

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YEŞİL ÇATILARDA YAĞMUR SUYU VE GÜNEŞ ENERJİSİ
SİSTEMLERİNİN SAKARYA ÜNİVERSİTESİ'NDEKİ KAZAN
DAİRESİ BİNASINDA UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra DEMİRHAN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Yasemin DAMAR ARİFOĞLU

Eylül 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YEŞİL ÇATILARDA YAĞMUR SUYU VE GÜNEŞ ENERJİSİ
SİSTEMLERİNİN SAKARYA ÜNİVERSİTESİ'NDEKİ KAZAN
DAİRESİ BİNASINDA UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra DEMİRHAN

Department : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 08/09/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Esra DEMİRHAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam sürecinde bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, yol gösteren, tüm aşamalarda yardımcı olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasemin DAMAR ARİFOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca projenin maddi yönden desteklenmesine imkan sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2020-7-24-87) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
TABLolar LİSTESİ	xviii
GRAFİK LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxii

BÖLÜM 1.

YEŞİL ÇATI KAVRAMI VE TANIMI.....	1
1.1. Yeşil Çatılar	1
1.2. Yeşil Çatıların Tarihçesi.....	2
1.3. Yeşil Çatıların Bitkilendirme Türleri	4
1.3.1. Ekstensif (seyrek) yeşil çatılar.....	5
1.3.2. İntensif (yoğun) yeşil çatılar.....	9
1.3.3. Semi insentif (yarı-yoğun) yeşil çatılar	12
1.3.4. Yeşil çatı türlerinin karşılaştırılması	14
1.4. Yeşil Çatıların Katmanları	15
1.4.1. Bitkiler	15
1.4.2. Bitki taşıyıcı tabaka	16
1.4.3. Filtre ve drenaj tabakası.....	17
1.4.4. Mekanik etkilere karşı koruyucu ve nem tutucu tabaka	17
1.4.5. Kök tutucu tabaka	17
1.4.6. Su yalıtımı ve çatı konstrüksiyonu	18
1.5. Yeşil Çatıların Fiziksel Çevredeki Dengeleyici Özellikleri.....	18

1.6. Yeşil Çatıların Ekolojik Yönden Değerlendirilmesi	19
1.7. Yeşil Çatıların Maliyetleri.....	20
1.8. Yeşil Çatıların Avantajları ve Dezavantajları	21
1.8.1. Avantajları.....	21
1.8.2. Dezavantajları	22

BÖLÜM 2.

YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ	24
2.1. Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisi	24
2.1.1. Kentsel ısı adası etkisi	25
2.1.2. Enerji verimliliği etkisi	27
2.1.3. Rüzgarı azaltma etkisi	28
2.2. Hava Kirliliğine Etkisi.....	29
2.2.1. Havadaki partiküllerin filtre edilmesi.....	30
2.2.2. Karbondioksit ve oksijen değişimi	31
2.3. Gürültü Kirliliğine Etkisi.....	31
2.4. Kentsel Su ve Atık Su Yönetimi Etkisi.....	32
2.4.1. Yağmur suyu yönetimi.....	32
2.4.2. Yağmur suyu hasadı.....	35
2.4.3. Gri su yönetimi	36
2.5. Sera Gazları ve Ağır Metaller Etkisi	36
2.6. Elektromanyetik Radyasyonu Azaltıcı Etkisi	37
2.7. Kentsel Tarım Amaçlı Kullanımı.....	37
2.8. Çatı Membranının Kullanım Ömrüne Etkisi	37

BÖLÜM 3.

YEŞİL ÇATILARDA YAĞMUR SUYU TOPLAMA, BİRİKTİRME VE YENİDEN KULLANMA	40
3.1. Yağmur Suyu Hasadı	40
3.2. Yağmur Suyu Toplama Sisteminin Bileşenleri	42

BÖLÜM 4.

YEŞİL ÇATILARA YERLEŞTİRİLEN GÜNEŞ PANELLERİYLE

ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETMEK	45
4.1. Güneş Enerjisi.....	45
4.2. Güneş Enerjisinin Çevresel Etkileri.....	45
4.3. Artan Enerji Tüketiminin Çevreye Etkileri.....	45
4.4. Güneş Panelleri	46
4.4.1. Güneş panellerinin yapılara uygulanması.....	48
4.4.2. Yeşil çatılarda güneş panelleri uygulaması.....	49
4.4.3. Güneş enerjisi sistemlerinin çevreye etkileri.....	50

BÖLÜM 5.

YURT DIŞINDA VE TÜRKİYE'DE YEŞİL ÇATI ÖRNEKLERİ

5.1. Yurt Dışında Yeşil Çatı Örnekleri	52
5.1.1. Jean moullin lisesi	56
5.1.2. Seattle halk kütüphanesi	56
5.1.3. Nanyang teknoloji üniversitesi	57
5.1.4. Delft teknoloji üniversitesi kampüsü (hollanda)	58
5.1.5. Peyzaj mimarları topluluğu binası (abd)	58
5.1.6. Austin belediye binası.....	59
5.1.7. Şikago belediye binası (abd).....	60
5.1.8. Kaiser iş merkezi (california)	61
5.1.9. Rockefeller iş merkezi (abd)	62
5.1.10. Kanaha mauı tıp plaza	63
5.1.11. Vicenza hastanesi	63
5.1.12. California bilim akademisi müzesi (abd).....	64
5.1.13. Oakland park müzesi	66
5.1.14. Namba parks	67
5.1.15. Grosse schanze park	68
5.1.16. The residences at 900	68
5.1.17. Özel brevard residence	69
5.1.18. International place	70

5.1.19. Mill valley hillside.....	70
5.1.20. Pines calyx merkezi	71
5.1.21. Boston dünya ticaret merkezi	71
5.1.22. Dokuz ev (isviçre)	72
5.1.23. Acros fukuoka uluslararası vilayet merkezi binası (japonya).....	72
5.1.24. Casa vallarta, Meksika.....	73
5.1.25. Pekin havalimanı (çin).....	74
5.1.26. GAP genel merkezi (abd)	74
5.1.27. Vancouver kongre ve sergi binası (kanada).....	77
5.1.28. Gateway house.....	78
5.1.29. Macallen konut bloğu	79
5.1.30. Sekiz ev	80
5.1.31. Joan maragall library / bcq arquitectura	81
5.1.32. Vancouver olimpiyat köyü.....	82
5.1.33. 909 walnut fidelity kule	82
5.2. Türkiye’de Yeşil Çatı Örnekleri.....	83
5.2.1. Turkcell ar-ge binası	84
5.2.2. Küçükçekmece belediye binası	85
5.2.3. Soyak mavişehir	87
5.2.4. Eser inşaat hizmet binası	88
5.2.5. Aydın armada life.....	89
5.2.6. Ulus savoy	89
5.2.7. Ataköy konakları	90
5.2.8. Tema bahçe İstanbul	90
5.2.9. Afyonkarahisar parkvizyon konutları	91
5.2.10. Mesa hastanesi.....	91
5.2.11. H. Avni İncekara fen lisesi yurdu	92
5.2.12. Maslak plaza spring giz ek binası.....	93
5.2.13. Kanyon alışveriş merkezi	94
5.2.14. Meydan alışveriş merkezi.....	95
5.2.15. Zorlu center AVM.....	98
5.2.16. Forum istanbul alışveriş merkezi.....	100

5.2.17. Metrocity alışveriş merkezi	101
5.2.18. Four seasons istanbul at the bosphorus hotel.....	102
5.2.19. Hilton oteli.....	102
5.2.20. Sensimar spa hotel	104
5.2.21. Çeşme folkart hills.....	105
5.2.22. Çeşme folkart blu	106
5.2.23. S uluslararası binicilik merkezi	106
5.2.24. Yakacık country	107
5.2.25. One&Ortaköy	107

BÖLÜM 6.

MATERYAL, YÖNTEM VE UYGULAMA	109
6.1. Araştırma Alanının Tanıtımı	109
6.1.1. Araştırma alanının iklim özellikleri.....	110
6.2. Materyal.....	114
6.3. Yeşil Çatı, Yağmur Suyu ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Maliyet Analizi	115
6.4. Yöntem.....	116
6.5. Uygulama.....	116
6.6. Veriler	120
6.7. Bulgular	121
6.7.1. Aralık ayı yağmur suyu, güneş enerjisi ve elektrik enerjisi verileri	121
6.7.1.1. 14-31 aralık 2020 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	121
6.7.1.2. 14-31 aralık 2020 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	122
6.7.1.3. 14-31 Aralık 2020 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri.....	122
6.7.2. Ocak ayı yağmur suyu, güneş enerjisi ve elektrik enerjisi verileri	123

6.7.2.1. 1-15 ocak 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	123
6.7.2.2. 1-15 ocak 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	124
6.7.2.3. 1-15 ocak 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	124
6.7.2.4. 16-31 ocak 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri.....	124
6.7.2.4.1. 16-31 ocak 2021 tarihleri arasında sakarya'nın serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı.....	125
6.7.2.4.2. 16-31 ocak 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	125
6.7.2.4.3. 16-31 ocak 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	126
6.7.3. Şubat ayı yağmur suyu, güneş enerjisi ve elektrik enerjisi verileri	126
6.7.3.1. 1-14 şubat 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	126
6.7.3.2. 1-14 şubat 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	127
6.7.3.3. 1-14 şubat 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	127
6.7.3.4. 15-28 şubat 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	128
6.7.3.5. 15-28 şubat 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	129
6.7.3.6. 15-28 şubat 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	129
6.7.4. Mart ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri	130
6.7.4.1. 1-15 mart 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	130

6.7.4.2. 1-15 mart 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	131
6.7.4.3. 1-15 mart 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	131
6.7.4.4. 16-31 mart 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	131
6.7.4.5. 16-31 mart 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	132
6.7.4.6. 16-31 mart 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	133
6.7.5. Nisan ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri.....	133
6.7.5.1. 1-15 nisan 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	133
6.7.5.2. 1-15 nisan 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	134
6.7.5.3. 1-15 nisan 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	134
6.7.5.4. 16-30 nisan 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	135
6.7.5.5. 16-30 nisan 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	136
6.7.5.6. 16-30 nisan 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	136
6.7.6. Mayıs ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri.....	136
6.7.6.1. 1-15 mayıs 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	136
6.7.6.2. 1-15 mayıs 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	137
6.7.6.3. 1-15 mayıs 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	138
6.7.6.4. 16-31 mayıs 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	138

6.7.6.5. 16-31 mayıs 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	139
6.7.6.6. 16-31 mayıs 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	139
6.7.7. Haziran ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri	140
6.7.7.1. 1-10 haziran 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	140
6.7.7.2. 1-10 haziran 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	141
6.7.7.3. 1-10 haziran 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	141
6.7.7.4. 11-20 haziran 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	141
6.7.7.5. 11-20 haziran 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	142
6.7.7.6. 11-20 haziran 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri.....	143
6.7.7.7. 21-30 haziran 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	143
6.7.7.8. 21-30 haziran 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	144
6.7.7.9. 21-30 haziran 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri.....	144
6.7.8. Temmuz ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri	145
6.7.8.1. 1-7 temmuz 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	145
6.7.8.2. 1-7 temmuz 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	146
6.7.8.3. 1-7 temmuz 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri	146
6.7.8.4. 8-14 temmuz 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri	146

6.7.8.5. 8-14 temmuz 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri	147
6.7.8.6. 8-14 temmuz 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri.....	148
6.8. Su ve Elektrik Tasarrufu Hesabı	151
6.8.1. Su tasarrufu.....	151
6.8.1.1. 14 aralık 2020 – 14 temmuz 2021 tarihleri arasında harcanan yağmur suyu miktarları.....	152
6.8.2. Elektrik tasarrufu	152
6.8.2.1. 14 aralık 2020 – 14 temmuz 2021 tarihleri arasında harcanan elektrik enerjisi miktarları.....	153
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	155
KAYNAKLAR.....	161
ÖZGEÇMİŞ	164

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amika Birleşik Devletleri
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
ASLA	: Amerikan Peyzaj Mimarları Topluluğu
BRE	: Bina Araştırma Kuuluşu
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
BUSKİ	: Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
CA	: California
CFU	: Coloni Forming Unit
cm	: Santimetre
cm ³	: Santimetreküp
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
dB	: Desibel
E. Coli	: Escherichia Coli
EKSYT	: Entegre Su Yönetim Teknolojileri
EPA	: Environmental Protection Agency
EPS	: Expanded Polystyren Foam
g	: Gram
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
h	: Saat
HCFC	: Hidrokloroflorokarbon
Hz	: Hertz
kg	: Kilogram
kg/m ²	: Kilogram/Metrekare
kW	: Kilowatt
kW/h	: Kilowatt/Saat

kWh	: Kilowatt Saat
L	: Litre
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
m	: metre
M.Ö.	: Milattan Önce
m ²	: metrekare
m ³	: metreküp
ml	: mililitre
mm	: milimetre
MW	: Megawatt
NH ₄ -N	: Amonyum-Azot
NO ₂	: Azot Dioksit
NO _x	: Nitrojen Oksit
NO _x -N	: Nitrik Oksit-Azot
O ₂	: Oksijen
O ₃	: Ozon
°C	: Santigrat Derece
P	: Güç
pH	: Power of Hydrogen
SASKİ	: Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi
SO ₂	: Kükürt Dioksit
SO _x	: Kükürt Oksit
t	: Zaman
TL	: Türk Lirası
UV	: Ultraviyole
vs.	: vesaire
W	: Watt

