluşmaktadır. Böylece sosyal ilişkilerin geliştirilmesi, estetik değerlerin yükseltilmesi, iş yaşamında verimin artması mümkün olmaktadır. Bunlara bağlı olarak binaların ekonomik değerleri de artmakta ve tercih edilme oranları yükselmektedir.

Yeşil çatıların diğer bir sosyal yararı da çevre bilinci oluşmasına katkı sağlaması ve yaygınlaşmasına olanak tanımasıdır. Ayrıca yeşil çatılar şehirlerdeki yeşil alan eksikliğinin giderilmesinde de pay sağlamaktadır. Atıl durumda kalan çatı ve duvar alanlarını kullanmak, gerektireceği yeni yaklaşımlarla ekonomik iyileşme sağlayabilmekte ve toplumun çevresel bilinçle daha duyarlı hale gelmesine olanak sağlamaktadır.

Parklarda bulunan ağaçlar havadaki partiküllerin yaklaşık %85'ini filtreleme görevini görmektedir. Doğal yaşam çeşitliliği, bitki örtüsünün renkliliği, hareket ve kokuların ölçülebilir olmamasına rağmen insan sağlığına önemli ölçüde katkı sağladığı bilinmektedir. Ağaçlar ve bitkiler insan üzerindeki stresin azalmasına yardımcı olmakla beraber, kan basıncında düşme, kaslarda gevşemeye neden olarak rahatlama sağlamaktadırlar [12]. Yeşil çatılar bu nedenle insanların psikolojik sağlığında pozitif etki yapabilecektir. Görünüm ve estetik açıdan yeşil çatılar, betonarme kaynaklı grileşmenin önüne geçerek doğal alan görüntüsü oluşturmaktadırlar. Bu durum şehirleşmenin stresini önemli oranda azaltmaktadır. Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin teras bahçe haliyle kullanımı, oyun alanları, dinlenme alanları olarak kullanımı sosyal ortamlar yaratmaktadır.

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de yeşil çatıların sosyal alan olarak kullanıma örnekler görülmektedir [10].



Şekil 5.14: Yeşil çatıların rekreasyon amaçlı kullanımı.



Şekil 5.15: Yeşil çatıların rekreasyon amaçlı kullanımı.

5.7.2. Biyoçeşitlilik ve Doğal Ortam Etkisi

Yeşil çatılar sayesinde oluşturulan yeşil ortamlar canlılar için doğal yaşam alanları oluşturabilmektedir. Bitki örtüsü yeşil alan oluşturulmasının yanı sıra tarım amaçlı bitki yetiştiriciliğine de olanak sağlamaktadır. Doğal çevrenin artırılmasıyla kullanıcının çatısında bahçeye sahip olması çevre bilinci de oluşturacaktır.

Yeşil çatılar, ekolojik çeşitlilik ve doğal yaşamı korumaya yardımcı olarak, kentsel çevre içerisinde yaşam alanı sağlarlar. İsviçre’de yapılan bir yeşil çatı örneğinde nadir bulunan bir orkide türü yetiştirilmekte olup, bio-çeşitlilik için önemli bir adım atılmıştır [51].

Yeşil çatıların yaşam döngüsü analizleri ile yapılan araştırmalar, ekstensif yeşil çatıların intensif olanlardan daha düşük toksik madde salınımına neden olacağını göstermektedir. Bununla beraber intensif çatılar daha büyük bitkilere sahip olacağından daha yüksek hava seyreltme oranlarına sahiptirler. Sonuç olarak yeşil çatıda kullanılan polimerlerin üretim aşamasında saldıkları kirleticiler uzun vadede yeşil çatılar ile dengelenmektedir [16].

Yeşil çatılarla, bitkilerin nefes alma özellikleri oksijen miktarının artmasına neden olarak hava temizliğini de sağlayacaktır.

5.7.3. Kentsel Tarım Amaçlı Kullanımı

Kentlerdeki hayatın sürdürülebilirliği için insanların kendi gıdalarını konutlarında yetiştirmesi kaçınılmaz bir durum olacaktır. Bu amaç için çatıların kullanılması direk güneş ışığının alımını sağladığı için de tarım yapılabilir alanlara iyi bir alternatiftir.

Mısır Kahire’de, çatı bahçeciliği kötü beslenme ve yoksullukla mücadele etmek amacıyla kurulmuştur. Uygulama özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde yaşayan yoksul aileleri hedef almış ve sadece evde tüketilen sebzelerin taze olmasını kolaylaştırmakla kalmayıp özellikle ev hanımları için de bir gelir kaynağı oluşturmuştur [5].

Yapılacak olan çatı bahçeciliği ile yapı sakinlerinin taze sebze ya da meyve ihtiyacını karşılamasıyla aile bütçesine katkı sağlayacaktır. Bangladeş’te artan nüfus ve güvenli gıdaya ulaşım ihtiyacı nedeniyle çatı bahçeciliği önemli yer tutmaktadır

[52]. atı baheciliğinde yerel sebze ve meyvelerin seçilmesi gerekmektedir. Limon, üzüm, yeşil biber, kabak, balkabağı, soğan, sarımsak, domates, mantar, salatalık, fasulye gibi meyve ve sebzeler çatı baheciliğinde yetiştirilebilecek ürünlerdendir.

Şekil 5.16’da tarım amaçlı kullanılan bir yeşil çatı örneği görölmektedir [10].



Şekil 5.16: Yeşil atıların tarım amaçlı kullanımı.

6. MATERİYAL VE METOT

Yeşil çatılar geleneksel çatılarla karşılaştırıldığında ilk kurulum olarak maliyetli sistemlerdir. Ancak ömürleri boyunca kıyaslandıklarında çatı membranına sağladıkları faydalarla maliyetleri daha uygun olabilmektedir. Almanya’da yapılan bir çalışmada Berlin’deki yeşil çatıların az onarım ve bakımla 90 yıl yaşayabildiği gözlenmiştir. Sonuçlar, geniş bir yeşil çatı maliyetinin 40 yıllık bir süre zarfında, soğutma enerji kullanımının azalmasından kaynaklanan maliyet tasarruflarını dikkate almadan, geleneksel çatı kaplamasının maliyetinden %20-25 daha düşük olacağını göstermiştir. Ayrıca yapılan çalışmalar yağmur suyu akışının azaltılmasında en etkili yolun yeşil çatılar olduğunu göstermiştir [1].

Yeşil çatıların ilk kurulum maliyeti geleneksel çatılardan yüksektir. Maliyet genelde metrekare başına 10-20 \$ arasındadır. Portland Oregon’da yeşil çatı kurulum maliyeti metrekare başına 5-20 \$ arası değişmektedir. Temel bir ekstensif çatının inşaat maliyeti Portland’da geleneksel çatı kaplamasından metrekare başına 5.75 \$ daha fazla iken New York’da geleneksel çatının iki katı (yeşil çatı 18 \$ iken geleneksel çatı 9 \$) kadardır [1].

Geleneksel çatılar ve yeşil çatılar (bitki kurulduktan sonra) tipik olarak önemli bir bakıma ihtiyaç duymazlar ancak yeşil çatılar; yabancı otların temizlenmesi, sulama ve bitki bakımı nedeniyle geleneksel çatılara kıyasla biraz daha bakım gerektirir. Bununla birlikte ekstensif yeşil çatı ve geleneksel çatıların bakım masraflarını karşılaştıran tahminlerde maliyet farkının düşük olduğu belirtilmiştir. Bakım maliyeti aralıkları geleneksel çatılarda 0.1-0.25 \$ aralığında iken yeşil çatılarda 0.2-0.25 \$ aralığındadır [1].

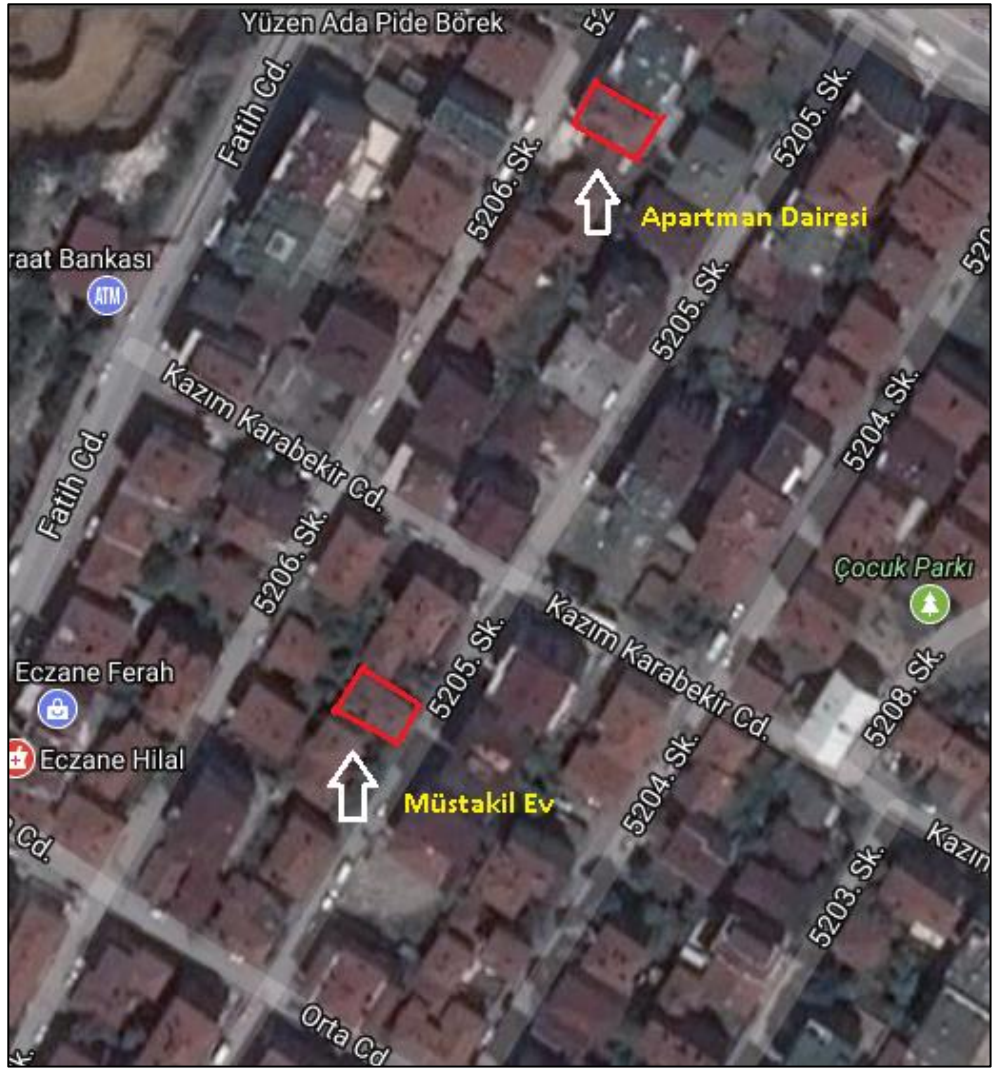
İntensif bir yeşil çatının maliyeti 355-2368 \$/ m² aralığında değişmekte olup bu maliyet geri dönüşümlü malzeme kullanımı ile 1/3 oranında azalabilmektedir. Yeşil çatı uygulaması yapının değerini %7 oranında arttırmaktadır [18], [53].