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ziggurat Piramidi	2
Şekil 1.2. Babil'in Asma Bahçeleri	3
Şekil 1.3. Vidiymri Kilise.....	3
Şekil 1.4. Ekstensif yeşil çatı	6
Şekil 1.5. Ekstensif yeşil çatı yapısal kesit	7
Şekil 1.6. Ekstensif yeşil çatının tabakaları	7
Şekil 1.7. Turkcell Ar-Ge binası.....	8
Şekil 1.8. Meydan Alışveriş Merkezi	8
Şekil 1.9. İntensif (yoğun) yeşil çatı yapısal kesit	10
Şekil 1.10. İntensif (yoğun) yeşil çatılarda bulunan ağaç hendeklerinde drenajın sağlanması	10
Şekil 1.11. HDB Car Park Roof	11
Şekil 1.12. Yoğun yeşil çatılarda kullanılan bitki çeşitleri	11
Şekil 1.13. Zorlu AVM	13
Şekil 1.14. American Society of Landscape Architect	13
Şekil 1.15. Yeşil çatıların karşılaştırılması	14
Şekil 1.16. Yeşil çatı türlerinin karşılaştırılması	14
Şekil 1.17. Yeşil çatı türlerinin karşılaştırılması	15
Şekil 1.18. Yeşil çatıların katmanları	18
Şekil 2.1. Kentsel ısı adası	25
Şekil 2.2. Kentsel ısı adası sıcaklık farkları	26
Şekil 2.3. Kentsel ısı adası oluşumu.....	26
Şekil 2.4. Yeşil çatı ve geleneksel çatıların güneş ışınlarına karşı davranışlarının karşılaştırılması.....	27
Şekil 2.5. Yeşil çatıların rüzgarı azaltması	29
Şekil 2.6. Hava kirliliğinin giderilmesi	30

Şekil 2.7. Geleneksel çatı ile yeşil çatının yağmur suyu akışı	34
Şekil 2.8. Geleneksel çatı ve yeşil çatının yağmur suyunu şebekeye aktarma oranlarının kıyaslanması.....	35
Şekil 2.9. Yağmur suyu toplama sistemi	35
Şekil 2.10. Yeşil çatılarda kentsel tarım	37
Şekil 2.11. UV ışınlarının absorbe edilmesi.....	38
Şekil 2.12. Yeşil ve geleneksel çatılardaki malzemelerin sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 3.1. Günlük evsel su ve yağmur suyu değerlendirilmesi	43
Şekil 3.2. Yağmur suyu hasadı	44
Şekil 3.3. Evsel yağmur suyu hasat sistemi	44
Şekil 4.1. Çatı üzeri güneş paneli kurulumu	47
Şekil 4.2. Güneş enerjisi sistemlerinin şeması	47
Şekil 4.3. Güneş panelinin sokak aydınlatmasında kullanımı.....	47
Şekil 4.4. Çatı üzeri güneş paneli kurulumu	48
Şekil 4.5. Çatı üzeri kurulumu tamamlanmış güneş paneli dizimi	49
Şekil 4.6. Ekstensif yeşil çatıda güneş panelleri, Stuttgart'ta bulunan okul	49
Şekil 5.1. İskandinav ülkelerindeki yeşil çatılar	54
Şekil 5.2. Jean Moullin Lisesi	56
Şekil 5.3. Seattle Halk Kütüphanesi.....	57
Şekil 5.4. Nanyang Teknoloji Üniversitesi.....	58
Şekil 5.5. Delft Teknoloji Üniversitesi Kampüsü	58
Şekil 5.6. ASLA yeşil çatı	59
Şekil 5.7. Austin Belediye Binası.....	60
Şekil 5.8. Şikago Belediye Binası	61
Şekil 5.9. Kaiser İş Merkezi.....	62
Şekil 5.10. Kaiser İş Merkezi.....	62
Şekil 5.11. Rockefeller İş Merkezi.....	63
Şekil 5.12. Kanaha Maui Tıp Plaza.....	63
Şekil 5.13. Vicenza Hastanesi	64
Şekil 5.14. Kaliforniya Bilim Akademisi kesiti	65
Şekil 5.15. Kaliforniya Bilim Akademisi.....	66

Şekil 5.16. Kaliforniya Bilim Akademisi üstten görünüm.....	66
Şekil 5.17. Oakland Park Müzesi.....	67
Şekil 5.18. Namba Parks.....	67
Şekil 5.19. Namba Parks.....	68
Şekil 5.20. Grosse Schanze Park.....	68
Şekil 5.21. The Residences at 900.....	69
Şekil 5.22. Özel Brevard Residence.....	69
Şekil 5.23. İnternational Place.....	70
Şekil 5.24. Mill Valley Hillside.....	70
Şekil 5.25. Pines Calyx Merkezi.....	71
Şekil 5.26. Boston Dünya Ticareti Merkezi.....	72
Şekil 5.27. Dokuz Ev.....	72
Şekil 5.28. Acros Fukuoka.....	73
Şekil 5.29. Casa Vallarta.....	74
Şekil 5.30. Pekin Havalimanı.....	74
Şekil 5.31. GAP Genel Merkezi planı.....	75
Şekil 5.32. GAP yeşil çatı kesiti [4].....	76
Şekil 5.33. GAP Genel Merkezi.....	77
Şekil 5.34. Vancouver Kongre ve Sergi Binası.....	78
Şekil 5.35. Vancouver Kongre ve Sergi Binası planı.....	78
Şekil 5.36. Gateway House.....	79
Şekil 5.37. Macallen Konut Bloğu yeşil çatısı.....	79
Şekil 5.38. Macallen Konut bloğu.....	80
Şekil 5.39. Sekiz Ev.....	80
Şekil 5.40. Sekiz Ev.....	81
Şekil 5.41. Joan Maragall Kütüphanesi.....	81
Şekil 5.42. Vancouver Olimpiyat Köyü.....	82
Şekil 5.43. 909 Walnut Fidelity Kule yapısı.....	83
Şekil 5.44. Turkcell AR-GE Binası.....	85
Şekil 5.45. Turkcell Ar-Ge Binası'nın yeşil çatı görünüşü.....	85
Şekil 5.46. Küçükçekmece Belediye Binası.....	86
Şekil 5.47. Küçükçekmece Belediyesi.....	87

Şekil 5.48. Küçükçekmece Belediyesi	87
Şekil 5.49. Soyak Mavişehir	88
Şekil 5.50. Eser İnşaat Hizmet Binası arka bahçe.....	88
Şekil 5.51. Aydın Armada Life	89
Şekil 5.52. Ulus Savoy	89
Şekil 5.53. Ataköy Konakları	90
Şekil 5.54. Tema Bahçe İstanbul konut projesi	91
Şekil 5.55. Afyonkarahisar Parkvizyon konutları	91
Şekil 5.56. Mesa Hastanesi	92
Şekil 5.57. H. Avni İncekara Fen Lisesi	93
Şekil 5.58. H. Avni İncekara Fen Lisesi	93
Şekil 5.59. Maslak Plaza Spring Giz.....	93
Şekil 5.60. Kanyon Alışveriş Merkezi	94
Şekil 5.61. Kanyon AVM	95
Şekil 5.62. Meydan Alışveriş Merkezi	97
Şekil 5.63. Ümraniye Meydan AVM proje planı.....	97
Şekil 5.64. Ümraniye Meydan AVM.....	97
Şekil 5.65. Meydan AVM.....	98
Şekil 5.66. Zorlu Center	99
Şekil 5.67. Zorlu Center vaziyet planı	99
Şekil 5.68. Zorlu Center	100
Şekil 5.69. Zorlu Center	100
Şekil 5.70. Forum İstanbul AVM	101
Şekil 5.71. Metrocity Alışveriş Merkezi	101
Şekil 5.72. Four Seasons İstanbul At The Bosphorus Hotel	102
Şekil 5.73. Hilton Oteli yeşil çatısının üstten görünümü	103
Şekil 5.74. Hilton Oteli ek binası üzerindeki yeşil çatı.....	103
Şekil 5.75. Hilton Oteli yeşil çatı	103
Şekil 5.76. Sensimar Hotel çim tepeleri	104
Şekil 5.77. Sensimar Hotel lokanta üzeri yeşil çatı.....	104
Şekil 5.78. Sensimar Hotel restoran üzeri yeşil çatı	105
Şekil 5.79. Çeşme Folkart Hills üstten görünüm	105

Şekil 5.80. Çeşme Folkart Hills yeşil çatı	106
Şekil 5.81. Çeşme Folkart Blu	106
Şekil 5.82. S Uluslararası Binicilik Merkezi.....	107
Şekil 5.83. Yakacık Country.....	107
Şekil 5.84. One&Ortaköy 1.....	108
Şekil 5.85. One&Ortaköy 2.....	108
Şekil 6.1. SAÜ kazan dairesi.....	109
Şekil 6.2. Geotekstil keçe nem tutucu.....	117
Şekil 6.3. Ecb geomembran	118
Şekil 6.4. Geotekstil keçe nem tutucu.....	118
Şekil 6.5. Kök tutucu levha.....	118
Şekil 6.6. Geotekstil keçe nem tutucu.....	119
Şekil 6.7. Toprak ve çim.....	119
Şekil 6.8. Ekstensif yeşil çatı	119
Şekil 6.9. Su deposu ve borular.....	119
Şekil 6.10. Yeşil çatı, yağmur suyu ve güneş enerjisi sistemi.....	120
Şekil 6.11. Yeşil çatı, yağmur suyu, güneş enerjisi sistemi, bahçe ışıklandırılması	120

TABLolar LİSTESİ

Tablo 6.1. Maliyet Analizi.....	115
---------------------------------	-----

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 6.1. Serdivan 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki yağış miktarı.....	111
Grafik 6.2. Serdivan 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki maksimum sıcaklık.....	111
Grafik 6.3. Serdivan 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki ortalama sıcaklık	112
Grafik 6.4. Serdivan 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki ortalama nem	112
Grafik 6.5. Sakarya 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki yağış miktarı.....	113
Grafik 6.6. Sakarya 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki maksimum sıcaklık.....	113
Grafik 6.7. Sakarya 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki ortalama sıcaklık	114
Grafik 6.8. Sakarya 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki ortalama nem	114
Grafik 6.9. 14 Aralık 2020-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında sakarya'nın serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı(mm).....	148
Grafik 6.10. Yeşil çatıya düşen yağmur miktarı (l).....	149
Grafik 6.11. 14 Aralık 2020-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında sakarya üniversitesindeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur miktarı (l).....	149
Grafik 6.12. 14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 Tarihleri arasında su deposunda kalan ve biriken yağmur suyu miktarı (l).....	150
Grafik 6.13. 14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 tarihleri arasında yeşilçatı ve bahçe sulandıktan sonra depoda kalan yağmur suyu miktarı (l)	150

Grafik 6.14. 14 Aralık 2020-14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri (watt)	151
Grafik 6.15 14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri (watt)	151

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yeşil çatı, yağmur suyu, güneş enerjisi, yağmur suyunun yeniden kullanılması, enerji tasarrufu

Günümüzde nüfus yoğunluğunun ve kentleşmenin artması; su kaynaklarının miktar ve kalitesinin azalmasına, enerji ihtiyacının artmasına, karbon emisyonlarının artmasına, hava, gürültü ve çevre kirliliğine, küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine yol açmaktadır.

Yeşil çatılar, şehirlerdeki sürdürülebilir yaşamı destekleyerek, bu çevresel problemlerin kentlerdeki olumsuz etkilerini en aza indirebilecek ekolojik bir uygulamadır. Yeşil çatı sistemlerinde kullanılan bitkiler havadaki toz ve partiküllerini filtreleyerek hava kalitesini olumlu yönde etkiler. Yeşil çatıdaki bitkiler sayesinde karbondioksit miktarı azalır, oksijen miktarı artar. Bu sayede küresel ısınmanın azalmasına katkıda bulunur. Ayrıca bu bitkiler biyoçeşitliliğin artmasına da fayda sağlar. Bitkiler, binanın çevresindeki gürültüyü en aza indirerek yaşam kalitesini artırır. Yeşil çatılar; yağmur suyunun tekrar kullanılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda su depolamayı sağladığı için dünya çapında yaşanan su kıtlığının önüne geçilmesine yardımcı olmaktadır. Yeşil çatılar; enerji tüketimini azaltarak, karbon ayak izinin küçülmesine olanak sağlar.

Bu tezde, yeşil çatı sistemleri sayesinde yağmur suyunun ve güneş enerjisinin en verimli şekilde kullanılmasının etkileri araştırılmıştır. Yeşil çatıdaki yağmur suyu ile güneşli günlerde yeşil çatıdaki bitkiler ve bahçe sulanmıştır. Ayrıca çatıya yerleştirilen güneş paneli sayesinde elektrik enerjisi sağlanmıştır.

Araştırmadan elde edilen bulgulara göre deney dönemindeki 8 ay boyunca yeşil çatıdan yağmur suyu toplanarak 560 litre su tasarrufu, güneş enerjisi sistemi ile elektrik üreterek 6801,2 watt elektrik tasarrufu sağlanmıştır. Böylece iklim değişikliğini azaltmaya ve çevre kirliliğini önlemeye katkıda bulunulmuştur.

IMPLEMENTATION OF RAIN WATER AND SOLAR ENERGY SYSTEMS ON GREEN ROOFS IN THE BOILER DEPARTMENT BUILDING AT SAKARYA UNIVERSITY

SUMMARY

Keywords: Green roof, rainwater, solar energy, reuse of rainwater, energy saving

Nowadays, the increase in population density and urbanization leads to reduced quantity and quality of water resources, increased energy demand, increased carbon emissions, air, noise and pollution, global warming and climate change.

Green roofs are an ecological practice that can support sustainable life in cities, minimizing the negative impact of these environmental problems in cities. Plants used in green roof systems affect air quality positively by filtering dust and particles in the air. The plants on the green roof reduce the amount of carbon dioxide and increase the amount of oxygen. This helps to reduce global warming. These plants also benefit from increased biodiversity. Plants improve the quality of life by minimizing noise around the building. The green roofs allow the use of rain water again. It also provides water storage, helping to prevent water shortages worldwide. Green roofs reduce energy consumption, allowing the carbon footprint to shrink.

This thesis examines the effects of the most efficient use of rain water and solar energy thanks to green roof systems. On sunny days with the rain water on the green roof, plants and the garden are watered on the green roof. In addition, electrical energy is provided by the solar panel placed on the roof.

According to the information that was taken in 8 month period, by collecting the water of raining from the green roof, we could save 560 liters of water, by the solar energy, we could produce 6801,2 watt electricity. Thus, we could decrease the effect of climate change and we could contribute to preventing the effect of environmental pollution.

BÖLÜM 1. YEŞİL ÇATI KAVRAMI VE TANIMI

1.1. Yeşil Çatılar

Kentin doğasının değişmesi ve yaşam tarzlarının farklılaşması yeşil alanların azalmasına ve insanların doğadan uzaklaşmasına sebep olmuştur. Şehirlerdeki yeşil alanlar, inşaatlar nedeni ile yerini beton yapılara bırakmıştır. Bu durum, şehirlerde yeşil alanların artmasını sağlayacak projelerin hayata geçirilmesini sağlamıştır. Kentlerde yeşil alanların çoğaltmasını sağlayacak uygulamaların en önemlilerinden biri yeşil çatı sistemleridir.