Bu bağlamda bu çalışmada, yapılan literatür taramaları ve araştırmaların yanı sıra mevcut bir bölgede müstakil tek katlı ev ve 5 daireli bir apartman binası üzerinde hesaplamalar ile geleneksel çatı ve yeşil çatıların karşılaştırılması yapılacaktır. Elde edilen verilerle fayda ve zarar konusunda yol katedilecektir.

6.1. Uygulama Alanı ve Binalar

Çalışma yapılacak alan olarak Kocaeli'nin Çayirova ilçesinde aynı mahalle sınırları içerisinde 100 m² 'li 5 daireli apartman binası ile 100 m²'li tek katlı müstakil bir ev dikkate alınarak iklim koşulları, yağmur miktarları kullanılarak ilk kurulum, enerji, su, atık miktarı ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

Bölgenin uydudan görüntüsü Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1: Durum çalışmasının yapıldığı bölgenin uydu görüntüsü.

- Veriler

Apartman binasında 5 kişilik aileler oturmakta olup bina sakini sayısı 25’dir. Müstakil evde yaşayan kişi sayısı 4’tür.

Her iki yapının çatı alanı 100 m²’dir. Geleneksel çatı olarak kiremit çatı, yeşil çatı için de ekstensif ve intensif kurulum dikkate alınmıştır. İlk kurulum ve bakım-onarım giderlerinin iki yapı için de aynı olacağı varsayılmıştır.

Isınma ihtiyacı için yılın 4 ayı doğalgaz kullanılmaktadır. Soğutma ihtiyacı için yılın 3 ayı elektrikli oda klima sistemi kullanılmaktadır.

Bölgede elektrik birim fiyatı 2017 yılı için 42 kuruştur [54]. Doğalgaz birim fiyatı 2017 yılı için 1,17 TL’dir [55].

Meteorolojiden alınan verilere göre bölgeye düşen yıllık yağmur verileri Tablo 6.1’de görülmektedir [56].

Tablo 6.1: Kocaeli için Yıllık Yağış Oranları.

KOCAELİ	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m²)
Ocak	17.3	94.2
Şubat	15.3	72.8
Mart	14.1	72.5
Nisan	11.6	54.5
Mayıs	9.9	46.3
Haziran	8.1	52.3
Temmuz	5.5	36.5
Ağustos	5	44.9
Eylül	7.1	54.1
Ekim	11.3	89.9
Kasım	12.3	82.5
Aralık	16.3	114.2
Yıllık	133.8	814.7

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Yapı Elemanları

İncelenen yapıların çatıları, beton kaplama, geçirimsiz düz yüzey çatılardır. Yeşil çatılar için sistem katmanları Tablo 7.1’ de gösterilmektedir. Örnek çalışmalarda bu yapı elemanlarının kullanımı düşünülerek ilk yatırım maliyet hesapları yapılmıştır.

Tablo 7.1: Yeşil Çatı Yapı Elemanları

Bitki örtüsü	
Büyüme ortamı	
Filtre katmanı	
Drenaj katmanı	

Tablo 7.1: Devam.

Koruma katmanı	
Kök tutucu katman	
İzolasyon katmanı	
Geçirimsiz tabaka-Membran	

7.2. İlk Kurulum Maliyetleri

- Geleneksel Çatı

Geleneksel bir çatı kurulumu için işçilik dahil kurulum maliyeti 110-120 TL/m² olarak değişmektedir [57]. Çatıcı İzolasyon Tic. Ltd. Şti ile yapılan görüşmede yeni çatı kurulumunun 120 TL/m² olduğu bilgisi alınmıştır. 100 m² alan için kurulum maliyeti;

$$- 100 \text{ m}^2 * 120 \text{ TL/ m}^2 = 12000 \text{ TL}$$

- Ekstensif Yeşil Çatı

Yeşil çatı kurulum maliyetleri; projeye, katmanlara, iklim koşullarına, eğim gibi etmenlere bağlı olup, yaklaşık maliyet 25 €/m² katmanlar + 110 €/m³ toprak-peyzaj olmaktadır (Onduline Avrasya firması görüşmesi ile elde edilmiş verilerdir).

2017 yılı Haziran itibarı ile Euro kuru 3.96 TL olarak hesaplanmıştır. 100 m² alana sahip çatıda kurulum;

$$- \text{Katman Kurulum maliyeti: } 100 \text{ m}^2 * 25\text{€} = 2500 \text{ €} * 3.96 = 9900 \text{ TL}$$

100 m² alan için ekstensif çatıda 15 cm toprak derinliği düşünülürse 15 m³ toprağa ihtiyaç olacaktır. Bu durumda toprak, bitki işçilik dahil peyzaj maliyeti;

$$- \text{Peyzaj maliyeti: } 15 \text{ m}^3 * 110\text{€/ m}^3 = 1650\text{€} = 6534 \text{ TL}$$

$$- \text{Toplam kurulum maliyeti: } 9900 + 6534 = 16434 \text{ TL}$$

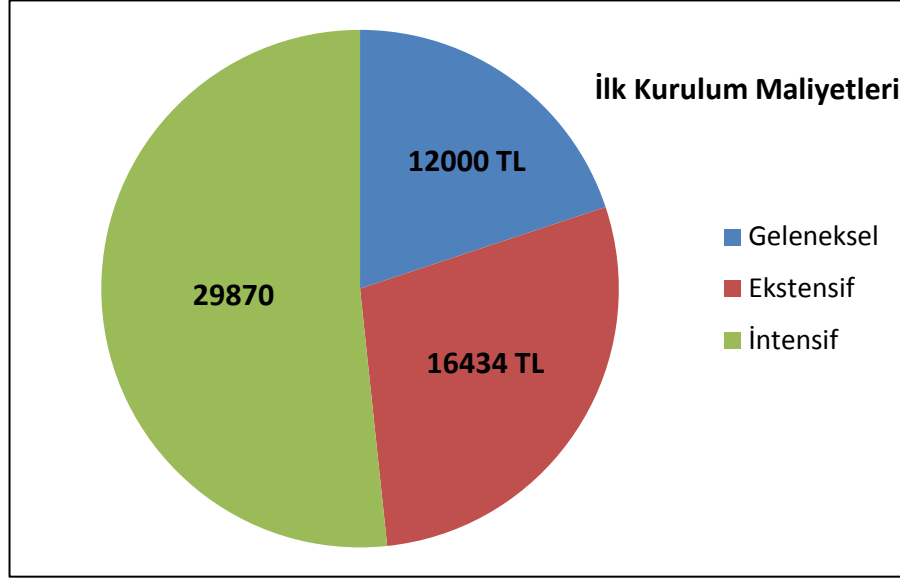
- İntensif Yeşil Çatı

Kurulumda ekstensif çatı ile aynı katmanlar tercih edilecek olup katman derinlik ve kalınlıkları farklılaşacaklardır. Katman ve peyzajda ekstensif çatının %30'u alınmıştır.

$$- \text{Katman Kurulum maliyeti: } 100 \text{ m}^2 * 32.5\text{€} = 3250 \text{ €} * 3.96 = 12870 \text{ TL}$$

100 m² alan için intensif çatıda 30 cm toprak derinliği düşünülürse 30 m³ toprağa ihtiyaç olacaktır.

- Peyzaj maliyeti: 30 m³*143 €/ m³ =4290 € ~17000 TL
- Toplam kurulum maliyeti: 12870 + 17000=29870 TL



Şekil 7.1: İlk kurulum maliyetleri.

7.3. Bakım ve Onarım Maliyetleri

- Geleneksel Çatı

Geleneksel bir çatının ortalama ömrü 40 yıldır. Kiremit çatılar 8-10 yılda bir bakım gerektiren çatılar olup 10 yılda bir bakım-onarım yapılacağı varsayılmıştır. Çatıcı İzolasyon Tic. Ltd. Şti ile yapılan görüşmede işçilik dahil çatı bakımı için maliyet:

- Kiremit aktarma işlemleri: 1500 TL
- Kiremit alt örtü yenileme: 1000 TL
- Baca ve yalıtım: 2000 TL
- Nakliye: 600 TL
- Toplam maliyet: 5100 TL

10 yılda bir bakım onarım gerekeceği düşünülmüştür. Bu maliyet yıllık bazda değerlendirildiğinde (yıllık fiyat artışları ihmal edilmiştir):

$$- 5100 \text{ TL}/10\text{yıl}=510 \text{ TL/yıl}$$

- Ekstensif Yeşil Çatı

Yeşil çatılar iyi bir kurulum işleminden sonra, kullanılan malzemede önemli bir bakım-onarım gerektirmemektedir. Maslakta 2002 yılında bir yapı üzerine kurulan ekstensif sistem çatıda, 15 yıldır ek sulama gerekmediği ve kurulumunda sonra hiçbir bakım-onarım yapılmadığı kurulum yapan firma tarafından belirtilmiş olup her sene gözlemlenmeye devam edilmektedir. Bu nedenle ekstensif yeşil çatıda kendi kendine yetişen ve sulama gerektirmeyen bitki seçilerek bakım ve onarım maliyeti oluşmayacağı düşünülmektedir.

- İntensif Yeşil Çatı

Çatının bitki örtüsü; toprak ve bitki seçimine bağlı olarak bakım gerektirmekte olup, sistem yapı katmanlarında bakım-onarım maliyeti oluşmamaktadır. (Onduline Avrasya firması görüşmesi ile elde edilmiş bilgilerdir). İntensif çatılarda seçilen bitki türü çok yıllık ağaçlar olup bakım onarım maliyeti olarak aylık peyzaj bakımı düşünülmektedir. Sulama suyu amacıyla yağmur suyu ve gri su kullanılacağı için maliyet oluşmayacağı düşünülmektedir. Toprak verimleştirme amacı ile kompost kullanımı olacağından toprak kaybı ihmal edilmiştir.

Peyzaj bakım maliyeti (budama işlemleri ve kompost serimi için bahçivandan alınan fiyattır): $1\text{-}2 \text{ TL}/\text{m}^2$

Ayda 1 kez peyzaj bakımı düşünülmekte olup maliyet $1.5 \text{ TL}/\text{m}^2$ alınmıştır.

$$- \text{Bakım maliyeti: } 1.5 \text{ TL}/\text{m}^2 * 100 \text{ m}^2 * 12 \text{ ay/yıl} = 1800 \text{ TL/yıl}$$

7.4. Enerji Maliyetleri

7.4.1. Müstakil Tek Katlı Bina için Uygulama

Geleneksel çatıda yapılan araştırmalar göz önünde bulundurularak ısınma amaçlı yıllık enerji kullanımı 100-200 kWh/m² arası değişmekte olup binanın tek katlı, 5 katlı bitişik nizam ya da 5 katlı tekli blok oluşuna göre değişkenlik göstermektedir. Tek katlı bina için yıllık enerji talebi 331 kWh/m² iken, 5 katlı tekli blok için 145 kWh/ m², 5 katlı bitişik nizam için 109 kWh/ m²'dir [58].

- Geleneksel Çatı

- i) Isınma Maliyeti:

100 m² bina için tüm alanın ısıtılacağı varsayımıyla yıllık enerji kullanımını 331 kWh/m² varsayarsak;

- Isınma maliyeti: $100 \text{ m}^2 \times 331 \text{ kWh/ m}^2 \times \text{yıl} = 33100 \text{ kWh/yıl}$ olacaktır.
- Isınma için yapılarda doğalgaz kullanılmaktadır.
- $1 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz} = 10.64 \text{ kWh}$
- Kocaeli için doğalgaz m³ fiyatı: 1.17 TL
- 33100 kWh enerji için yaklaşık 3100 m³ doğalgaz kullanılması gerekmekte olup;
- $3100 \times 1.17 = 3627 \text{ TL/yıl}$

- ii) Soğutma Maliyeti:

Soğutma işlemi 1.2 kWh'lik elektrikli klima kullanılmaktadır. Yılın 3 ayı soğutma amaçlı klima kullanılmakta olup ortalama günün 6 saati klimanın çalıştırıldığı varsayılmıştır.

- $90 \text{ gün} \times (6 \text{ s/gün}) = 540 \text{ saat}$
- $540 \times 1.2 \text{ kW} = 648 \text{ kW}$ yılda kullanılacak elektrik miktarıdır.
- Bölge için elektrik birim fiyatı 42 kuruştur.
- $648 \text{ kW} \times 0.42 = 272 \text{ TL}$ yıllık soğutma amaçlı elektrik kullanım bedeli olacaktır.

- Ekstensif Yeşil Çatı

- i) Isınma Maliyeti:

İyi yalıtılmış bir çatı, ısıtma ve soğutma sistemlerinde %30'dan daha fazla tasarruf sağlayabilmektedir [59].

Geleneksel çatıların yeşil çatıyla değiştirilmesi, enerji kullanımında bir azalmaya neden olmakta ve yaklaşık %40-110 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır [60].

Literatürdeki bilgiler ışığında yeşil çatının geleneksel çatıya oranla %40 enerji tasarrufu yapacağı dikkate alınırsa;

- Geleneksel çatıda yıllık ısınma enerji maliyeti: 3627 TL
- $3627 \times 0.4 = 1451$ TL/yıl tasarruf sağlanacaktır.

- ii) Soğutma Maliyeti:

Geleneksel çatıda yıllık soğutma enerji maliyeti 272 TL olup %40 tasarrufla;

- $272 \times 0.4 = 108$ TL/yıl tasarruf sağlanacaktır.

- İntensif Yeşil Çatı

- i) Isınma Maliyeti:

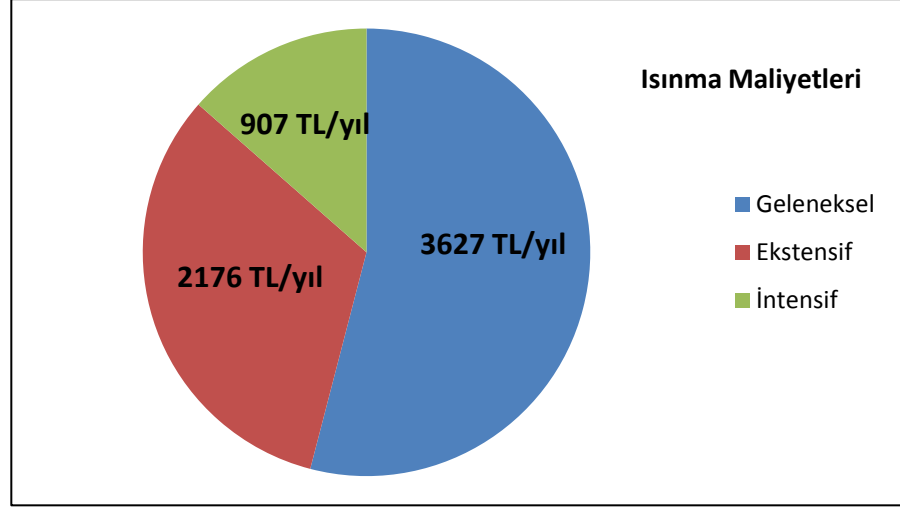
İntensif çatıda tasarruf oranı ortalama %75 kabul edilirse;

- Geleneksel çatıda yıllık enerji maliyeti: 3861 TL
- $3861 \times 0.75 = 2896$ TL/yıl tasarruf sağlanacaktır.

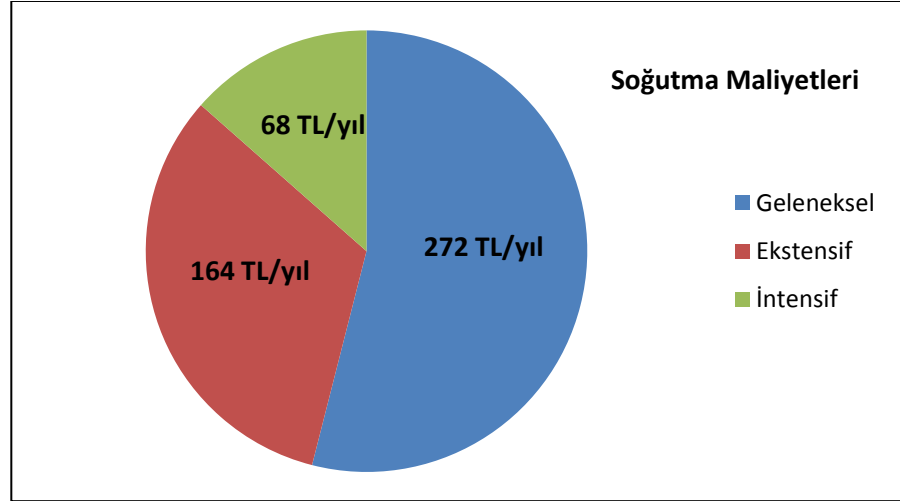
- ii) Soğutma Maliyeti:

Geleneksel çatıda yıllık soğutma enerji maliyeti 272 TL olup %75 tasarrufla;

- $272 \times 0.75 = 204$ TL/yıl tasarruf sağlanacaktır.



Şekil 7.2: Müstakil ev ısıtma maliyetleri karşılaştırma.



Şekil 7.3: Müstakil ev soğutma maliyetleri karşılaştırma.

7.4.2. Apartman Binası için Uygulama

5 katlı tek dairesi bina için enerji kullanımı yapılan literatür çalışması ve faturalar dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. 5 katlı tekli blok için yıllık ısıtma amaçlı enerji kullanımı 145 kWh/ m²'dir [58].

- Geleneksel Çatı

- i) Isınma Maliyeti:

100 m² bina için tüm alanın ısıtılacağı varsayımıyla yıllık enerji kullanımını 145 kWh/m² varsayarsak;

- Isınma maliyeti: $100 \text{ m}^2 \cdot 145 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl} = 14500 \text{ kWh/yıl}$ olacaktır.
- Isınma için yapılarda doğalgaz kullanılmaktadır.
- $1 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz} = 10.64 \text{ kWh}$
- Kocaeli için doğalgaz m³ fiyatı: 1.17 TL
- 14500 kWh enerji için yaklaşık 1300 m³ doğalgaz kullanılması gerekmekte olup;
- $1300 \cdot 1.17 = 1521 \text{ TL/yıl}$

- ii) Soğutma Maliyeti:

Soğutma işlemi 1.2 kWh'lik elektrikli klima kullanılmaktadır. Yılın 3 ayı soğutma amaçlı klima kullanılmakta olup ortalama günün 6 saati klimanın çalıştırıldığı varsayılmıştır.

- $90 \text{ gün} \cdot (6 \text{ s/gün}) = 540 \text{ saat}$
- $540 \cdot 1.2 \text{ kW} = 648 \text{ kW}$ yılda kullanılacak elektrik miktarıdır.
- Bölge için elektrik birim fiyatı 42 kuruştur.
- $648 \text{ kW} \cdot 0.42 = 272 \text{ TL}$ yıllık soğutma amaçlı elektrik kullanım bedeli olacaktır.

- Ekstensif Yeşil Çatı

- i) Isınma Maliyeti:

İyi yalıtılmış bir çatı, ısıtma ve soğutma sistemlerinde %30'dan daha fazla tasarruf sağlayabilmektedir [59].