Yeşil çatılar; binaların çevreye fayda ve uyum sağlaması için tasarlanan yapılarda kullanılan bir terimdir. Yeşil çatılar; yüzeyi su geçirmez membran ile kaplı, üzerinde toprak ve bitki örtüsü katmanı bulunan, bitkilerin büyümesine ve yetişmesine olanak sağlayan, kentsel alanlardaki yapılaşmadan dolayı yeşil alanların azalması, küresel ısınma nedeniyle meydana gelen iklim değişiklikleri, hava kirliliği gibi çevreyi olumsuz etkileyen faktörlerin azaltılması için çözüm sunan, toprak derinlikleri farklı olan, çatıya ek ağırlığı kaldırabilen, su, su buharı ve kökler ile oluşabilecek olumsuz etkilere karşı çatıyı koruyan, yağış miktarının az olduğu zamanlarda bitkilerin gerekli miktarda nemi tutmasına olanak sağlayan ancak gerekli zamanlarda artan nemi dışarı atabilen, bitkilerin büyümesini sağlamak için toprağa benzeyen çözünen madde sağlayan, bölgenin iklim şartlarına uygun, sürdürülebilir bitki örtüsünün uzun süre yaşamasını sağlayan, bina, çevre ve insanlar için ısı, enerji, hidrolik ve atmosferik yarar sağlayan; katmanlardaki bileşenleri UV ışınları ve ısı bozunmadan koruyan sistemlerdir.

Liu [1], yeşil çatıları; çatılarda bitki yetiştirmek için tasarlanan sistemler olarak tanımlamıştır.

Yeşil çatılar; ‘bitkilendirilmiş çatı teknolojisi’, ‘çatı bahçeciliği’, ‘ekolojik çatılar’ ya da ‘yaşayan çatılar’ olarak da tanımlanan, çevrede yetişen bitkileri ve mikroorganizmaları içeren biyolojik yapılar olarak da tanımlanmaktadır. [2] ‘Ekolojik çatı’ ve ‘yaşayan çatı’ kavramları Avrupa’da sıkça kullanılmaktadır. Bu kavramlar sıcak ve soğuk ile ilişkilidir.

Yeşil çatılar; bina çatısını yeşil tabaka ile kaplayarak, sürdürülebilirliği göz önüne almayı, çevre açısından verimli ve ekonomik olacak biçimde tasarım yapmayı hedeflemektedir. Bu sayede binalardaki ısı dengesi sağlanmaktadır [2].

1.2. Yeşil Çatıların Tarihçesi

Yeşil çatı fikrinin temeli M.Ö. 2500’lü yıllara, Mezopotamya ve Mısır uygarlıklarına kadar dayanmaktadır. Mezopotamya uygarlığında tasarlanan ve inşa edilen, Ur şehrindeki ‘Ziggurat’ isimindeki büyük basamaklı piramitlerdir [2]. Bu piramitler, bitkilendirilmiş çatıların ilk örnekleridir (Şekil 1.1.). Zigguratlar’ın halka açık kamusal bir işlevi olduğu için bölgenin sıcaklığından koruma amacıyla bitkilendirme yapıldığı tahmin edilmektedir. M.Ö. 2500’lü yıllardan günümüze kadar kullanılmakta olan bu yapının çevreye, yapıya ve insanlara birçok olumlu etkileri olduğundan tercih edilmiştir.



Şekil 1.1. Ziggurat Piramidi [2].

M.Ö. 605 yılında inşa edilen Babil’in Asma Bahçeleri az bulunan ve çok değerli bitkilerle kaplı, kemerlerden oluşan bir yapıdır. Bitkilerin ihtiyacı olan su, Noria isimli ve kemerli bölgenin ortasındaki su depoları tarafından karşılanmaktadır.



Şekil 1.2. Babil'in Asma Bahçeleri

İskandinav ülkelerinde 300 yıldır çim kaplı çatıları olan yapılar inşa edilmektedir. İzlanda'da 1874 yılında inşa edilen Vidymri kilisesinde görüldüğü gibi çatılar çimle kaplanmıştır [2].



Şekil 1.3. Vidymri Kilise

Norveçliler, izolasyon aracı olarak çatıda toprağı ve sabit durması için de bitkileri kullanmışlardır.

17. yüzyılda inşa edilen Kremlin Sarayı'nın çatısı iki kademeli bir yeşil çatıdan oluşmaktadır. 20. Yüzyılda betonun yaygınlaşması ve yeşil çatıların sıklıkla

kullanılmaya başlanması modern mimarlığa özgü olmasına rağmen, 1867 Paris Dünya Fuarı bitkilendirilmiş çatısıyla önemli bir örnek olmuştur.

20. Yüzyılda yeni ve dünya çapında bir tasarım olarak gelişen modern mimarlık, yeşil çatı sistemlerini destekler niteliktedir. Bu tasarımlardan sonra Frank Lloyd Wright ve Le Corbusier gibi mimarlar da yeşil çatı sistemlerini uygulamaya başlamışlardır. Modern mimarlığın beş ilkesini anlatan Le Corbusier, ilkelerinden birini çatı bahçeleri olarak belirleyerek, binasının çatısını beşinci cephe olarak kabul etmiştir. Bu fikrin ilk örneği; 1922’de tasarladığı, çatı peyzajının gelişmesine katkı sağlayan yeşil kent tasarımıdır. Buna örnek olarak, Poissy’deki Villa Savoye verilebilir [3]. Frank Lloyd Wright’ın çevre ile uyumlu bir mimarlığı destekleyen ve ilkelerini kurmuş olduğu organik mimarlık, yeşil çatı sistemlerini geliştirmiştir. Frank Lloyd Wright, binanın bitkiler ile estetikleştirilebileceğini düşünerek doğayı yapılarının içine taşımış, Amerika’da yaptığı yapılarda yeşilin kullanımını yaygınlaştırmıştır.

1950’li yıllarda Almanya’da yeşil çatı sistemlerinin araştırmaları ekolojik bir harekete dönüşmüş ve bu sayede yaygınlaşmaya başlamıştır [3]. Çatılarda bitki yetiştirme konularında çalışmalar yapan kurumlar kurularak ve sergiler açılarak yeşil çatı sistemlerinin betonlaşan yapıların yoğun olduğu şehirlerde estetik bir unsur olması ve ekolojik yararları incelenmiştir [3].

Yeşil çatılar, eskiden insanların rahat ve keyifli zaman geçirebilecekleri alanlar olarak tasarlanırken, günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok yönden bilimsel yararlarının ispatlandığı ve mekanlara göre kullanım şeklinin değiştiği sistemler olarak görülmektedir [3].

1.3. Yeşil Çatıların Bitkilendirme Türleri

Yeşil çatılar, iklim özellikleri, bitki çeşitleri, ekili yüzey alanı, yetiştirme ortamının derinliği, dikey yükler ve binanın taşıma kapasitesi dikkate alındığında ekstensif (seyrek), intensif (yoğun) ve semi intensif (yarı yoğun) olarak 3’e ayrılmaktadır [4].

1.3.1. Ekstensif (seyrek) yeşil çatılar

Ekstensif (seyrek) yeşil çatılar; bakım ve su ihtiyacı az olan, yüksek sıcaklık, kuraklık, rüzgar, donmayı en aza indirebilir nitelikte, kendi kendine üreyebilen ve varlığını sürdürebilen bitkilerden oluşur. Ancak bitkilerin az bakım gerektirmesi bakıma ihtiyaç duymadığı anlamına gelmez. Belirli aralıklarla bitkileri temizlemek ve gübreyle bitki örtüsünü beslemek gerekir. Seyrek çatılarda çim, yosun, küçük ağaçlar, bodur çalı, çayır örtüleri, tek yıllık veya çok yıllık otsu bitkiler, dam kuruğu, kulak otu, frenk soğanı, çim karanfili, saraypatı, ayak otu gibi bitkiler kullanılır. Su tutma özellikleri, kısa boylu olmaları, yatay yayılım göstermeleri, kolay yetişmeleri, bitkilerin uygun besi ortamında yetiştirilmesinden dolayı bu bitkiler sıkça kullanılır.

Bitkilerin Yetiştirilmesi İle İlgili Olarak;

- 60 cm'den az büyüme
- Yoğun bir kök tabakası oluşturma
- Stres zamanlarından sonra iyileşmesi
- Elastik ve sürekli form oluşturabilmesi
- Eğimli çatılarda güçlü köklenme
- Güçlü damar sistemleri
- Yüksek su depolama yeteneği gibi özellikler dikkate alınır.

Bitkilerin Yetiştirildiği Uygun Besi Ortamı;

- İyi drenaj yapılabilecek toprakları seçme
- Besin yönünden fakir topraklarda iyi rekabet edebilme
- İnce topraklara müsamaha gösterme
- Su taşkınlarına dayanıklı
- Kuraklığa dayanıklı
- Güneşli ortamları sevme veya güneşli ortamlara tolerans gösterme gibi özellikleri olmalıdır.

Diğer Koşullar;

- Çatının yönü, yüksekliği ve eğimine uygun
- Kısa ve uzun dönemlerde hayatta kalmayı sürdürebilen, her zaman yeşillikleri ile görsel açıdan estetik olan
- Çok bakım gerektirmeyen bitki türleri tercih edilmelidir.

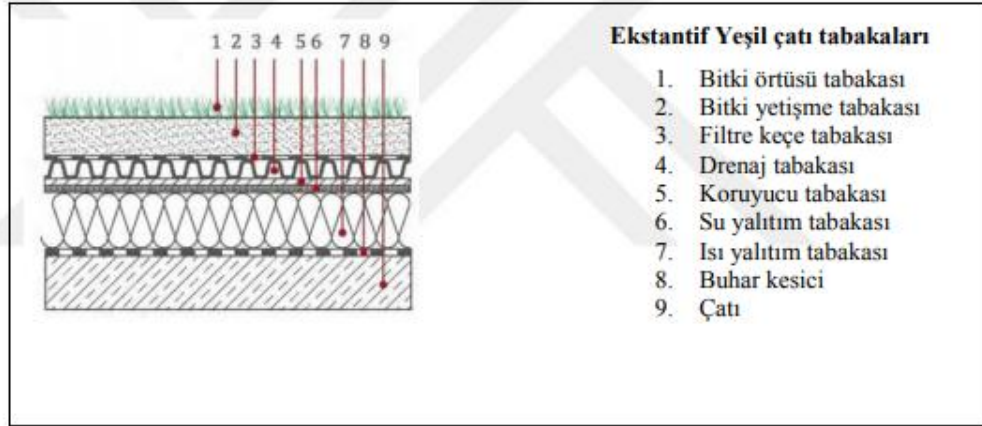
Toprak ve büyüme tabakası derinliği sığ olan ekstensif yeşil çatılar, kuraklığa karşı oldukça dayanıklıdır. Toprak kalınlığı 8-10 cm arasında olmalıdır. Ekstensif (seyrek) yeşil çatılarda kullanılan bitki türlerinin ihtiyaçlarına göre bitki taşıyıcı katman kalınlığı azdır. Kurulacağı yapının yüzeyi, doğal drene edilebilmesi için en az % 1,5-%2, en fazla % 15 eğimli olmalıdır. Ekstensif (seyrek) bitkilendirilen çatıların substrat kalınlığı 20 cm'den azdır. Suya doymuş ağırlığı 48,8 kg/m²-170,9 kg/m² arasında değişir. Metrekare başına düşen ağırlık 290 kilogramdan fazla olmaz. Bu rakamlara göre yeşil çatı sistemi, çatıya önemli derecede yük oluşturmamaktadır. Bu yüzden çatının güçlendirilmesine gerek yoktur.



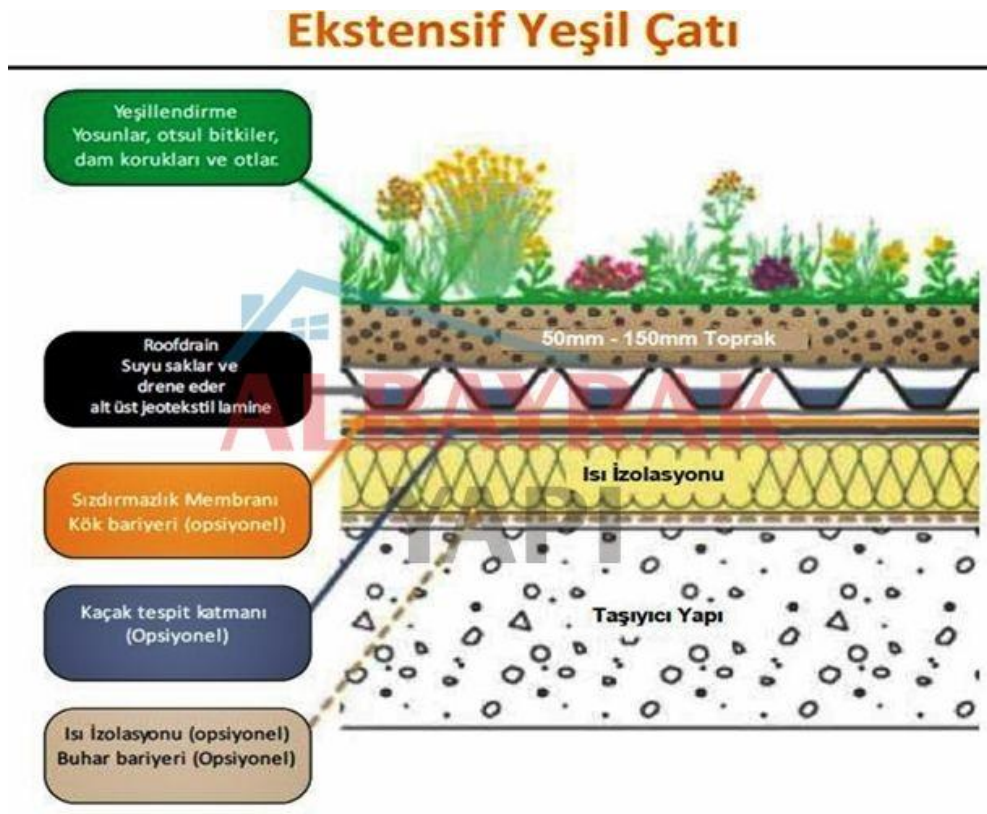
Şekil 1.4. Ekstensif yeşil çatı

Ekstensif (seyrek) bitkilendirilmiş yeşil çatılar ekolojik amaçlı tasarlanmaktadır. Üzerinde yoğun bitkilendirme yapılmadığından dolayı yapıya sağlayacağı estetik ve sosyal fayda, intensif (yoğun) bitkilendirilmiş çatıya göre daha azdır. Seyrek yeşil çatılar; bazı tabakaları bünyesinde barındırdığı için 'tabakalı sistem' olarak da

adlandırılır. Aşağıdan yukarı su yalıtım membranı, kök bariyeri, drenaj ve filtre tabakası, yetiştirme ortamı, bitki katmanlarından oluşur.



Şekil 1.5. Ekstansif yeşil çatı yapısal kesit [5]



Şekil 1.6. Ekstansif yeşil çatının tabakaları

Ekstansif yeşil çatılara Kocaeli’de bulunan Turkcell Ar-Ge Binası ve İstanbul’daki Meydan Alışveriş Merkezi verilebilir.



Şekil 1.7. Turkcell Ar-Ge binası



Şekil 1.8. Meydan Alışveriş Merkezi

Ekstensif (seyrek) bitkilendirilmiş yeşil çatıların avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Avantajları:

- 0-30 derece arasında eğimi olan çatılarda tercih edilir.
- Çok fazla ağırlığı olmadığı için çatının güçlendirilmesine gerek yoktur.
- Büyük alanlarda tercih edilen bir yeşil çatı sistemidir.

- Ekstensif (seyrek) yeşil çatılarda bitkiler büyüyüp gelişmesi açısından kendi kendilerine bırakılırlar.
- Drenaj sistemi ve sık sulamaya ihtiyaç yoktur.
- Az bakım gerektirir.
- İntensif (yoğun) yeşil çatılara göre bakımı daha ucuzdur ve düşük seviyede teknik uzmanlık yeterlidir.
- Müşteri isteklerine göre planlanması ve tasarlanması daha kolaydır.

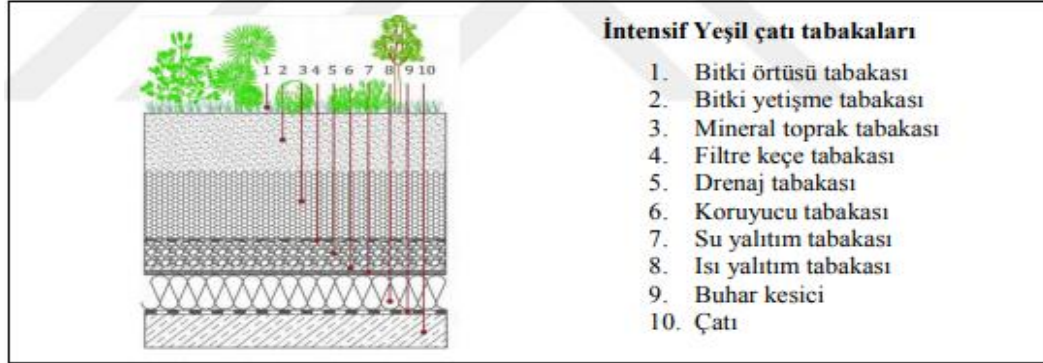
Dezavantajları:

- Sığ toprak katmanından dolayı bitki seçimi sınırlıdır. Bu durum habitat ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açar.
- Yağmur suyu tutma kapasitesi düşüktür.
- İzolasyon seviyesi düşüktür.
- Rekreasyon ve kamusal alanlar için tercih nedeni değildir. Çünkü erişime elverişli değildir.
- Ekstensif (seyrek) yeşil çatılarda yaşam koşulları serttir. Bu yüzden yetişme ortamı (substrat) tabakasının tasarımına ve ağırlığına dikkat edilmelidir.
- Çatı membranları dayanıklı ve uzun ömürlü olmalıdır.

1.3.2. İntensif (yoğun) yeşil çatılar

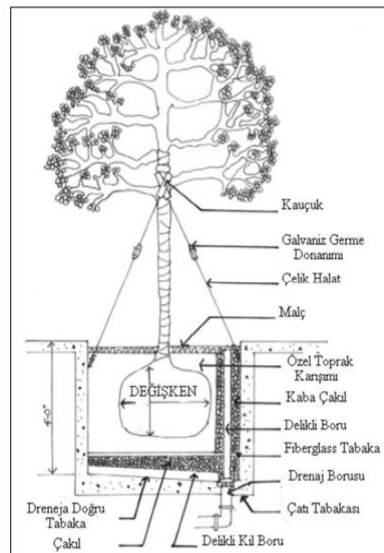
Bitki yetişme tabakası 15 ile 150 cm arası olan, çatı eğimi % 2 ile % 10 arasında değişiklik gösteren, drenaj tabakası 10 cm'den daha derin, toprak derinliği sebebiyle bitkilere daha çok kök derinliği ve yetişme ortamı sunan, yüksek sıcaklık ve yağmur suyu tutma özelliği olan, yüksek kesitli, yoğun bitkilendirilmiş ekolojik sistemlerdir [5]. İntensif yeşil çatıların; yoğun bitkilendirmeden dolayı farklı türde bitkiler, ağaçsı ve ağaçların yetişmesine olanak sağlayan derin toprak tabakası söz konusu olduğundan, sistemin çatıya verdiği yük 244,1 kg/m² ile 1464,7 kg/m² arasında değişim gösterir. İntensif yeşil çatılarda kullanılan bitkilerin iyi bir su yalıtımı, drenaj ve düzenli bakıma ihtiyaçları vardır. Yoğun bitkilendirilmiş yeşil çatı sistemi;

erişilebilirliği, bitkilerin bakım ve sulama ihtiyacı, çatıya gelebilecek mekanik etkiler göz önüne alınarak projelendirip uygulama yapılmalıdır [5].



Şekil 1.9. İntensif (yoğun) yeşil çatı yapısal kesiti [5]

Bitki dikmek amacıyla çatı tabakasının altında gerekli derinliğin olmadığı yerlerde, yükseltilmiş bitki kutuları kullanılır veya toprak tepcecik haline getirilerek eğimlendirilir ve gerekli derinlik sağlanır. İntensif (yoğun) yeşil çatılar için sulama sisteminin ekstra düşünülmesi gerekir. Dikim çukurunun boyutu bitki çeşitlerine göre belirlenir ve drenajı kolaylaştırmak için tabana 7-12 cm kalınlığında çakıl, toprak ve çakılın karışık drenaj kanalını tıkamasını engellemek amacıyla iki katman arasında fiberglass tabaka yerleştirilmelidir.



Şekil 1.10. İntensif (yoğun) yeşil çatılarda bulunan ağaç hendeklerinde drenajın sağlanması

İntensif (yoğun) çatılar; sulama ve bakım gerektiren, maliyetli, çok yönlü sistemlerdir. İntensif yeşil çatılar çim, çalı ve yarı olgun ağaçlar gibi çeşitli bitki türlerini bünyesinde barındırabilir. İntensif (yoğun) çatılarda erguvan, büyük yapraklı ortanca, sarı kantaron, çiçekli güzellik çalısı, açelya, defne yapraklı kartopu gibi bitki türleri kullanılır. Bu çatılar, insanlar ve faaliyetler için erişilebilir ortama sahiptirler.



Şekil 1.11. Waldspirale-Almanya [2]



Cercis occidentalis
(Erguvan)

Hydrangea macrophylla
(Büyük yapraklı ortanca)

Hypericum perforatum
(Sarı Kantaron)



Abelia 'Edward Goucher'
(Çiçekli Güzellik Çalısı)

Azalea spp(Açelya)

Viburnum tinus (Defne
Yapraklı Kartopu)

Şekil 1.12. Yoğun yeşil çatılarda kullanılan bitki çeşitleri [5]

İntensif (yoğun) yeşil çatıların avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Avantajları:

- Bitki çeşitliliği yönünden oldukça elverişlidir.
- Bitki çeşitliliği fazla olduğundan dolayı habitat ve biyolojik çeşitlilik de artar.
- Görsel yönden estetik bir mimari oluşturmaktadır.
- Yeşil çatı sistemini toprak zemin gibi gösterme özelliği vardır.
- Ekstensif (seyrek) yeşil çatılara göre daha fazla yağmur suyu tutmaktadır [4].
- Yoğun bir tabakaya sahip olduğu için uygulandığı binalarda enerji tasarrufu sağlamaktadır.
- Büyüme ortamının derinliğinden dolayı çatı membranının ömrünün uzun olmasını sağlamaktadır [4].
- İzolasyon özellikleri yönünden oldukça iyidir.
- Çatının farklı amaçlarla kullanımına olanak sağlamaktadır [4].

Dezavantajları:

- Çatıya yük yönünden bakıldığında ağırlık getirdiği için ek bir yapı gerekebilir.
- Sulama ve drenaj sistemleri gerektirmektedir.
- Karmaşık bir sistem olduğu için uzmanlık gerektirmektedir [4].
- Fazla bakım gerektirmektedir.
- Maliyet yönünden bakıldığında yüksek maliyetlidir.

1.3.3. Semi insentif (yarı-yoğun) yeşil çatılar

Semi intensif (yarı-yoğun) yeşil çatılar; ekstensif (seyrek) ve intensif (yoğun) yeşil çatıların birleştirilmesiyle oluşan sistemlerdir [4]. Yarı yoğun yeşil çatılar, seyrek yeşil çatılara oranla daha çok, yoğun yeşil çatılara oranla daha az yüzey derinliği sunmaktadır [4]. Bu yüzden bitki türleri ekstensif yeşil çatıya göre daha çoktur. Ancak toprak derinliği ağaç ve büyük çalılar barındırabilecek derinlikte değildir [5]. Sistem kalınlığı yaklaşık 30 cm, doymuş ağırlığı 300-350 kg/m²'dir. Semi intensif

(yarı-yoğun) yeşil çatıların bitki yetiştirme tabakası derinliği 15-25 cm, drenaj tabakası derinliği 3-5 cm, çatı eğimi % 2-% 10 arasında değişmektedir [5]. Yarı yoğun yeşil çatıdaki bitki örtüsü tercihi bu çatının hangi sıklıkla bakım gerektireceğini bilmek için önemlidir. Yarı yoğun yeşil çatılar, bitki çeşitliliği nedeniyle gübreleme, kurak zamanlarda sulama, budama ve bakım gerektirdiği için maliyetli sistemlerdir. Ekstensif (seyrek) yeşil çatılarla kıyaslandığında daha fazla su tutma kapasitesi ve daha iyi ısı izolasyonuna sahiptirler. Semi intensif yeşil çatılar, ekstensif ve intensif yeşil çatılardaki gibi yapıya fazladan yük oluşturmaktadır [4]. Bu sistem, yapının bir bölümünde fazla yük artışının olabileceği kısımlarda uygulanmaktadır. Yaygınlığı oldukça az olduğundan dolayı yarı yoğun yeşil çatılar üzerine fazla araştırma ve uygulama yapılmamıştır. İstanbul Zorlu Alışveriş Merkezi ve American Society of Landscape Architects yarı yoğun yeşil çatılara örnek gösterilebilir.



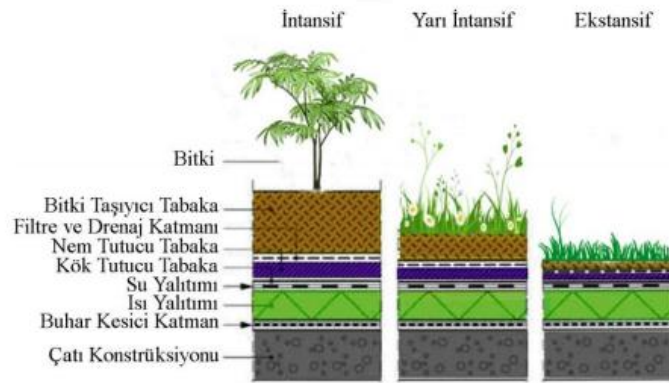
Şekil 1.13. Zorlu AVM [2]



Şekil 1.14. American Society of Landscape Architect

1.3.4. Yeşil çatı türlerinin karşılaştırılması

Ekstensif (seyrek), intensif (yoğun) ve semi intensif (yarı yoğun) yeşil çatı sistemlerinin karşılaştırılması aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.15. Yeşil çatıların karşılaştırılması [2].