Geleneksel çatıların yeşil çatıyla değiştirilmesi, enerji kullanımında bir azalmaya neden olmakta ve yaklaşık %40-110 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır [60]. Literatürdeki bilgiler ışığında yeşil çatının geleneksel çatıya oranla %40 enerji tasarrufu yapacağı dikkate alınır;

Yapılan literatür çalışmalarıyla apartman binasında yeşil çatının 2 alt dairesinde de %10'a kadar tasarruf sağlayacağı tahmin edilmektedir.

Geleneksel çatıda yıllık ısınma enerji maliyeti 1521 TL olup %40 tasarrufla;

- $1521 \times 0.4 = 608$ TL/yıl tasarruf sağlanacaktır.

ii) Soğutma Maliyeti:

Geleneksel çatıda yıllık soğutma enerji maliyeti 272 TL olup %40 tasarrufla;

- $272 \times 0.4 = 108$ TL/yıl tasarruf sağlanacaktır.

• İntensif Yeşil Çatı

i) Isınma Maliyeti:

İntensif çatıda tasarruf oranı ortalama %75 kabul edilirse;

- Geleneksel çatıda yıllık enerji maliyeti: 1521 TL

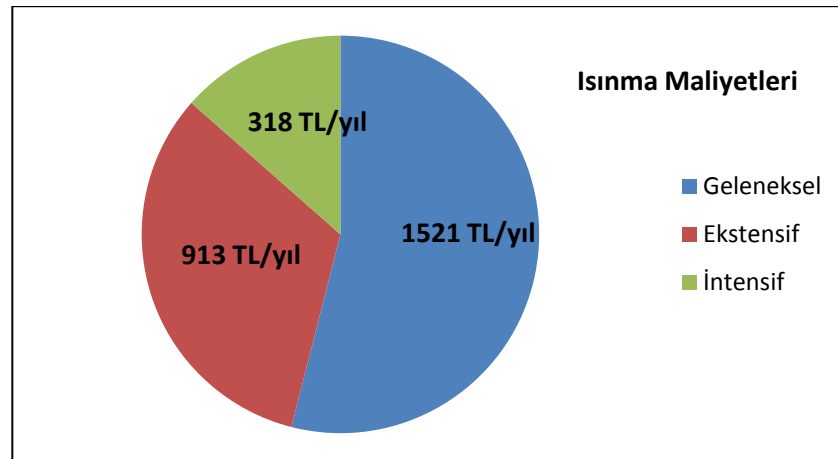
- $1521 \times 0.75 = 1140$ TL/yıl tasarruf sağlanacaktır.

ii) Soğutma Maliyeti:

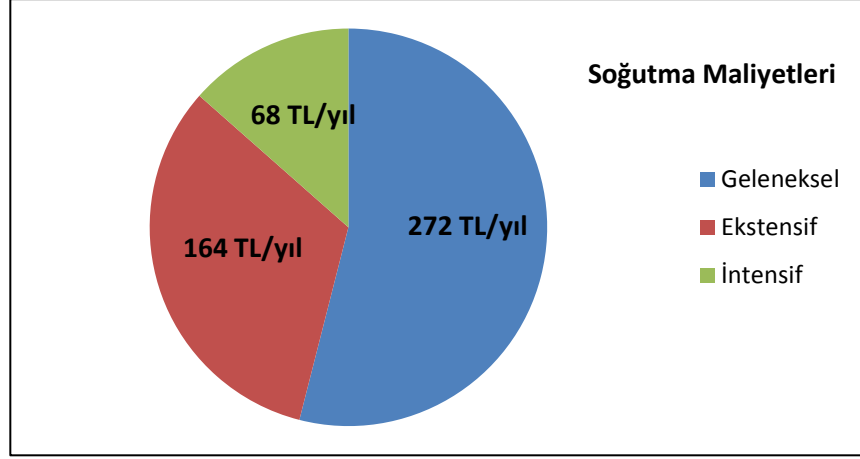
Geleneksel çatıda yıllık soğutma enerji maliyeti 272 TL olup %75 tasarrufla;

- $272 \times 0.75 = 204$ TL/yıl tasarruf sağlanacaktır.

Şekil 7.4 ve 7.5’de apartman binası için ısınma ve soğutma maliyetleri görülmektedir.



Şekil 7.4: Apartman binası ısınma maliyetleri karşılaştırma.



Şekil 7.5: Apartman binası soğutma maliyetleri karşılaştırma.

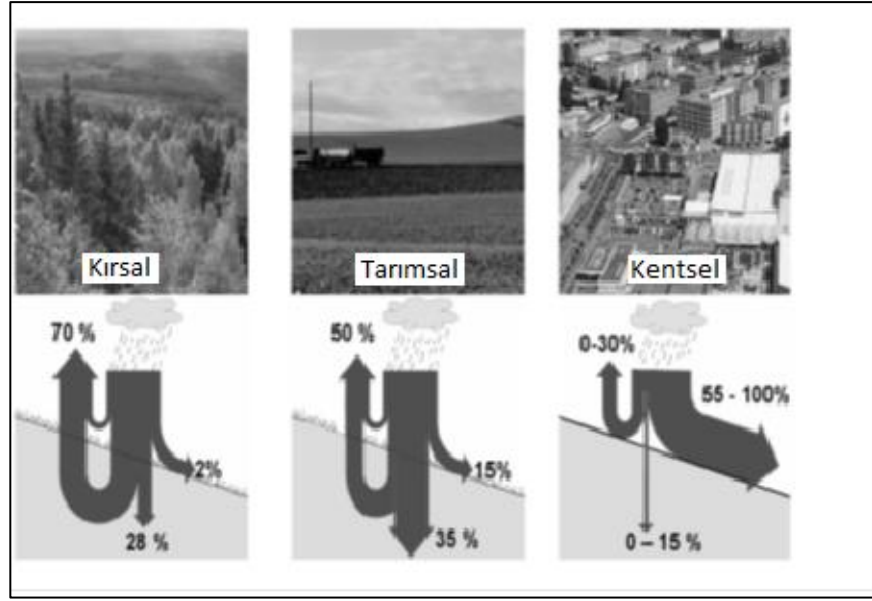
7.5. Su Tüketim Maliyetleri

Geleneksel çatıda yağmur suyunun yaklaşık tamamı çatı yüzeyinden akışa geçerek kent altyapı sistemlerine ya da su yollarına karışmaktadır. Ancak yeşil çatılar katmanları arasında bulunan drenaj sistemleri arasında su tutma kapasitesine sahip sistemlerdir. Su, bu katmanlar arasında tutulurken bitki örtüsü ve katmanlar arasında süzülerek filtrelenmiş olmakta ve doğal bir arıtım işlemi görmüş olmaktadır. Yeşil çatılarda tutulan yağmur suyu miktarı gözönüne alındığında tutulan suyun biriktirilerek sulama ve yapı içerisinde kullanımı amaçlanabilir. Bu amaçla 100 m² alan için tutulacak yağmur suyu miktarı için hesaplama yapılmıştır.

- Ekstensif Yeşil Çatı

15 cm'lik bir yeşil çatı sisteminde su tutma kapasitesi yaklaşık 37 L/ m²'dir (Onduline Avrasya firması görüşmesi ile elde edilmiş veridir.).

100 m² alanın tamamı su tutacak kapasitede tasarlandığı düşünülürse tutulacak toplam su miktarı 3.7 m³'dür.



Şekil 7.6: Yağmur suyunun kırsal, tarımsal ve kentsel alanda akışının karşılaştırılması.

Şekil 7.6'da görüldüğü üzere kentsel alanda akışa geçen kısım %55-100 oranındayken %0-15 oranında tutulma ve %0-30 oranında buharlaşma olacağı gözlenmektedir [49]. Bu durumda geleneksel çatı için kentsel alan, ekstensif ve intensif çatı için tarımsal ve kırsal alan akış değerleri alınabilir. Yıllık ortalama yeşil çatıya gelecek yağış için Tablo 6.1'de [56] görülen yıllık ortalama değeri alırsak 100 m² alanın tamamına yağmur düşeceği kabul edilirse;

- 100 m²*814.7 kg/ m²=81470 kg yıllık düşecek yağış miktarı olacaktır.

Yeşil çatının doygunluğa ulaşması için 100 m²'de toplamda yaklaşık 3.7 m³ su tutularak, kalan miktar akışa geçecektir. Kuraklık dönemleri, buharlaşma ve bitkiler tarafından tutulacak su miktarı da dikkate alınarak %30 kayıp varsayımıyla doygunluğa ulaşacağı miktar yaklaşık 5 m³ olacaktır (yıl boyu bitkilerin kullanacağı miktar hesaba katılmamıştır). Yılda akışa geçecek miktar yaklaşık 55-50 m³ olacaktır. Ekstensif çatıda sulama gerekmeyecek olup bitkiler su ihtiyacını katmanda alıkonan sudan karşılayabileceklerdir.

- İntensif Yeşil Çatı

İntensif çatıda 30 cm'lik derinlik kullanılacak olup su tutma kapasitesi ekstensif çatının iki katı olacaktır. 74 L/m² su tutacağı hesaba katılmıştır.

100 m² alanın tamamı su tutacak kapasitede tasarlandığı düşünülürse tutulacak toplam su miktarı 7.4 m³'dür.

İntensif çatı sistemleri sulama ve bakım gerektiren çatılardır. İntensif çatıda sulama için kurak olmayan, normal hava şartlarında 2-3 L/m² su gerekmektedir (Onduline Avrasya firması görüşmesi ile elde edilmiş veridir). Bitki örtüsü bu miktarı katmanlarda tutulan sudan karşılayabilecek olup çok kurak dönemlerde yapılarda toplanan gri suyun arıtılarak kullanılması hesaba katılmıştır. Yeşil çatı sistemlerinden akışa geçecek miktarlar yağmur suyu toplama sistemi ile biriktirilirse kurak dönemlerde ek sulama için gerekli olacak su ihtiyacı karşılanmasının yanı sıra yapı içerisinde kullanım suyu olarak da kullanımı mümkün olabilir.

Ekstensif ve intensif çatı için hasat edilecek su miktarları eşit kabul edilmiş, sulama için katmanlar arası tutulacak suyun kullanılacağı varsayılmıştır.

- Müstakil Ev Su Hesabı

Ayda yaklaşık 15 m³ su kullanılmaktadır.

- 15 m³/ay*12 ay= 180 m³/yıl suya ihtiyaç duymaktadır.

- Birim su fiyatı:6.09 TL/ m³

- 180 m³*6.09 TL/ m³=1096 TL yıllık su faturası olarak hesaplanabilir.

Yağmur suyu toplama ile akışa geçecek 50 m³ suyun tutulmasıyla 180 m³ ihtiyacın yaklaşık ¼'lik kısmı sağlanabilir.

Yapı içerisinde kullanılan su miktarının, gri su kısmı ayrı toplanarak arıtma işlemine tabi tutulursa yapı içerisinde kullanım suyu olarak ya da yeşil çatıda kurak dönemde ihtiyaç duyulduğunda sulama suyu olarak da kullanılabilir. Yapıda kullanılan suyun %75'inin gri su olarak toplandığı varsayımıyla;

- 180 m³*0.75=135 m³/yıl gri su oluşacağı düşünülebilir.

Bu miktar gri su toplama tankında biriktirilerek arıtma prosesine tabi tutularak, yapı içerisinde içme suyu kalitesi gerektirmeyen alanlarda kullanıma katılabilir. Gri su arıtımı için;

- Lineer cebir kullanma Arıtma öncesi ve sonrası suyun depolanacağı tank (10 m³'lük): 2*1500 TL=3000 TL
- Arıtma tesisi (giriş klor, ızgara, kum filtre, aktif karbon filtre, besleme pompası, son klor ünitesi, borulama dahil) = 15000 TL
- Toplam maliyet: 18000 TL

Hasat edilecek yağmur suyu miktarı 50 m³/yıl olup arıtılarak kullanılabilen gri su miktarı yaklaşık 100 m³/yıl kabul edilirse;

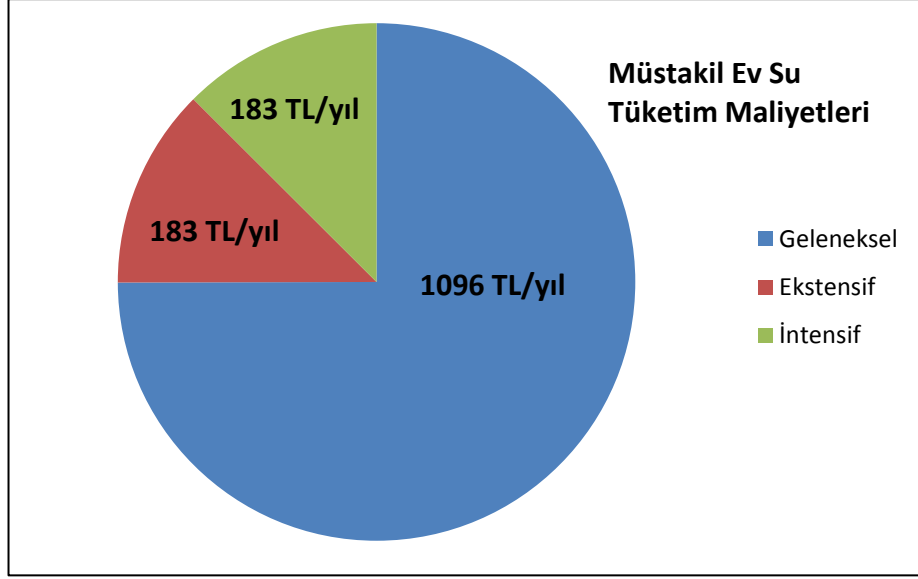
- 150 m³/yıl*6.09 TL/m³=913.5 TL/yıl suya verilecek miktardan tasarruf anlamına gelecektir.

• Apartman Su Hesabı

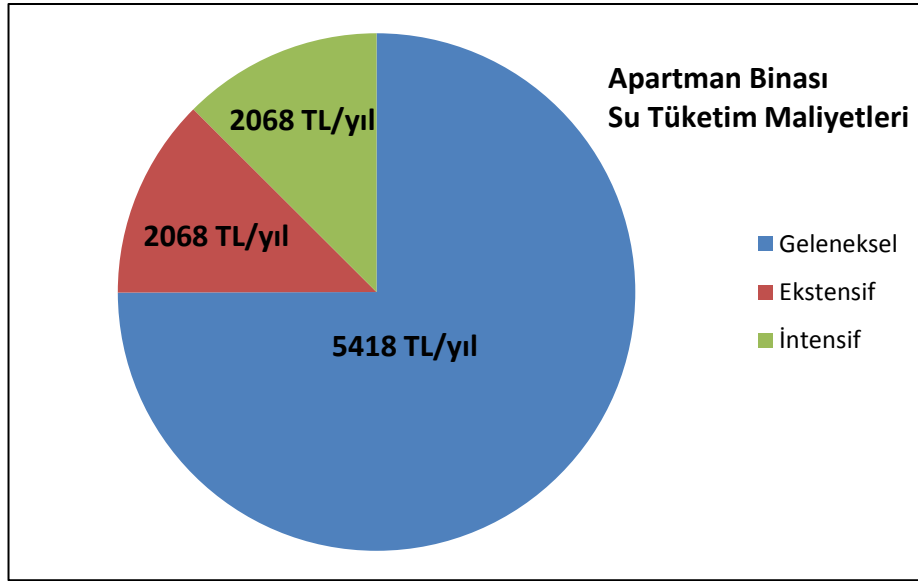
Her daire için 180 m³/yıl su ihtiyacı düşünülerek;

- 5 daire*180 m³/yıl*6.09 TL/m³=5418 TL yıllık apartmanın kullandığı toplam su için ödenecek miktardır.
- Her daire için 100 m³/yıl gri suyun arıtıldığı hesabıyla toplamda 500m³/yıl su ihtiyacı gri sudan, 50 m³/yıl su ihtiyacı yağmur suyundan karşılanacak olup toplamda 550 m³/yıl su ihtiyacı karşılanacaktır.
- 550 m³/yıl*6.09 TL m³=3350 TL/yıl tasarruf sağlanabilecektir.

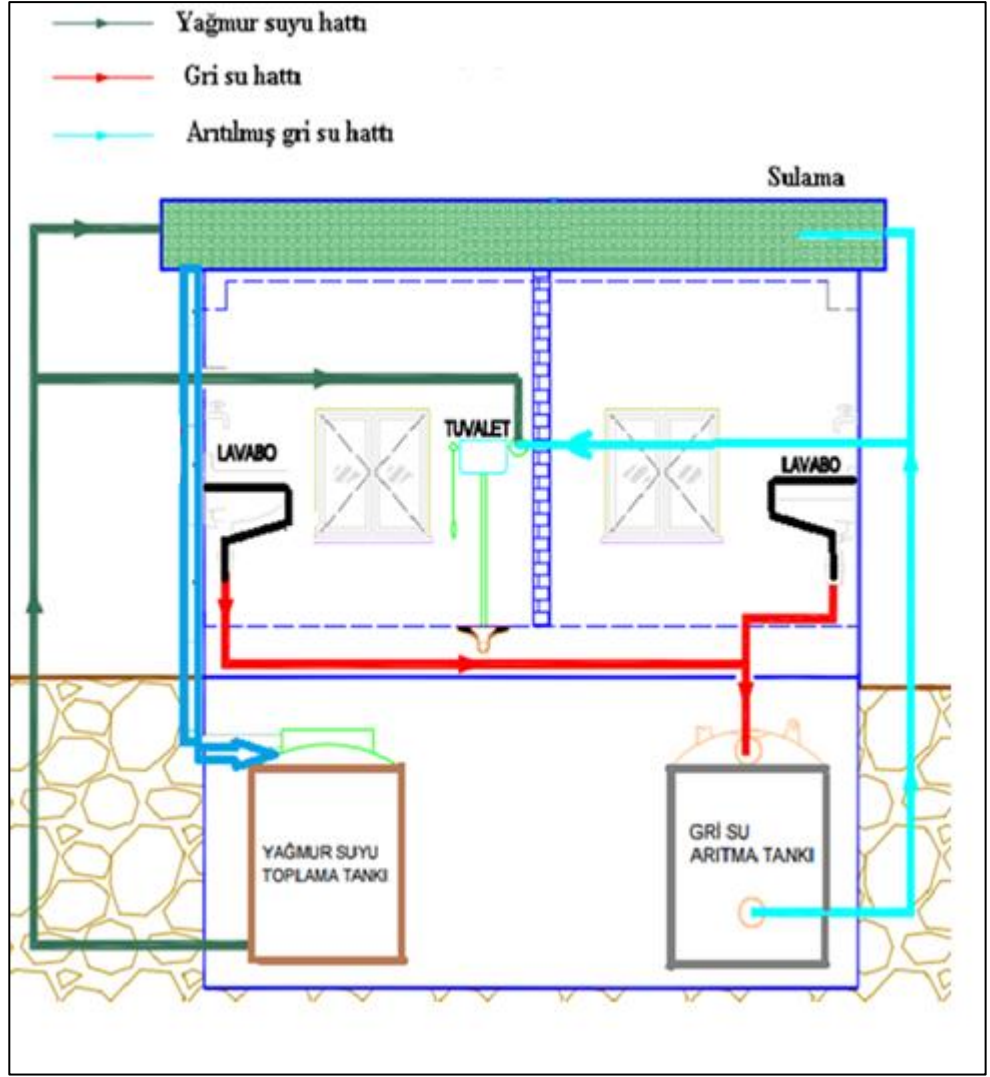
Şekil 7.7 ve Şekil 7.8'de müstakil ve apartman binasında su tüketim maliyetleri gösterilmektedir. Şekil 7.9'da yeşil çatıya sahip bir yapı içerisinde su yönetimine örnek bir yaklaşım gösterilmektedir.



Şekil 7.7: Müstakil ev su tüketim maliyetleri.



Şekil 7.8: Apartman binası su tüketim maliyetleri.



Şekil 7.9 : Yeşil çatılı bir bina için yapılabilecek su yönetimi örneği.

7.6. Atık Miktarları

Türkiye’de kişi başına üretilen evsel atık miktarı 1 kg/gün olup Çayırova için bu miktar 0.85 kg/gün’dür. Bu miktarın %50’sinden fazlası organik atık olmaktadır [61].