Karakteristik	Ekstensif (Seyrek) Çatılar	İntansif (Yoğun) Yeşil Çatılar	Yarı İntansif (Yoğun) Yeşil Çatı
Amaç	Fonksiyonel; ekolojik koruma tabakası, yağmur suyu yönetimi, ısı yalıtımı, yangın önleyici	Fonksiyonel ve estetik; artan yaşam alanı yalıtımı, yanmaz	Ekolojik koruma tabakası,
Yapısal gereksinimleri	Tipik olarak standart çatı ağırlığı taşıyan parametreler içinde; m ² başına 70 ila 170 kg	Planlama aşamasında gerekli planlama veya yapısal iyileştirmeler gerekli; m ² başına 290 ila 970 kg	Tipik olarak standart çatı ağırlığı taşıyan parametreler içinde; m ² başına 170 ila 244 kg
Substrat türü	Hafif, yüksek gözeneklilik, düşük organik madde	Hafif ağır; yüksek gözeneklilik, düşük organik madde	20-30 cm
Bitki Türü	Yer örtücü ya da otsu, kısa boylu, yetiştirme ortamı istekleri düşük, dayanıklı,	Yer örtücü, çalı, ağaççık, ağaç, yetiştirme ortamı istekleri yüksek	Bakım gerektiren temel bitki türlerini kullanır. Toprak örtülü çimler, uzun ömürlü ve çalılardır. m ² başına 350 kg/
Yetiştirme ortamı	Sığ, hafif, evaporasyon miktarı yüksek, bitkiler için zor bir ortam	Derin, evaporasyon değeri düşük, ağırlık miktarı yüksek, bitki gelişimi için uygun bir ortam	Açık bir yaşam alanı oluşturulması için uygundur.
Suya doymuş ağırlık	48.8-170.9 kg/m ²	244.1-1464.7 kg/m ²	170.9-244.1 kg/m ²
Ortalama substrat derinliği	2 ila 20 cm	20 veya daha fazla cm	12-18 cm

Şekil 1.16. Yeşil çatı türlerinin karşılaştırılması [5]

Karakteristik	Ekstensif (Seyrek) Çatılar	İntensif (Yoğun) Yeşil Çatılar	Yarı İntensif (Yoğun) Yeşil Çatı
Bitki toplulukları	Stres toleransı nitelikleri için seçilmiş bitki ve yosunların düşük büyüyen toplulukları (örn., <i>Sedum spp.</i> , <i>Sempervivum spp.</i>)	Yüzey derinliği, iklim, bina yüksekliği ve maruziyet ve sulama tesisleri tarafından uygulananlar dışında herhangi bir kısıtlama yoktur.	Zemin örtücü türler, çimenler ve çalılar
Sulama	Çoğu az ya da hiç sulama gerektirmez.	Genellikle sulama gerektirir.	Ortalama seviyede
Bakım	Az bakım gerektirir veya hiç bakım gerektirmez; bazı ayıklama veya gerektiğinde biçme.	Zemin seviyesinde benzer bahçe ile aynı bakım gereksinimleri.	Periyodik bakım gerektirmektedir
Maliyet (su yalıtım membranının üstünde)	m ² başına 100 ila 300 \$	m ² başına 200 \$	m ² başına 350 \$
Ulaşılabilirlik	Erişilebilir yerine genel olarak işlevsel; bakım için temel erişilebilirliğe ihtiyaç duyacaktır.	Kanuna göre; tipikolarak erişilebilir	Kısmen erişilebilir olabilir
Maliyet	Düşük	Orta	Yüksek

Şekil 1.17. Yeşil çatı türlerinin karşılaştırılması [5]

1.4. Yeşil Çatıların Katmanları

Yeşil çatılar; bitkiler, bitki taşıyıcı tabaka, filtre ve drenaj tabakası, mekanik etkilere karşı koruyucu tabaka, kök tutucu tabaka, su yalıtımı, çatı konstrüksiyonu olarak altı katmandan oluşurlar.

1.4.1. Bitkiler

Yeşil çatılarda kullanılacak bitki çeşitlerinin seçimi; bölgenin ekolojik özellikleri, yeşil çatı sisteminin kurulacağı iklimsel şartlar, çatı sisteminin türü, projelerin içerik ve amaçları göz önüne alınarak belirlenir. Bitkilerin köklerinin gelişebileceği az sayıda toprak tabakası olduğundan dolayı, az besin maddesiyle yetinebilecek, yüksek sıcaklığa, kuraklığa ve dona dayanıklı olmaları gerekmektedir. Buradaki asıl amaç, az bakımla uzun yıllar yaşayan bitkileri seçmektir. Genellikle en verimli yeşil çatı bitkileri; iklim değişikliklerine, böceklere ve hastalıklara karşı dayanıklı, kısa boylu, yüzeysel köklü, çok yıllık bitkilerdir. Bundan ziyade bitkilerin gölgelendirme yetenekleri de önemlidir. Bu yüzden yatayda gelişim gösteren ya da büyük yapraklı bitkiler daha kıymetlidir. Yeşil çatılarda; çimler, yosunlar, tek yıllık ve çok yıllık

otsular, soğanlı-yumrulu verizomlu bitkiler, sukkulentler, kısa boylu odunsular olmak üzere altı çeşit bitki türü kullanılır. Ancak yeşil çatılarda en sık kullanılan bitki çeşitleri, bütün ihtiyaçları karşılayan sedumlar ve yosunlardır. Bu bitkilerin çeşitleri çevre şartlarına bağlıdır. Farklı yağış miktarları ve sıcaklık, en iyi performans için özel bitki örtüsü ve dikim ortamı gerektirmektedir. Fazla yağış alt tabakayı aşındırabilir. Sedum ve yosunların yüksekliklerinin 10 cm'den fazla olmaması gerekir. Fakat çoğunlukla intensif (yoğun) yeşil çatılarda kullanılabilecek bazı küçük ağaçlar ve sebzeler 10 -100 cm arasında olabilir. Sedum bitkileri sulanmadığı zamanlarda dahi yüksek performans gösterebilir. Bu bitkiler su depolama özelliği olan yaprakları sayesinde kuraklık, ısı ve soğuğa dayanıklıdır. Farklı tür bitkiler kullanılacaksa; kök salınım hızları, üreme hızları, su ihtiyaçları uyumlu olanları seçmeye özen gösterilmelidir. Örneğin; az su isteyen sedum türü, çok su isteyen çimen ve çalı türleriyle uyumlu değildir. Bunların dışında bitki seçiminde yaprağın cinsi, yüzey alanı ve rengi yapıya sağlanan enerjide etkili olduğundan dolayı önemlidir. Bitkiler gaz emisyonlarından etkilendikleri için baca çıkışlarına yakın olmamaları gerekir.

1.4.2. Bitki taşıyıcı tabaka

Bitki örtüsünün gelişmesi için su, besin ve oksijen sağlar. Bu katman bitkilerin köklerinin içinde gelişir. Ayrıca yağmur ve sulama suyu birikir ve fazlası drenaj tabakasına iletilir. Organik ve inorganik madde oranları önemli olduğundan, bahçe toprağı yeşil çatılar için uygun özelliklere sahip değildir. Bitki taşıyıcı tabaka yaklaşık % 80 organik olmayan malzeme ve % 20 organik malzemedir oluşmalıdır. Fakat bu oranlar iklime ve bitki çeşitlerine göre değişiklik gösterebilir. Ekstensif (seyrek) yeşil çatılarda, organik madde oranı daha düşük bir yüzde ve az sıkıştırılmış olmalıdır. İçinde şist, kil ya da kayrak vardır. İntensif (yoğun) yeşil çatılar için organik madde açısından zengin, derin ve verimli bir bitki taşıyıcı tabaka gerekir. Bitki taşıyıcı tabakanın; fiziksel ve kimyasal etkilere dayanıklı, su tutma kabiliyeti yüksek, pH'ı 5-5,7 arasında, besin maddelerini depolayabilen, yabancı otlardan ve bitki artıklarından arınmış, ıslak ağırlığı düşük olmalıdır. Bitki türlerine göre değişen substrat kalınlığı çim ve kısa boylu bitkiler için 5-7 cm, çok yıllık

bitkiler ve küçük çalılar için 15 cm, 3 m boyundaki çalılar için 35 cm, 10 m boyundaki ağaçlar için 65 cm, 15 m boyundaki ağaçlar için 100 cm'dir. Sistemin yağmur suyu tutma kapasitesi ve izolasyon özellikleri yetiştirme ortamının yüksekliği arttıkça artar.

1.4.3. Filtre ve drenaj tabakası

Yağmursuz günler için üst katmanlardan gelen ve filtre katmanında süzülen yağmur sularının depolanması gerekir. Ama birikme çok ise, bitkilerin çürümesini engellemek için, drene edilerek atılmalıdır. Yeşil çatılarda, su sızıntısını engellemek amacıyla bir drenaj tabakası gerekir. Filtre tabakasının amacı, drenaj tabakasının su akışı ve üst katman parçacıklarından tıkanmasını önlemektir. Su tutma katmanı akışı kontrol ederek büyüyen orta tabakayı nemli tutar. Yeşil çatı türü; bitki örtüsü, yapının çatı montajı, hava durumu ve toprak doygunluğu tutma oranını belirler. Filtre ve drenaj tabakası, bitkiler ve bitki taşıyıcı tabaka tarafından emilmeyen fazla suları toplar, bitki köklerini havalandırır. Drenaj tabakası kentin kanalizasyon şebekesine bağlanan boru ve kanallardan oluşur. Filtre tabakasının süzdüğü yağmur suları, su olmadığı için depolanır, fazlası bitkilerin çürümesini engellemek için drene edilir [6].

1.4.4. Mekanik etkilere karşı koruyucu ve nem tutucu tabaka

Kök tutucu tabakaları, su yalıtım membranlarını, çatı konstrüksiyonunu ve diğer tabakaları çürüme ve mekanik etkilere karşı korumaktadırlar [2]. Basınç mukavemetine karşı dayanıklı olmaları gerekmektedir. Düz çatılarda plastik, örgü, hasır malzemeler; eğimli çatılarda keçe tipi malzemeler kullanılır.

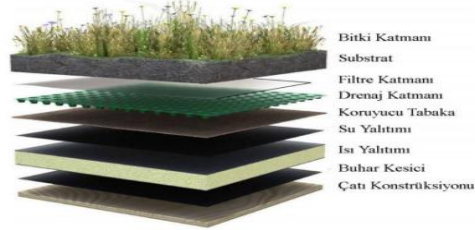
1.4.5. Kök tutucu tabaka

Bitki köklerini diğer tabakalardan ayırmak ve diğer tabakaların hasar görmesini önlemek için kullanılır. Kök tutucu tabakanın görevi başta su yalıtım malzemesi olmak üzere, bitki köklerinin zarar vereceği ve fonksiyonunu kaybetmesine sebep

olacağı alt malzemelere ulaşmasını önlemektir. Köklerin yapıya temas etmesi halinde, su sızıntısı ihtimali yükselir, suyun sızdığı bölümde çatlak ve delikler oluşabilir. Bu yönde, koruyucu bir ürün kullanılır veya çatı taşıyıcı döşemeye eklenen çeşitli kimyasallar sayesinde kök tutuculuk özelliği elde edilir.

1.4.6. Su yalıtımı ve çatı konstrüksiyonu

İyi bir su yalıtımı ve gerekli taşıyıcılığı olan dayanıklı bir çatı konstrüksiyonu çatı bitkilendirmesinin önemli bir koşuludur. Çatı konstrüksiyonunda; kök bariyeri, drenaj tabakası, filtre tabakası, su tutma, yetişme ortamı ve bitki tabakası olmalıdır. Bariyer düzeyinde fazla su olması, köklerin büyümesini destekleyerek çatı montajı riskini artırır. Su yalıtımında kullanılan ürünler, bitkilerin köklerine karşı dayanıklıysa kök tutucu tabakaya ihtiyaç duyulmaz [6].



Şekil 1.18. Yeşil çatıların katmanları[2]

1.5. Yeşil Çatıların Fiziksel Çevredeki Dengeleyici Özellikleri

Kentler, insanların fikirleri ve tasarımlarıyla üretilmiş ekolojik ve atmosferik şartları kapsarlar. Uluslararası çevre antlaşmalarının içeriği ozon tabakasının ve okyanusların korunması, hava kirliliği, iklim değişikliği gibi problemleri ihtiva etmektedir. 21. Yüzyılda çevre sorunları giderek artarak, doğal hayatı ve insan sağlığını tehlikeye atmaktadır. Kentleşme, nüfus artışı, endüstriyel ve toplumsal faaliyetler kentlerde ısı artışına neden olmaktadır. Kentleşme; hava kirliliği, doğal dengenin bozulması ve küresel ısınma yönünden önemli bir faktör haline gelmiştir. Yaşamın temel kaynaklarından biri olan hava, insanlar ve bitkiler için oldukça önemlidir. Bu sebeple hava kirliliği toplumsal yönden olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır [5]. Kentleşme

ve yol açtığı olumsuz etkiler yaşamı tehdit edecek boyuta ulaşmıştır. Bu olumsuz etkilere karşı alınabilecek tedbirlerden biri yeşil çatı sistemleridir [5].

Kentlerin çoğu doğal arazilerin yerine geçen sert ve su geçirmez koyu yüzeyler ile örtülüdür. Sert yüzeyler, yoğun kent yaşamında doğal çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Kentlerin yeşil alanlarını artırmaya yönelik çözümler sunan yeşil çatılar, kentlerin dizaynında büyük değişikliklere gitmeden; doğal çevreye ve kentsel alanlara destek verecek bir teknolojidir. Binaların çatıları, şehirlerde güneş ışığının temas ettiği alanlardır. Bu alanlarda çatıların bitki örtüsüyle kaplanması, ısınma ve soğuma dengesinin sağlamak ve kentin ısı adası tesirini azaltılmada önemlidir. Kentsel ısı adası, şehirlerdeki kırsal çevre ile kıyaslandığında hava sıcaklığının artmasına sebep olan bir iklim olayıdır [5]. Kentsel geometri ve bitki örtüsü miktarı, kentsel ısı adası tesirinin yoğunluğunu etkiler [5]. Kentsel ve kırsal alanlardaki farklı iklim koşullarında kentsel yüzey özelliklerinin tesirleri vardır. Kırsal yerlerde güneş ışığı bir engelle karşılaşmadığı için doğal bir yayılım sağlarken, kentsel yerlerde bitki örtüsü ve yeşil alanlar az olduğu için gelen güneş ışınları; yapılar, asfalt ve beton gibi yüzeyler üzerinde gün içinde ısıyı yayarken, geceleri de bitki örtüsü ile kaplı yüzeylere göre daha çok ısı yaymaktadır [5].

Yapıları bitki örtüsü ile örten yeşil çatılar, kentsel alandaki geçirimsiz yüzeylere doğal soğutma ve su arıtma yeteneklerini getirerek kentsel sorunları azaltabilir. Doğayı şehre getirerek çevresel sorunları çözmek için yeşil çatılar kullanılabilir. Çevresel bir çözüm olan yeşil çatıların gitgide önemli hale gelmesi, sorunların çözümünde oldukça etkilidir [5].

1.6. Yeşil Çatıların Ekolojik Yönden Değerlendirilmesi

Endüstrileşme nedeniyle kirlenen çevre, inşaat ve hafriyat atıklarının şehirdeki doğal alanlara atılması ve ormanların yangınlardan dolayı tahrip edilmesi, şehirlerde çevresel hasara ve kirliliğe sebep olmaktadır.

Kentlerde çoğunlukla bulunan, asfalt ve beton ile kaplı yüzeyler, suyun toprakta yeteri kadar süzülmesine imkan vermezler. Çatılar ve kaldırımlar, gün boyunca güneşteki enerjiyi çeker, depolar ve gece de yansıtırlar. Bu olaylar; su kaynaklarının azalması, hava şartları değişimi, kentsel ve kırsal alanlardaki sıcaklık farkları, ısı adaları etkisi, bozulmuş toprak ve kentsel alanlarda yeşil yaprakların kaybı gibi olumsuz sonuçlara yol açar.