Yıllık oluşacak evsel atık miktarı;

$$- 1 \text{ kişi} \cdot (0.85 \text{ kg/kişi.gün}) \cdot 365 \text{ gün} = 310 \text{ kg/yıl.kişi}$$

Bu miktarın %60’ı organik atık olarak kabul edilerek aerobik kompostlaştırma işlemine tabi tularsa;

- $310 \times 0.60 = 186$ kg/yıl kişi başı atık miktarı, şehir çöplüğüne gönderilmeden kompostlaştırma ile yapıda (yeşil çatı sistemlerinde) toprak verimleştirme amacıyla kullanılabilir.

Çayırova 2016 nüfus verilerine bakıldığında 122460 kişi olduğu görülmektedir. [62]. Bu sayının yarısının oluşturacağı atık için kompostlaştırma yapılacağı varsayılırsa;

- $122460/2 = 61230$ kişi
- $61230 \text{ kişi} \times 186 \text{ kg/yıl.kişi} = 11388$ kg/yıl atık kompostlaştırmada kullanılabilir.

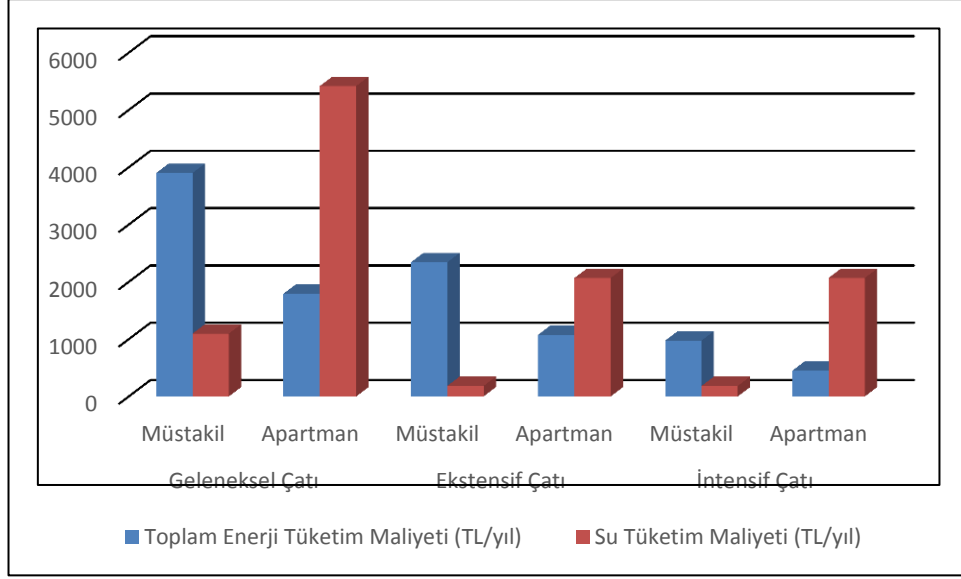
2010, 2011, 2012 yıllarında Çayırova’da evsel katı atık oluşumu ortalama 28.4 ton’dur [61]. 2017 yılı için nüfusu artışıyla beraber bu miktarın ortalama 30 ton/yıl olacağı kabul edilirse kompostlaştırma ile bu miktar 11 ton daha az olacaktır.

7.7. Enerji ve Su Tüketiminde Maliyet ve Tasarruf Karşılaştırmaları

Tablo 7.2’de ve Şekil 7.10’da yeşil çatılar ile geleneksel çatıların enerji ve su tüketim maliyetlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 7.2: Geleneksel Çatı ve Yeşil Çatılarda Enerji ve Su Tüketim Maliyetleri.

	Geleneksel Çatı		Ekstensif Çatı		İntensif Çatı	
	Müstakil	Apartman	Müstakil	Apartman	Müstakil	Apartman
Toplam Enerji Tüketim Maliyeti (TL/yıl)	3899	1793	2340	1077	975	449
Su Tüketim Maliyeti (TL/yıl)	1096	5418	183	2068	183	2068

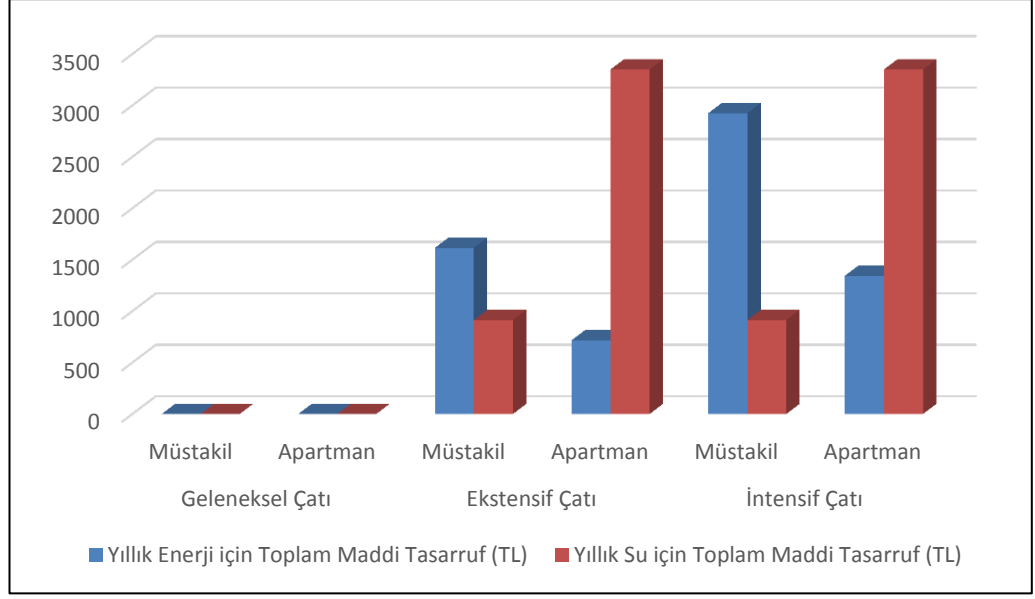


Şekil 7.10: Su ve enerji tüketim maliyetleri karşılaştırma.

Tablo 7.3 ve Şekil 7.11’de çatıların sağladığı yıllık gider ve tasarrufların karşılaştırmaları yapılmıştır. Amorti süreleri, yıllık tasarruf miktarlardan yıllık bakım ve onarım giderleri düşülerek hesaplanmıştır.

Tablo 7.3: Geleneksel Çatı ve Yeşil Çatılarda Gider ve Tasarruflar.

	Geleneksel Çatı		Ekstensif Çatı		İntensif Çatı	
	Müstakil	Apartman	Müstakil	Apartman	Müstakil	Apartman
İlk Yatırım Maliyeti (TL)	12000	12000	16434	16434	29870	29870
Yıllık Bakım Maliyeti (TL)	510	510	0	0	1800	1800
Yıllık Enerji için Toplam Maddi Tasarruf (TL)	-	-	1615	716	2924	1344
Yıllık Su için Toplam Maddi Tasarruf (TL)	-	-	913	3350	913	3350
Yıllık Toplam Enerji ve Su Tasarrufu (TL)			2528	4066	3837	4693
Amorti süresi (yıl)	-	-	6.5	4	14.5	10



Şekil 7.11: Su ve enerji tasarrufları karşılaştırma.

8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sanayileşme ile beraber kentlerin de çevre üzerine bıraktıkları olumsuz etkiler artmaktadır. Dünyada 300'den fazla şehirde bir milyondan fazla nüfus yaşamaktadır ve 21 mega kentte ise nüfusun tek bir şehir için 10 milyondan fazla olduğu ve günümüz insan nüfusunun yaklaşık %50'sinin şehirlerde yaşadığı görülmektedir. 2030 yılına gelindiğinde bu yoğunluğun %60'a ulaşacağı, gelişmiş ülkeler için %82'yi bulacağı öngörülmektedir [63]. Şehir yaşam alanları, dünya yüzeyinin sadece % 2'sini işgal etmekte ancak enerji tüketiminin % 60-80'ini, karbondioksit emisyonlarının ise % 75'ini oluşturmaktadırlar. Hızlı kentleşme ile ekosistem üzerindeki ciddi çevresel baskılar, insan sağlığı ve sürdürülebilirliği için artan bir tehdit oluşturmaya devam etmektedir [63].

Artan nüfus, sanayileşme, kaynakların tahribatlı kullanımı yanında yeşil çatılar, insanların nefes alabilecekleri ortamlar yaratarak, sanayileşme, büyüme ve gelişmeyle ortaya çıkan olumsuz birçok etkinin önüne geçebilecektir. Kentlerde azalan yeşil alanların yapıların üzerinde yükselmesi, görsel ve psikolojik olarak olumlu etki yaparak, bitki çeşitliliği adına da doğal ortamların gelişmesine katkı sağlayacaktır.

Yeşil çatıların faydaları sadece yapı korunumu ile sınırlı olmamakla beraber çevresel anlamda da yeni gelişmelere açık olmalıdır. Bu amaçla, geri dönüşümlü malzeme kullanımı, katı organik atıklardan kompost oluşumuyla toprak verimliliğin artırılması, yağmur suyunun sisteme kazandırılması, atıksuların toplanarak gerekli işlemlerden geçirilmesiyle yeşil çatılarda ve yapı içerisinde kullanımı, hava kirliliğinin, gürültü kirliliğinin önlenmesi ve şehir sıcaklığındaki dalgalanmaların önüne geçmesi çevresel alanda sağlayacağı faydalardandır. Mevcut çatı sistemlerinde bulunan solar güneş panellerinin yeşil çatılarda da devam ettirilmesiyle sıcak su kullanımının yanı sıra gerekli elektriğin üretilmesi düşüncesi de yaygınlaştırılabilir. Yine yenilenebilir enerji kapsamında kurulabilecek rüzgar enerjisi dönüştürücüleri de bu yolda katkı sağlayabilecektir. Bu amaç için atılacak her adımla doğal kaynak kullanımında israfın önüne geçilebilecek ve sürdürülebilir çevre kapsamında gelecek nesillere de yaşanılabilir alanlar bırakılmış olacaktır.

Sürdürülebilir şehir yaşamına katkı sağlamasıyla yeşil çatılar, ısı yalıtımı yönüyle de enerji kullanımında önemli tasarruflar sağlayacaktır. Literatür çalışmaları

göstermiştir ki, binanın ve yeşil çatıların özelliğine bağlı olarak yaz boyunca soğutma için kullanılan enerji ihtiyacını, geleneksel çatılara oranla ortalama günlük %25-75 oranında azaltmaktadır. Kentsel ısı adası etkisi ile yapılaşmanın şehir üzerine yaptığı baskıyı azaltarak şehir ısını 3-4 °C azalttığı gözlenmektedir.

Sahip olduğu bitki örtüsü ile hava temizliğine katkı sağlayarak çevre ve yapı içi ısı dalgalanmalarının da önüne geçebilecektir. Daha az iklimlendirme ihtiyacı ile kullanıcı için maddi tasarruf sağlarken enerji üretimi ve kullanımı kaynaklı CO₂ emisyonlarının da azalmasına neden olacaktır. İç yapı hava sıcaklığını geleneksel çatılara oranla %60 oranında zayıflattığı ve ortalama 5 °C kadar düşürdüğü yapılan çalışmalarda görülmüştür. Yeşil çatıların sadece yapılacak yeni inşaatlarda planlanması bile 288 bin ton CO₂ eşdeğerine kadar azalmaya neden olabilir. 1 m²'lik bir alana sahip yeşil çatı yılda 5 kg CO₂ gazını emebilmektedir. Ayrıca yeşil çatıların metrakare başına 375 gr karbonu tutabildiği sonucuna literatür araştırmalarıyla ulaşılmıştır. Bu durum da yeşil çatıların sera etkisinin önüne geçebilecek iyileştirmeler için iyi bir alternatif olduğunu ve sürdürülebilir kentlerde karbon ayak izinin azaltılmasında olumlu etkiler yapacağını göstermektedir.

Hava kirliliği üzerinde gösterdiği etki ile de sürdürülebilir kent yaşamında sağlıklı birey yaşamını desteklemektedir. Yapmış olduğu doğal filtreleme görevi ile yağmur sularından kaynaklı kirlenici parametreleri tutarak su yollarına ulaşımını engellemektedir. Partikül madde kaynaklı hava kirliliğini önemli oranda azaltmakla beraber 2000 m²'lik çim bir alanın 4 ton kadar partikül madde tutabileceği araştırmalarda gözlenmiş ve yeşil çatıların bitkilendirilmesiyle yüksek oranlarda NO_x ve SO_x 'lerin tutulabileceği görülmüştür.

Yeşil çatıların yağmur suyunun akışlarını geciktirerek altyapı sistemlerine sağlayacağı katkı yanında tutulamayan suyun denizler, altyapı sistemleri gibi geri kullanımı mümkün olmayan noktalara ulaşması önlenebilecektir. Bu özelliği ile yazın kanalizasyon sistemleri üzerindeki yükü %70-95 arası azalttığı, akış başlangıcını ortalama 5.7 saat geciktirdiği ve pik akışı ortalama 2 saat kadar ertelediği yapılan literatür çalışmalarında gözlenmiştir. Yapılacak olan yağmur suyu hasatı ile beraber bünyesinde tutacağı su ile de akışta gecikme yaparak kent taşkınlarını önlemede etkili olacaktır. Yetiştirilen bitki türü ve yağış yoğunluğu gibi etkenlere bağlı olarak ekstensif çatılarda %60 oranında, intensif çatılarda ise %100 oranında yağmur suyu akışında azalma yaptığı gözlenmiştir. Literatür sonuçlarında görülmektedir ki yağış miktarı ile tutulan yağış yüzdesi arasında ters bir ilişki vardır.

Çatının doyuma ulaştıktan sonraki yağış oranı akışa geçecektir. Bu durumda göstermektedir ki büyük ölçekli yağışlarda çatının doymasıyla akışa geçecek miktar artacaktır. Bu suların alıkonmasıyla kaybolmaya yüz tutmakta olan temiz su havzalarına olumlu katkılar sağlanabilir. 20-40 cm arası bitkilendirilmiş yeşil bir çatı 10-15 cm yüksekliğinde su tutma kapasitesine sahiptir. 10-20 cm toprak kalınlığına sahip yeşil bir çatı üzerine düşen yağmurun %50-60'ını tutabilmektedir. 50 cm'e çıktığında ise bu oran %90'lara ulaşmaktadır. Yoğun kış şartlarında kar ve donma koşullarında bile aylık yağışın %20'si, yaz aylarında ise yaklaşık tamamının tutulduğu yapılan araştırmalarda ortaya çıkan sonuçlardandır.

Günümüzde dünyanın en önemli sorunlarından birisi su kıtlığıdır ve kentleşme hızının artışı ile su ihtiyacı da hızla artmaktadır. 2030 yılına kadar %40 oranında bir arz açığı yaşanması beklenmektedir [64]. Kentleşmeyle ilişkili olarak yağmur suyu akışı ve geçirimsiz alanların artması ile su kalitesi, su havzaları ve su sitemleri üzerine olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Kıt olan su kaynaklarının korunması ve devamlılığının sağlanabilmesi akılcı bir Entegre Su Yönetimi Teknolojilerinin (EKSYT) uygulanmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda üzerinde durulması gerekli konular; yağmur suyu yönetimi ve yağmur suyu toplama, su tasarrufu, su ıslahı ve suyun yeniden kullanımı, enerji yönetimi, besin maddesi geri kazanımı, kaynak ayrımı ve suyun yerelleştirilmesi ve yerel yer altı sularının korunması ve kullanılması olarak tarif edilebilir. [65]. Dünya üzerindeki sınırlı tatlı su kaynakları düşünüldüğünde yeşil çatılar sürdürülebilir kent yaşamı kapsamında su yönetiminde önemli bir yere sahip, değerlendirilebilir fırsatlardandır.

İnsan yaşamının modern çağa ayak uydurma zorunluluğu ile ortaya çıkan stres altında yaşam, yeşil çatıların sağlayacağı yeni yeşil alanlarla, daha sağlıklı ortam ve estetik görüntü nedeniyle psikolojik anlamda iyileşme sağlayacaktır. Şehirselleşmeyi absorblaması ile de sağlıklı şehir yaşamını desteklemektedir.

Kentsel tarım amaçlı kullanımı ile yapı kullanıcılarına daha sağlıklı, temiz, ulaşım zorluğu olmayan, güvenilir gıda temini ve bütçe konusunda destek sağlayabilecektir. İllerdeki kent hayatının sürdürülebilirliği için insanların kendi gıdalarını konutlarında yetiştirmesi kaçınılmaz bir durum olacaktır. Bu amaç için çatıların kullanılması direk güneş ışığının alımını sağladığı için de tarım yapılabilir alanlara iyi bir alternatif olabilecektir.

Yapılan literatür çalışmalarının da gösterdiği gibi yeşil çatılar, sürdürülebilir yaşamı oluşturan ekonomik, sosyal ve çevresel unsurlarda önemli oranda fayda

sağlamaktadır. Gerek doğal yaşam, doğal kaynak kullanımı, çevre kirliliğinin önüne geçmesi gerekse sağlayacağı ekonomik iyileştirmeler ile şehir hayatını daha yaşanabilir kılacaktır. Enerji ve su yönetiminde ortaya konulan hesaplamalarla, kent yaşamında ekonomik açıdan sağlayacağı tasarruflar göz önüne alındığında; maddi yükü ömrü boyunca kıyaslandığında 6-15 yıl arası kendini amorti edebileceği görülmektedir. %60-80 arası su tasarrufu sağlarken %40-75 arası enerji tasarrufu öngörülmektedir. Yapılacak kompostlama işlemi ile kent üzerinde atık yükünde %35 oranında azalma sağlayabilecektir.

Yeşil çatılar; mevcut yaşam şartlarında uygulama zorluğu, maddi yük getirisi düşüncesi, kullanım zorluğu düşüncesi nedeniyle ülkemizde yavaş adımlarla ilerlese de son yıllarda artan uygulama örnekleri ile şehir sakinlerine yeni alternatifler sunarak yükselen trend eğilimi göstermektedir. Alışveriş merkezleri, okul ve kamu binaları, hastaneler, özel tesisler üzerinde yükselecek yeşil çatılar şehrin silüetini pozitif yönde değiştirecektir. Daha yeşil yapı yüzleriyle gri şehirler yerini daha yeşil ve yaşanılabilir şehirlere bırakacaktır.

Yeşil çatılar ile ölü alan olan çatılar renklenecek, gelişen teknoloji ile yenilenebilir enerjinin cenneti olan ülkemizde katma değer oluşturulabilir hale gelecektir. Ülkemizde kişi başına düşen yeşil alanların miktarı artmış olacak ve bu durumda insan psikolojisi üzerinde gerek iş stresi, gerek şehir stresinin olumsuz etkisinin azalmasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Garrison N., Horowitz C., (2012), “Looking Up: How Green Roofs and Cool Roofs Can Reduce Energy Use, Address Climate Change, and Protect Water Resources in Southern California”, NRDC Report (Natural Resources Defence Council), R:12-06-B, 1-31.
- [2] Erdede S. B., Bektaş S., (2014), “Ekolojik Açıdan Sürdürülebilir Taşınmaz Geliştirme ve Yeşil Bina Sertifika Sistemleri”, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(1), 1-12.
- [3] Web 1, (2016), www.wikipedia.com, (Erişim Tarihi: 13/06/2016).
- [4] Worden E., Guidry D., Ng A. A., Schore A., (2004), “Green Roofs in Urban Landscapes”, Environmental Horticulture Department, UF/IFAS EDIS Publication ENH 984, 1-3.
- [5] Ekşi M., Rowe D. B., (2014), “Bitkilendirilmiş Çatı Sistemleri ve Kentsel Tarım Olanakları”, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye, 3-4 Nisan.
- [6] Arslan F., (2014), “Türkiye’de Sürdürülebilir Doğal Kaynak Kullanımı Arayışlarına Bir Örnek: Yeşil Binalar”, Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 2(1), 288-304.
- [7] Al-Zu’bi M., Mansour O., (2017), “Water, Energy, and Rooftops: Integration Green Roof Systems into Building Policies in the Arab Region”, Environment and Natural Resources Research, 7 (2), 11-36.
- [8] Web 2, (2017), www.cedbik.org, (Erişim Tarihi: 20/04/2017).
- [9] Getter K. L., Rowe D.B., (2006), “The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development”, Hort Science 41, 1276-1285.
- [10] Web 3, (2016), www.izogun.com/TR/dosya/1-380/h/ondugreen.pdf, (Erişim Tarihi: 15/09/2016).
- [11] Koç Y., Gültekin A. B., (2010), “Yeşil Çatılar ve Türkiye’deki Uygulamaları”, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Buca, İzmir, Türkiye, 15-16 Nisan.
- [12] Erkul E., (2012), “Yeşil Çatı Sistemlerinin Yapım Açısından İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [13] Tolderlund L., (2010), “Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West”, Green Roof Professional (GRP) Accreditation, 14-28, Denver, USA, 10 November.