Şehirlerdeki binalarda bulunan koyu ve geçirimsiz tabakaların ısınmasını engellemek amacıyla, bu yüzeylerin yansıtıcılık etkisinin artırılmasıyla birlikte gerekli toprak nemi ile bitki örtüsünü artırarak evapotranspirasyonun oluşmasını sağlamak mümkündür. Bu yüzden yeşil çatıların şehirlerde önemli bir görevi vardır.

Dünyadaki nüfusun % 50'si şehirlerde yaşamaktadır [5] ve endüstrileşmiş dünyada bu rakam % 80'i geçmektedir. Kentsel nüfusun artması; su, enerji ve gıdaya olan taleplerin de artmasına sebep olduğundan şehirlerde de çevre bölgelerde de bir takım çevresel problemler oluşmaktadır. Bu problemlerin çoğu, kentlerin genişlemesine uyum sağlamak için bitki örtüsünün yok edilmesiyle ve iklim değişikliğiyle artmıştır. Yeşil çatılar yüzeylerinde bulunan bitki örtüsü sayesinde su kalitesini, yağmur suyu akışını, sıcaklık dalgalanmalarını, iklim değişikliğini ve biyoçeşitliliği iyileştirme gücüne sahiptir.

1.7. Yeşil Çatıların Maliyetleri

Yeşil çatı sistemlerinin maliyetleri, projeye ve basit karışık oluşuna bağlı olarak değişmektedir. Karmaşık yeşil çatı sistemlerinin maliyetleri daha yüksektir.

Yeşil çatıların maliyetini belirlemede aşağıdaki faktörler etkili olmaktadır:

1. Çatı alanı
2. Çatı yüksekliği
3. Çatının eğimi
4. Yeşil çatının bitkilendirme türü

5. Yeşil çatıda kullanılacak bitki çeşitleri
6. Bakım ve kurulum maliyeti
7. Malzemelerin ve yapı elemanlarının çeşidi
8. Su ve ısı izolasyonu çeşidi

Kurulum yöntemleri ve projeye özgü parametreler yeşil çatının maliyetini artırmaktadır. Bunlara ilaveten yeşil çatıların yer aldığı ülkede yaygın kullanılıp kullanılmaması maliyetin artmasını ve azalmasını etkilemektedir. Örneğin Almanya'da yeşil çatılar yaygın kullanıldığı için maliyeti düşüktür. Metrekare maliyeti 4-10 dolar arasında değişmektedir. Kuzey Amerika'da seyrek bitkilendirilmiş yeşil çatıların metrekare maliyeti 10-25 dolar arasında değişiklik göstermektedir. Yoğun bitkilendirilmiş yeşil çatıların maliyeti ise 25-100 dolar arasında değişir.

Türkiye'deki yeşil çatı uygulamalarının metrekare ücretleri, firmaların artmasından dolayı azalmıştır. Bitkiler hariç 20-30 euro olan fiyatlar, 10 euro'ya inmiştir. Uygulama maliyetlerine ek olarak bakım, sulama ve gübreleme maliyetleri de mevcuttur.

Seyrek yeşil çatıların maliyetleri 400-1000 dolar/m², yıllık bakım masrafları 0.8-2.25 dolar/m²; yoğun yeşil çatıların ilk maliyetleri 1000-5000 dolar/m², yıllık bakım masrafları 6.5-44 dolar/m²'dir.

Clark'a göre yeşil çatıların maliyeti geleneksel çatılara göre % 39 daha yüksek olmasına rağmen 40 yılın sonunda % 20-23 arasında ekonomik değer sağlamaktadır.

1.8. Yeşil Çatıların Avantajları ve Dezavantajları

1.8.1. Avantajları

İklim değişikliği, küresel ısınma ile birlikte pek çok çevresel soruna neden olmaktadır. Yeşil çatılar bu noktada devreye girmektedir. Yüksek sıcaklıklar, hava

kirliliği, Şiddetli yağmur ve sel olayları gibi iklim değişikliğine neden olan olaylara çözüm olarak yeşil çatılar sunulmaktadır.

Yeşil çatılar; karbondioksiti çeker, havayı kirden ve tozdan arındırır, oksijen üretir, buharlaşma ile havayı serinletir. Toprak yüzeyinin su emme miktarı az olduğu için yağmur suyu akış sorunları ile karŐılaŐılmaktadır. 10 cm kalınlığında substratı olan bir yeşil çatı, yağmur suyunun % 60'ını tutmaktadır [4]. TaŐıtlardan ve fabrikalardan gelen, gaz yoğunluğu yüksek olan bölgelerde, bitki örtüsü kirliliği absorbe ederek hava kalitesine katkı sağlar.

Yeşil çatılar, yalnızca düz çatılara değil eğimli çatılara da uyum sağlayabilir. Fakat 45 dereceden fazla eğime sahip çatılar, yeşil çatı kurmak için uygun değildir.

Çatı membranı ile koruyarak yeşil çatıların ömrünü uzatmak mümkündür. Bu uygulama çatı maliyetini azaltır ve çatıyı sıcaklık dalgalanmalarından korur. Yeşil çatılar; mühendislik ve kurulum maliyetleri yönünden klasik çatıların iki katına mal olabilir ancak uzun vadede ısıtma ya da serinletme maliyetlerinden sağladığı tasarruf göz önüne alındığında, yeşil çatı zamanla sebep olduğu maliyeti fazlasıyla geri kazandıracaktır [4].

Bu sebeple yeşil çatılar; yağmur suyunun tutulması, enerji verimliliği, izolasyon ve çatı ömrünün uzaması gibi yönleriyle ekonomik ve sosyal açıdan yarar sağlamaktadır.

1.8.2. Dezavantajları

Yeşil çatıların avantajlarının dışında bazı dezavantajları da vardır.

Yeşil çatı sistemlerinin tasarım maliyetinin fazla olması bir dezavantajdır. Yeşil çatının kurulumu geleneksel çatıdan iki kat fazla maliyetlidir.

Yeşil çatılar geleneksel çatılara göre binaya fazladan ağırlık oluşturduğu için deprem yükünü artırmaktadır. Yeni inşa edilecek bir binada yeşil çatı dikkate alınacağı için deprem yükü hesabı yapılarak risk oluşumu engellenecektir. Ancak mevcuttaki binaya yeşil çatı inşa edilecekse, binanın taşıyabilmesine dikkat edilmelidir ya da bina güçlendirilmelidir.

Yeşil çatılar yüksekte buldukları için, bitkiler yüksek ve düşük sıcaklıklarla karşılaşmaktadırlar. Yeşil çatıdaki bitkiler bölgenin iklimine uygun ve sıcaklık dalgalanmalarına dayanıklı olmalıdır. Aksi halde bitki tabakası ölebilir.

Bitkilerin bakım maliyetleri yüksek olduğundan fazla sulama ve bakım gerekmeyen türler seçilmelidir [2].

Çatıların yeşillendirilmesi için gerekli olan bitkilerin ve malzemelerin çatıya ulaştırılması bir sorun olarak görülmektedir. Yüksek yapılarda tasarlanacak yeşil çatılar için, bitkilerin ve malzemelerin çatıya ulaştırılmasında vinç ve asansör gibi araçlar kullanılmalıdır.

Yeşil çatıların diğer bir dezavantajı da sistemlerin su yükü nedeniyle yapıya su sızıntılarının olabilmesidir. Bu durum yeşil çatının kurulum aşamasında iyi malzeme kullanılarak ve iyi izolasyon yapılarak engellenebilir.

Toprak tabakası ve tutulan suyun kütlesi yapıya ilave ağırlık oluşturacağı için kullanılacak membran malzeme ve çatı membranının taşıma yükünün hesabı büyük önem taşımaktadır.

Yeşil çatılar çeşitli hayvan türlerine yaşama ortamı sağladıkları için bu hayvanların yapıya girme ihtimali bulunmaktadır.

BÖLÜM 2. YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

2.1. Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisi

Türkiye’de enerjinin % 30’u, elektrik tüketiminin ortalama % 43’ü binalarda kullanılmaktadır. Binalardaki enerjinin % 65’i ısıtma-soğutma, sıcak su ve havalandırma, % 20’si aydınlatma, % 15’i beyaz eşya ve elektronik aletlerde kullanılmaktadır. Ülkemizde ısınma amaçlı kömür kullanımı yaklaşık 14 milyon ton/yıl’dır. Bu yüzden son zamanlarda en yüksek tüketim doğalgazdan olmasına rağmen, güneş ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları da yaygınlaşmaktadır.

Ülkemizde çevrenin korunması ve enerji kullanımı giderek önem kazandığı için, binalarda kullanılan enerjiyi kontrol ve izlemek amacıyla yasal düzenlemeler yapılmaktadır. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği bu duruma örnek olarak verilebilir.

Standart çatılarda beton, taş, asfalt yüzeyler gün boyunca güneşten gelen ısıyı çekerek gece de yaydığı için geceleri hava sıcaklığı normalden daha üst derecelere çıkmaktadır. Yeşil çatılardaki bitki örtüsü tabakası, binanın havalandırılmasını sağlayarak ve gölge yaparak hava sıcaklığını düşürür. Yeşil çatıdaki toprak tabakası da binanın izolasyonunu sağlamaktadır. Böylece binaların ısıtma ihtiyaçları ve ısı kayıpları % 50 oranında düşebilir.

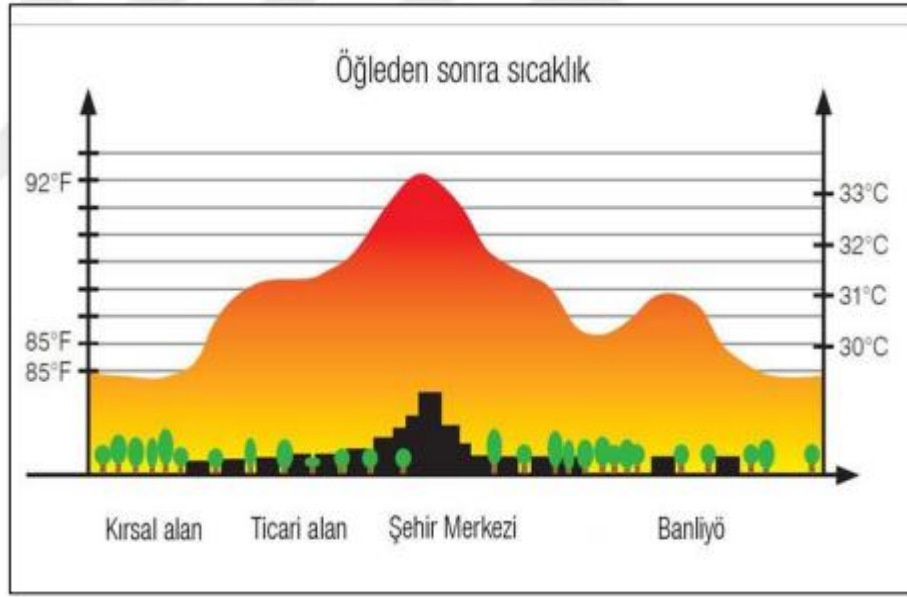
2.1.1. Kentsel ısı adası etkisi

Şehirlerdeki bitki örtüsünün yapılar ile yer değiştirmesi ile oluşan sıcaklık artışıdır. Diğer bir deyişle; gün içinde güneşten gelen ısının beton yüzeyler tarafından absorbe edilip gece çevreye bırakılması demektir.



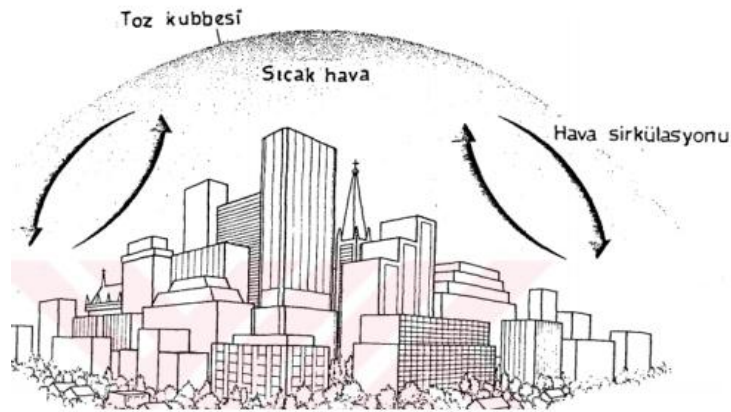
Şekil 2.1. Kentsel ısı adası [4]

Kentsel ısı adası etkisi kırsal alanlara oranla kentlerde daha yoğun görülür. Bunun sebebi kentlerdeki nüfusun yoğun olmasıdır. Dünya bankası datalarına göre Türkiye nüfusunun % 73'ü şehirlerde yaşamakta ve bu nüfus her yıl artmaktadır. Kentlerde kırsal alanlara kıyasla sıcaklık 0.5-9 °C, yağış % 5-20, sislenme % 30-100, bulutluluk % 5-10 arasında artmakta, nem % 2-30, radyasyon % 15-20 ve güneşlenme süresi % 5-15 arasında azalmaktadır.



Şekil 2.2. Kentsel ısı adası sıcaklık farkları

Kentlerdeki betonlaşma, morfolojik yapının değişmesi, iklimsel değişiklikler ve yeşil alanların azalması nedeniyle su ve hava kalitesi kötüye gitmekte, kentte bir kalkan gibi kubbe görünümünde kentsel ısı adaları oluşmaktadır. Bu da yaşam kalitesini düşürür [7]. Kentsel ısı adaları, enerji tüketiminde ve hava kirliliğinde artışa, nem, rüzgar ve yağış döngülerinde değişikliklere sebep olur [5].



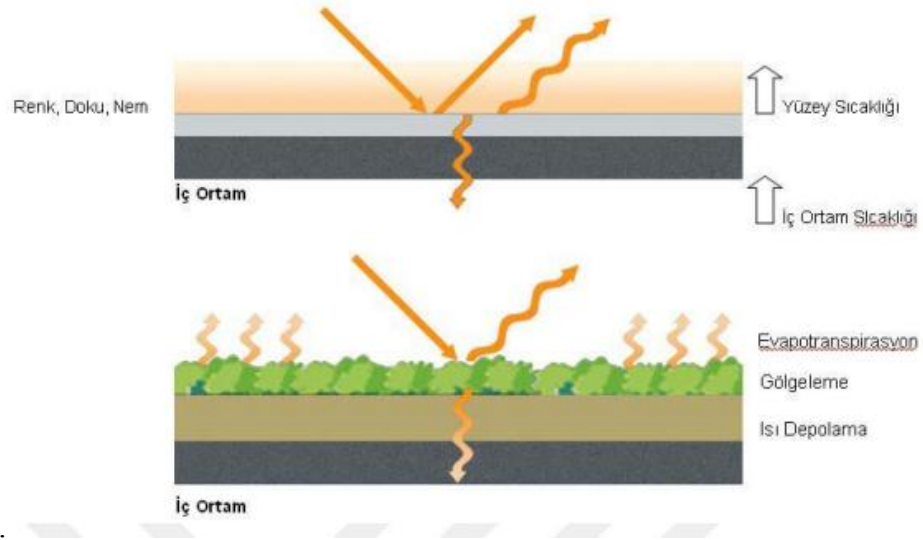
Şekil 2.3. Kentsel ısı adası oluşumu

Yeşil çatılar; kentsel ısı adası problemine çözüm sunmaktadır. Çatıdaki bitkiler, özellikle enerjinin daha yoğun kullanıldığı yaz mevsiminde enerji tüketimini azaltır, hava sıcaklığının artmasını önler ve kentsel ısı adası etkisini büyük ölçüde düşürür

[5]. Bunları üç önemli özellik sayesinde gerçekleştirir: evapotranspirasyon, gölgeleme ve ısı depolama.

Evapotranspirasyon; bitkilerin buharlaşma terleme yolu ile atmosfere su buharı ulaştırmasıdır. Bitki taşıyıcı katmanda ve bitki yapraklarında yer alan suyun buharlaşması için gereken ısı, güneş ışınları tarafından karşılanarak ışınların yüzey sıcaklığını artırması önlenir.

Geleneksel çatılarda yüzeye yansıyan güneş ışınları, yüksek oranda absorbe edilir ve iç yüzeye ulaştırılarak iç ortamdaki sıcaklıkların yükselmesine yol açar. Yeşil çatılarda ise; taşıyıcı katmanda biriken ısı, iç ortama iletilen ısının azalmasını sağlarken, nemin evapotranspirasyon sayesinde buharlaşmasını sağlayarak yüzey sıcaklığının düşmesine de yardımcı olur. Böylece yeşil çatılar şehirlerdeki sıcaklık farklarını dengeleyerek kentsel ısı adası etkisinin azalmasını sağlar.



Şekil 2.4. Yeşil çatı ve geleneksel çatıların güneş ışınlarına karşı davranışlarının karşılaştırılması

2.1.2. Enerji verimliliği etkisi

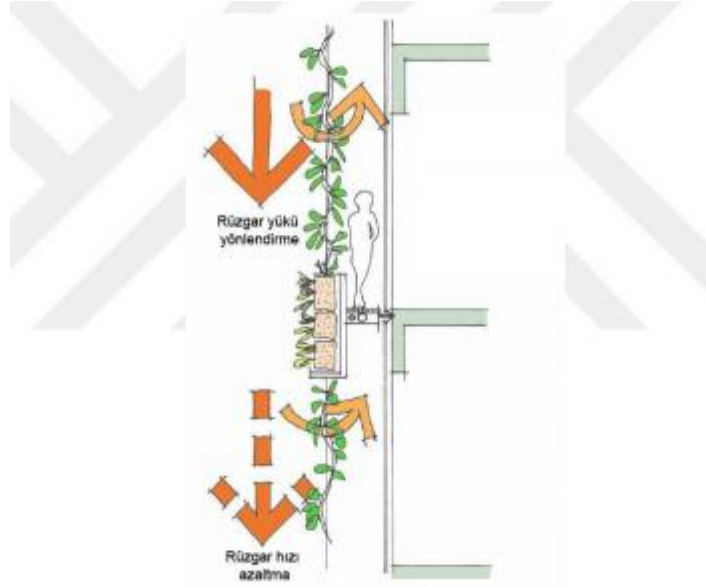
İklim değişikliği nedeniyle, enerji tüketimi dünyanın birçok yerinde sorun haline gelmektedir [2]. Sıcak iklimlerde yaz aylarında hava sıcaklığı 35 °C'ye çıktığında

çatı yüzeyi sıcaklığı da 65 °C'yi bulmaktadır. Bu yüksek sıcaklıklardan dolayı binanın iç ve dış çevresi olumsuz etkilenmektedir.

Şehirlerdeki çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olan yeşil çatılar, yapıların enerji verimliliği ve çevresel etkilerini öne çıkartmaktadır. Yeşil çatılar, ısı kazanç ve kayıplarını azaltarak binalarda enerji kullanımını minimum seviyeye düşürüp enerji tasarrufu sağlarlar. Yeşil çatı sistemleri, içerisindeki bitkiler, yapraklarının yüzey alanları ve toprak vasıtasıyla yalıtım ve izolasyon görevi görmektedir. Bitki kaplı bu çatılar, geleneksel çatılardan ortalama % 10 daha verimlidir. Yeşil çatılardaki bitki katmanı, yapıların en çok güneşli alan bölgesinde büyüyerek, bu kısımda önemli miktarda gölge oluşturmakta ve özellikle yaz mevsiminde binanın soğumasını sağlamaktadır. Böylece binaların iklimlendirilmesi için kullanılan enerjiden tasarruf sağlayarak ve binaların ısıl performansını artırarak enerji tüketimini de düşürmektedir [2].

2.1.3. Rüzgarı azaltma etkisi

Bir binanın enerji verimliliğini artırmanın başka bir yöntemi de rüzgarı azaltmaktır. Kışın soğuk rüzgar, yapıların içindeki sıcaklığı azaltır. Hava geçirmeyen yapılarda dahi, rüzgar yalıtımın etkisini düşürmektedir (Şekil 2.47) [2]. Yeşil çatılardaki toprak tabakası sayesinde rüzgar azaldığı için rüzgâra bağlı ısı kayıpları % 50 ve binanın ısıtma ihtiyacı % 25 civarında azalır [2].



Şekil 2.5. Yeşil çatıların rüzgarı azaltması [2]

2.2. 2.2. Hava Kirliliğine Etkisi

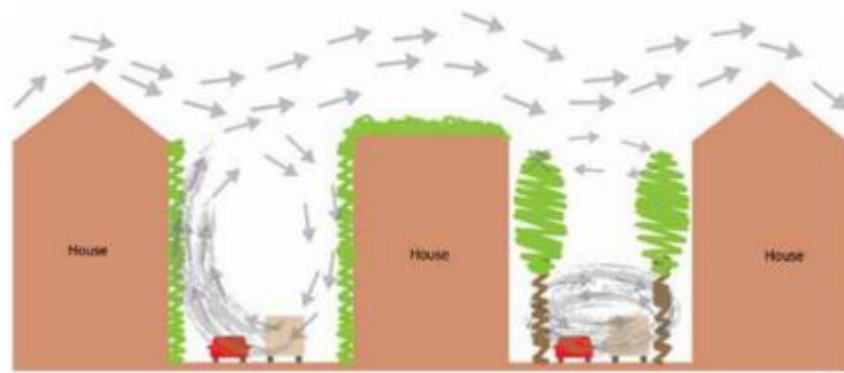
Hava kirliliği tüm dünyayı etkileyen, çevre sağlığını, yaşam kalitesini bozan bir sorundur. Isınma, ulaşım ve endüstriyel kaynaklı fosil yakıtlar nedeniyle atmosfere karışan azot dioksit, kükürt dioksit, karbondioksit, karbonmonoksit, hidrokarbon ve toz partiküller hava kirliliğine neden olan etkenlerdir. Karbondioksitten kaynaklanan sera etkisi diye adlandırılan küresel iklim problemlerinden dolayı dünyadaki sıcaklık da artmaktadır.

Yeşil çatılar karbondioksit emisyonlarından ve trafikten kaynaklanan taşıt emisyonlarından meydana gelen kirli havayı bitkiler ile temizlemektedir [2]. Bitki örtüsü nefes alabilir özellikte olduğu için, karbondioksit kullanımı, oksijen oranının artmasına ve havanın temizlenmesine imkan sağlar.

2008'de Yang Chicago'da yaptığı bir araştırmayla yeşil çatıların hava kirliliği üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Bu araştırmaya göre 19.8 hektarlık yeşil çatı sisteminin senede 1,675 kg hava kirleticisini temizlediği tespit edilmiştir. Kirleticilerden % 52'si ozon, % 27'si azot dioksit, % 14'ü partiküler madde ve % 7'si kükürt dioksittir. Bütün çatıların yeşil çatıya dönüştürülmesi ile de azot dioksit

emisyonlarında yılda yaklaşık 417 ton, kükürt dioksit emisyonlarında ise 517 ton azalma görülmüştür [8].

Yapılan birçok araştırmada hava kirliliğinin, insanlar üzerinde olumsuz etkileri olduğu kanıtlanmıştır. Bunlar solunum yolu hastalıkları ve kardiyovasküler hastalıklardır. 1991-1996 yıllarında Melbourne'de Çevresel Koruma Kurumu (Environmental Protection Authority)'nun yaptığı bir araştırmada; karbon monoksit, nitrojen dioksit, ozon ve duman, toz gibi partiküllerin kardiyo-solunum sistemi rahatsızlıklarına dayalı ölümlerle ilişkisi olduğu anlaşılmıştır. Ölümler, yaz aylarında ozon seviyeleri yükseldiği için daha da artmaktadır [2]. Yeşil çatıların bu rahatsızlıkların azalmasında önemli etkileri vardır [2].



Şekil 2.6. Hava kirliliğinin giderilmesi[2]

2.2.1. Havadaki partiküllerin filtre edilmesi

Yeşil çatı sistemleri filtrasyon ile havadaki toz ve partikülleri emebilirler. Havadaki kirleticiler bitkilerin yaprak ve kök yüzeylerine tutunurlar. Daha sonra yağmur suyu ile yıkanarak toprağa karışırlar veya bitki yüzeylerinde kalırlar. Yeşil çatılar iyon tutucu malzemeleri sayesinde gaz kirliliklerini de fotosentez ile absorbe ederek yapraklarında depolarlar ve humus olarak toprağı zenginleştirirler [4]. 1 m² çim alan 100 m² yaprak yüzeyi oluşturur. Bu da rüzgarın etkisiyle yılda metrekare başına 200 g ile 2000 g arasında toz tutma kapasitesidir. Yeşil çatı ve geleneksel çatılarda yapılan analizlere göre, geleneksel çatılarda bir litre havada 3-7 kat daha çok toz partikül tespit edilmiştir [9].

2.2.2. Karbondioksit ve oksijen değişimi

Fotosentez; bitkilerin oksijen ve glikoz üretmek amacıyla suyu, ışığı ve karbondioksiti kullanmasıdır. Fotosentez sayesinde şehirlerdeki güneş ışığı radyasyonu, oluşan karbondioksit oranı vs. faktörler azalır, fotosentez sonrasında oksijen ve organik madde miktarı artar. Fotosentez yeşil bitkiler içerisinde meydana gelir. İnsanlar ve hayvanlar karbondioksit üretir ve bitkiler yaşamak için bu karbondioksite gereksinim duyarlar [4].

Yeşil çatıdaki bitkiler, diğer bitkilerle benzer şekilde solunumlarında karbondioksiti kullanırlar ve böylece kirlilikteki negatif etkileri azaltırlar.

Yeşil çatılardaki bitkiler fotosentez yaparak CO₂ oranını azaltıp O₂ oranını artırarak kirliliği önlemeye yardımcı olurlar.

2.3. Gürültü Kirliliğine Etkisi

Şehir içindeki; caddelerden, endüstriyel alanlardan, hava alanlarından kaynaklanan gürültüler sağlığımız ve huzurumuz açısından sorun oluşturmaktadır. Trafik ve diğer gürültüler, kent içindeki yol, kaldırım ve binaların ön taraflarındaki sert yüzeylerden yansımaktadır. Ancak bu durum yeşil çatılar için geçerli değildir [2].

Yeşil çatılardaki bitki örtüsü, toprak katmanı ve diğer katmanlar ses yalıtım görevi üstlenerek, şehirden kaynaklanan çevresel gürültüyü; kaldırım ve bina gibi sert yüzeylerden yansıyan bölüme kıyasla absorbe ederek gürültünün azalmasını sağlar. Toprak alçak frekansları (3-30 Hz), bitkiler yüksek frekansları (30-300 Hz) bloke etmeye yardımcı olur. Ses yalıtım miktarı; kullanılan sisteme ve yüzey derinliğine göre değişir. Ekstensif bitkilendirilen yeşil çatı, ses şiddetini 40 dB civarında düşürürken, intensif (yoğun) bitkilendirilmiş yeşil çatı ise sesi 46-50 dB arasında düşürebilir [2]. Bitki çeşitleri, bitki örtüsünün yoğunluğu, bitkilendirilmiş alanın boyutu, taşıyıcı katman kalınlığı ve içeriği değerleri etkiler.

Yeşil çatıların yüzeylerinin yansıtıkları ses miktarı, beton çatıların yüzeylerine göre 3 dB daha düşüktür. Ek olarak yeşil çatıdan bina içine tesir eden gürültü de 8 dB'e kadar düşürülebilir. Bu özellik, hava limanları ve otoyollar gibi gürültülü alanların yakınındaki binalar için ciddi derecede fayda sağlar. Örneğin, San Bruno, Kaliforniya'da bulunan GAP büroları, Uluslararası San Francisco Havaalanı'nın üzerindeki tepelerde bulunmaktadır. Bir uçağın kalkarken çıkardığı sesin 140 dB olduğu düşünülürse, yeşil çatılar bu sesin günde en fazla 90 dB sınırına düşmesi konusunda etkili olmaktadır. Almanya Frankfurt Havaalanında ise 10 cm derinlikteki yeşil çatı dış mekanın gürültüsünü 5 dB azaltmıştır.