- [14] Berndtsson J. C., (2012), "Green Roof Performance Towards Management of Runoff Water Quantitiy and Quality: A review", *Ecological Engineering* 36, 351-360.
- [15] Web 4, (2017), www.pys-proaktif.com, (Erişim Tarihi: 07/05/2017).
- [16] Berardi U., GhaffarionHaseini A., (2013), "State-of-the-Art-Analysis of the Environmental Benefits of Green Roofs", *Applied Energy* 115, 411-428.
- [17] Web 5, (2017), www.mimarlıkdergisi.com, (Erişim Tarihi: 18/03/2017).
- [18] Web 6, (2017), www.malzemedersi.com, (Erişim Tarihi: 07/06/2017).
- [19] Web 7, (2017), www.emlakkulusi.com, (Erişim Tarihi: 04/03/2017).
- [20] şahin, N. İ., Manioğlu G., (2011), "Binalarda Yağmur Suyunun Kullanılması", X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 529-542, İzmir, Türkiye, 13-16 Nisan.
- [21] Yaman C., (2009), "Siemens Gebze Tesisleri Yeşil Bina", IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1091-1100, İzmir, Türkiye, 6-9 Mayıs.
- [22] Esin T., Yüksek İ., (2009), "Çevre Dostu Ekolojik Yapılar", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs.
- [23] Web 8, (2017), www.ekoyapidergisi.org, (Erişim Tarihi: 03/03/2017).
- [24] Web 9, (2017), www.dunyainsaat.com, (Erişim Tarihi: 04/03/2017).
- [25] Berndtsson J. C., Bengtsson L., Jinho K., (2008), "Runoff Water Quality from Intensive and Extensive Vegetated Roofs", *Ecological Engineering* 35, 369-380.
- [26] Appl R., Ansel W., Frueh S., Kaban A., Pekçay M., (2015), "Explore the Nature on Rooftops", 4. International Green Roof Congress, İstanbul, Türkiye 20-21 Nisan.
- [27] Web 10, (2017), www.osman.midilli.com/yesil-cati/, (Erişim Tarihi: 02/06/2017).
- [28] Web 11, (2017), www.kilsanblog.com, (Erişim Tarihi: 02/06/2017).
- [29] Web 12, (2017), www.slideshare.net/AndrewMyrthong/green-roofs-57239083, (Erişim Tarihi: 17/04/2017).
- [30] Ayçam İ., Kınalı M., (2013), "Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi", *Tesisat Mühendisliği*, 135, 26-34.

- [31] Kumar V., Dr.. Mahalle A.M., (2016), “Green Roofs for Energy Conservation and Sustainable Development: A review”, International Journal of Applied Engineering Research, 4, 2776-2780.
- [32] Livingstone K., Rogers R., Bishop P., (2008), “Living Roofs and Walls”, Mayor of London, Ecology Consultancy, 1-57, England, February.
- [33] Akgün M., (2017), “Yapı Malzemelerinde Karbon Ayak İzi Analizi ile Yaşam Döngüsü Analizinin Karşılaştırılması”, Temodinamik, 293, 56-62.
- [34] Mahdeloei S., Farahani F.H., Shakori M.J., (2012), “The Role of Roof Gardens in Saving Energy and Reducing the Heat Island Phenomenon”, Annals of Biological Research, 3 (4), 1704-1707.
- [35] Lin W., Wu T., Zhang C., Yu T., (2011), “Carbon Savings Resulting From the Cooling Effect of Green Areas: A Case Study in Beijing”, Environmental Pollution 159, 2148-2154.
- [36] Söğüt Z., Şenol D., (2014) “Kentsel Çevre Kapsamında Yeşil Çatı ve Cephelelerin Değerlendirilmesi”, Akademik Platform ISEM 2014, A6, 733-742, Adıyaman, Türkiye, 24-26 Ekim.
- [37] Web 13, (2017), <http://www.yesilcati.com.tr/yesil-cati-sistemi/kentsel-isi-adasi-etkisi.html>, (Erişim Tarihi: 02/06/2017).
- [38] Oberndorfer E., Lundholm J., Rowe B., (2007), “Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services”, BioScience, 57 (10), 823-833.
- [39] Web 14, (2016), www.cevreselfaydalar.net, (Erişim Tarihi: 11/10/2016).
- [40] Rowe D.B., (2010), “Green Roofs as a Means of Pollutant Abatement”, Environmental Pollution 159, 2100-2110.
- [41] Erengöz Ç., (2007), “Çatı Dedğin Yeşil mi Olur”, ÇA-BA Tasarım Sanat ÇEDBİK, 1-3.
- [42] Whittinghill L.J., Rowe D.B., Schutzki R., Cregg B.M., (2013), “Quantifying Carbon Sequestration of Various Green Roof and Ornamental Landscape Systems”, Landscape and Urban Planning 123, 41-48.
- [43] Dr. Mithraratne N., (2013), “Carbon Footprint of Green Roofs in Singapore”, Proceedings of the Sustainable Buildings-Construction, Production and Technologies Conference, 638-646, Graz, Austria, 25-28 September.
- [44] Dikmen Ç. B., Savcı S., (2015), “Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Kapsamında Çevre Dostu Yeşil Çatı Uygulamalarının İrdelenmesi”, 2. International Sustainable Building Symposium, 214-220, Ankara, Türkiye, 28-30 Mayıs.

- [45] Web 15, (2016), <http://www.green-urbanscape.com/tr>, (Erişim Tarihi: 22/08/2016).
- [46] Ekşi M., Uzun A., (2015), “Yeşil atı Sistemlerinin Su ve Enerji Dengesi Açısından Değerlendirilmesi”, İstanbul Üniversitesi Orman Fakóltesi Dergisi 2016-66, 119-138.
- [47] Vijayaraghavan K., Joshi U. M., Balasubramanian R., (2011), “A Field Study to Evaluate Runoff Quality From Green Roofs”, Water Research 46, 1337-1345.
- [48] Web 16, (2016), www.timesofmalta.com/articles/view/20150412/environment, (Erişim Tarihi: 07/07/2016).
- [49] Elmer V., Fraker H., (2011), “Water, Neighborhoods and Urban Design: Micro-Utilities and the Fifth Infrastructure”, Institute of Urban and Regional Development, Working Paper 2011-04, 1-14.
- [50] Web 17, (2017), <http://blogs.ei.columbia.edu/2017/03/22/who-will-be-the-rain-catcher/>, (Erişim Tarihi: 22/03/2017).
- [51] Karaosman S.K., (2002), “ Yeşil atıların Ekolojik Yönden Değerlendirilmesi”, Ulusal atı ve Cephe Kaplamalarında ağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, 1-8, İstanbul, Türkiye, 25-26 Mart.
- [52] Islam K.M.S., (2004), “Rooftop Gardening as a Strategy of Urban Agriculture for Food Security: The Case of Dhaka City, Bangladesh”, Acta Hort 643, 241-247.
- [53] Web 18, (2017), <http://banb.club/yesil-cati/>, (Erişim Tarihi: 16/05/2017).
- [54] Web 19, (2017), <http://www.enerjiinstitutü.com>, (Erişim Tarihi: 23/06/2017).
- [55] Web 20, (2016), <http://www.palgaz.com.tr>, (Erişim Tarihi: 29/06/2017).
- [56] Web 21, (2017), <https://www.mgm.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 02/07/2017).
- [57] Web 22, (2017), <http://www.catifiyatları.gen.tr/>, (Erişim Tarihi: 02/07/2017).
- [58] Dilmaç Ş., Tırıs ., (1995), “Gebze’de Isınma Amaçlı Enerji Tüketiminin Tasarruf Potansiyeli”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi 24, 1-5.
- [59] Karslı S., Güllüce H., Saraç H., (2011), “Isıtma ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Maliyetlerinin Karşılaştırılması”, Ulusal İklimlendirme Kongresi, 41. Bildiri, Antalya, Türkiye, 18-20 Kasım.
- [60] Susca T., Gaffin S.R., Dell’Osso G.R., (2011), “Positive Effects of Vegetation: Urban Heat Island and Green Roofs”, Environmental Pollution 159, 2119-2126.

- [61] MARKA, (2013), “Kocaeli Atık Envanteri-2013”, T.C. Kocaeli Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- [62] Web 23, (2017), <http://www.kocaelinufusvatandaslik.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 03/07/2017).
- [63] Lee J. H., Hancock M. G., Hu M. C., (2014), “Towards an Effective Framework for Building Smart Cities: Lessons from Seoul and San Francisco”, Technological Forecasting & Social Change 89, 80-99.
- [64] Meng T., Hsu D., Wadzuk B., A.M.ASCE, (2017), “Green and Smart: Perspectives of City and Water Agency Officials in Pennsylvania toward Adopting New Infrastructure Technologies for Stormwater Management”, Journal Sustainable Water in the Built Environment, 3 (2), 1-8.
- [65] Leeuwen C. J., Frijns J., Wezel A., Ven F. H M., (2012), “City Blueprints: 24 Indicators to Assess the Sustainability of the Urban Water Cycle”, Water Resources Management, 26 (8), 2177-2197.

ÖZGEÇMİŞ

Ayten Koca 1989 yılında İstanbul’da doğdu. 2007 yılında başladığı Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü’nü 2011 yılında tamamladı. 2012 yılında iş hayatına atılırken 2013 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Özel bir sektörde Çevre Mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.