2.4. Kentsel Su ve Atık Su Yönetimi Etkisi

Şehirlerin büyümesiyle beraber yok olan yeşil alanların meydana getirdiği sorunlardan biri de toprak zeminin kaybolmasından dolayı yağın yağmurun sadece altyapı sistemleriyle drene edilmesi sonucunda genellikle altyapı sorunlarıyla karşılaşılmasıdır. Yağışı drene etmekte zorlanan altyapı sistemi tıkanır, taşar ve zarara yol açar. Yeşil çatılar suyun akış hızını düşürerek yağışların daha büyük alanlarda emilmesini sağlar. Böylece altyapı üzerindeki yükü hafifletir.

2.4.1. Yağmur suyu yönetimi

Şehirlerin gelişmesi iklimlerin değişmesine sebep olmaktadır. Bunun sonucunda aşırı yağışlar, taşkınlar ve seller oluşmaktadır [2]. Bu afetler akışların kontrol edilememesi veya drenaj eksikliği sonucunda meydana gelir. Maddi zararlara ve ölümlere neden olurlar [2].

Sel felaketlerinin meydana gelmesinde ormanların azalması, kentsel alanlardaki altyapı yetersizlikleri ve yeşil alan sistemleri bulunmaması rol oynar [2].

Yağmurun; toprakla kaplı bitkilendirilmiş bir alana ve sert yapılaşmış yüzeye etkisi çok farklıdır [4]. Sert yüzeyler yağmur suyunu absorbe edemedikleri için toprağa geçen su miktarı azalmaktadır. Bunun sonucunda yer altı suları azalır, doğal

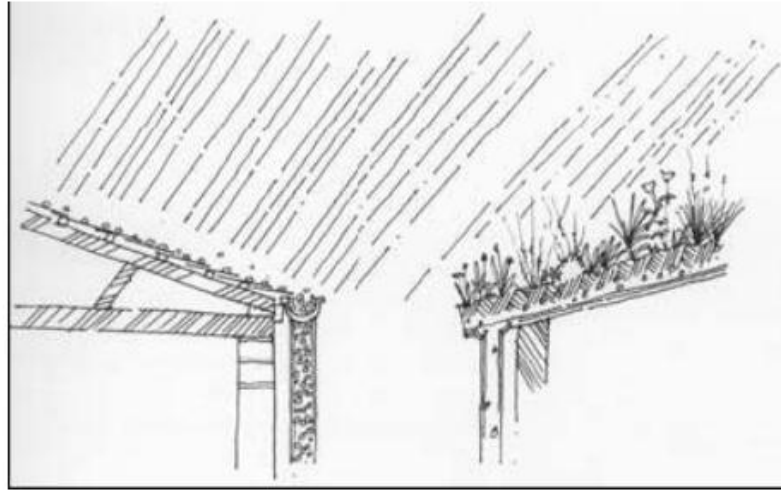
ekosistem zarar görür, fazla yağmur suyu kanalizasyon sistemlerine ekstra yük oluşturur. Kentsel bölgelerde geçirimsiz yüzeyler % 40'ları aştığı zaman yeşil çatıların, yağmur suyu akışını azaltmada önemli görevleri vardır [2]. Yeşil çatılar yağmur suyunu tutup kanalizasyona akışını geciktirir. Yağışların çoğunluğu çatılara düşer ve kalır, toprak yağışları emer, bitkiler bir kısmını kullanır ve buharlaşarak atmosfere geri gönderilir. Zemine ulaşmaz. Böylelikle çatıdaki yeşil bitkiler gelişir ve şebekedeki atık su yükü azalır. Atık su miktarının azalması kanalizasyon boru çapını küçültür ve maddi yarar sağlar. Borulardaki su debisinin azalması sel felaketlerinin önüne geçer. Ayrıca boruların bakım ve tamirat masrafları da azalır ve ülke ekonomisine fayda sağlanır. Yağmur suyu yönetimi için çatılarda bitki örtüsünün kullanılması bitki örtülerinin yüzey alanını artırır. Bu da yağmur suyunun hızını ve hacmini azalmaktadır. Bitki örtüsünün yüksekliği, bitki çeşidi ve yaprak genişliği de yağmur suyu yönetiminde önemli kriterlerdir. Ek olarak yeşil çatıdaki bitkiler ve toprak; ağır metaller, organik ve su kirletici maddeler için filtreleme görevi yaptığından, yağmur suyunun kiremit ve metal çatıdan toprağa akmasına göre daha temiz şekilde suyu zemine ulaştırır.

Yağmur suyunu tutma oranı; yağmur şiddetine, yağış miktarına, yağış süresine, yeşil çatının büyüme ortamının derinliğine ve yağış mevsimine göre değişir. 20-40 cm arası intensif (yoğun) bitkilendirilmiş bir çatının 10-15 cm yüksekliğinde su tutma kapasitesi vardır. Çoğunlukla şehirlere düşen yağmur suyunun % 10-15'i yeşil çatılarda tutulabilir. 10 cm toprak yağmur suyunun % 50'sini, 20 cm toprak % 60'ını tutabilir. Bu oran toprak kalınlığı 50 cm olduğunda % 90'a kadar çıkmaktadır [9]. 25 mm'den az olan yağışlarda yağışın % 88'i, 25-76 mm yani orta ölçekli yağışlarda yağışın % 54'ten fazlası, 76 mm'den fazla yani büyük ölçekli yağışlarda ise yağışın % 48'i tutulur. Yağmur suyunun yeşil çatılar tarafından tutulması ve biriktirmek için depolama sistemleri yapılmasıyla fazla yağmur suyu hem kurak dönemlerde sulama amacıyla hem de binada kullanım suyu amaçlı döngüye katılır.

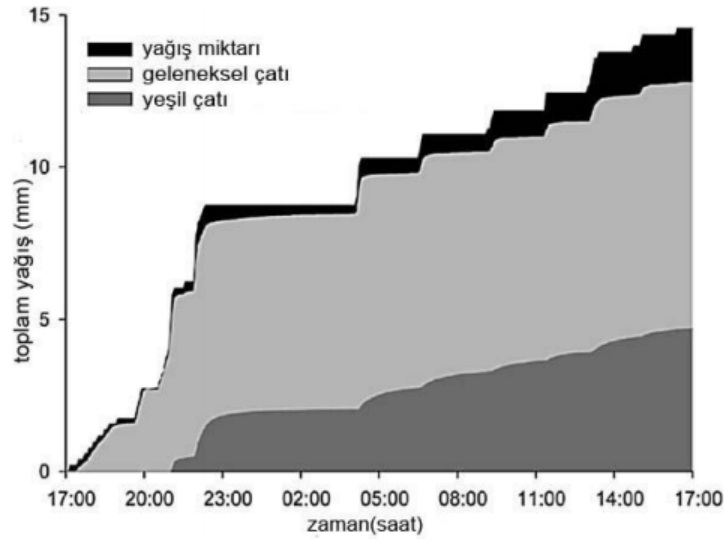
Yeşil çatılar doğal bir filtreleme sistemi görevi yaparak, atık ve toksinlerin su yollarına iletilmesini engellerler. Kohler ve Schimidt'in 1990 yılındaki

araştırmalarına göre yeşil çatı yağmur suyu kaynaklı kurşun, bakır ve kadmiyum sülfitin % 95'ini, çinkonun % 19'unu tutup su yollarına karışmasını önler [8].

Yeşil ve geleneksel çatıları kıyaslarsak, yağmur suyu yönetimi önemli bir ayırt edici faktördür. Geleneksel çatıya yağan yağmur, çatıdan kanalizasyon sistemine akmaktadır. Yağmur bitince çatının yüzeyinde kalmış olan su buharlaşır. Yeşil atılarda bitkiler ve alt katmanı yağmur suyunu tutar, bir bölümü yapraklarda buharlaşır ve alt tabakaya ilerleyen yağmur aşağıya süzülür. Yağmur suyunun birazı depolanır, birazı dışarı atılır. Bu nedenlerden dolayı yeşil çatılarda yağmur suyu yönetimi için harcanan zaman geleneksel çatılara göre daha çoktur [2]. Yağış miktarının çok olması drene edilecek suyun miktarını da artırır. Su baskınları çoğunlukla önlenir [2]. Yani yeşil atılarla geçirimsiz çatı yüzeyleri geçirimli hale getirilebilir.



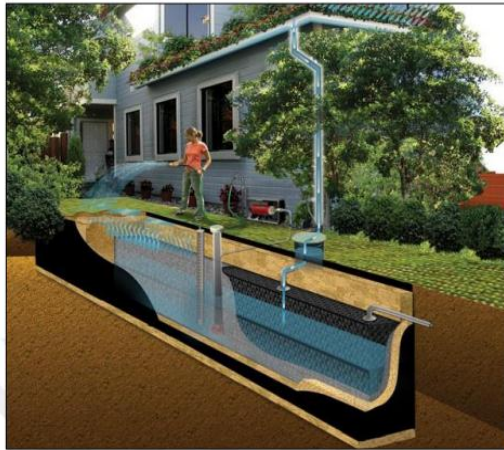
şekil 2.7. Geleneksel atı ile yeşil çatının yağmur suyu akışı [4]



Şekil 2.8. Geleneksel çatı ve yeşil çatının yağmur suyunu şebekeye aktarma oranlarının kıyaslanması [9]

2.4.2. Yağmur suyu hasadı

Dünyadaki içme suyu kaynakları kısıtlı olduğu için ve gittikçe azaldığından, binalarda yağmur suyu toplama yöntemi ciddi bir su kaynağı oluşturur ve gerektiğinde binanın ve şehrin su ihtiyacının yarısından fazlasını karşılayabilir [8]. Yeşil çatıdan sızan yağmur suları doğal filtreleme işleminden geçmiştir. Doğal yöntemlerle arıtılan bu su, ilave bir arıtma gerekmeden kullanım suyu olarak değerlendirilir.



Şekil 2.9. Yağmur suyu toplama sistemi

2.4.3. Gri su yönetimi

Gri sular, kanalizasyon atığı içermeyen duş, lavabo gibi alanlardan gelen evsel kaynaklı atık sulardır. Gri sular, evsel atık suların ortalama % 75'ini oluştururlar [8]. Gri sular, kanalizasyon sularından ayrı toplandığı zaman kanalizasyon yükünü azaltır. Diğer arıtma ihtiyacı olan sularla karşılaştırıldığında az zamanda ve az ücretle arıtılırlar. Gri sular; kaliteli içme suyu gerekmeyen sifonlarda, yeşil alan sulama, çamaşır ve araba yıkamada tekrar kullanılırlar. Yeşil çatı sistemlerinde gri su geri dönüştürülerek kullanılır. Gri sular banyo ve lavabolardan toplanıp, arıtılıp depolanarak yeşil çatıya pompalanırlar.

2.5. Sera Gazları ve Ağır Metallere Etkisi

Yerküre, üzerine düşen güneş ışınlarından çok, dünyadan yansıyan güneş ışınlarıyla ısınmaktadır. Atmosferden yansıyan güneş ışınlarının; karbondioksit, metan ve su buharı olmak üzere atmosferdeki gazlar tarafından tutulması yeryüzündeki ısıyı artırır ve küresel ısınmanın da sebebi olan sera etkisini oluşturur. Gazların kimyasal zararlarından ziyade dünyadaki sıcaklığın artmasına sebep olmaları da çok büyük bir problemdir. Ağır metaller, fiziksel özelliği yönünden yoğunlukları 5 g/cm^3 'ten fazla metaller şeklinde tanımlanmaktadır. Ağır metaller grubu; kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko gibi 60'ın üzerinde metalden oluşmaktadır. Dünyada birçok yerde ağır metal kirliliği biyosferi etkilemektedir [5]. Şehirlerde enerji kaynağı olarak genellikle fosil yakıtların kullanımı, HCFC, CO₂, O₃ gibi gazların atmosfere salınımı sera etkisini artırıp, havayı kirletmekte ve doğal dengeyi bozmaktadır. Yeşil çatılar, hem yağmur suyundaki ağır metalleri ve tuzu tutup hem de karbondioksiti emip oksijen üreterek sera gazlarını ortadan kaldırmaktadırlar. Yeşil çatılar; kadmiyum, bakır ve kurşunu % 98, çinkoyu, % 16 oranında tutarak sudan arındırmıştır [1]. Chicago'da yeşil çatıların çok olduğu bölgeleri kaliteli hava modeli olarak temel alan bir çalışma sonucunda, azot oksit emisyonlarında yılda 417,309.26 kg ve kükürt oksit emisyonlarında yılda 517,100.61 kg azalma görülmüştür [5].

2.6. Elektromanyetik Radyasyonu Azaltıcı Etkisi

Yeşil çatıların yapılarıdaki elektromanyetik radyasyonu büyük oranda azalttığı Almanya’da yapılan çalışmalar sonucunda kanıtlanmıştır. 10 cm toprak katmanına sahip yeşil çatılar elektromanyetik radyasyonu % 99 azaltır [9].

2.7. Kentsel Tarım Amaçlı Kullanımı

Kentsel alanlardaki yoğun yapılar nedeniyle bahçe alanları oldukça sınırlıdır. Yeşil çatılar, sınırlı sayıdaki bahçeleri çoğaltarak şehirde yaşayanlara yiyecek ve doğal ortamda yaşama şansı vermektedir [1]. Yeşil çatı çeşitleri, çiftçilik için ortam sağlayarak gıda üretimine ve şehir ekonomisine katkı sağlamaktadır [1]. Yeşil çatıların bu amaçlarla kullanılması, direk güneş ışığı alımını sağladığından tarım yapılabilecek bölgeler için büyük bir avantajdır. Böylelikle binaların inşa edilmesiyle kaybedilen toprakların bir kısmı geri kazanılabilir. Yeşil çatılardaki bitkilendirmenin boyutuna göre, yetiştirilen taze sebze ve meyveler, restoranlara satılabilir. Daha küçük boyutlu yeşil çatılar ise, binada yaşayanların sebze ve meyve ihtiyaçlarını karşılamaktadır.



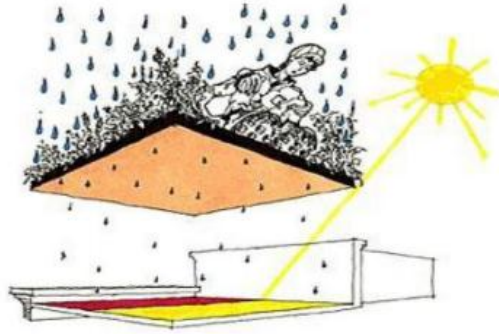
Şekil 2.10. Yeşil çatılarda kentsel tarım

2.8. Çatı Membranının Kullanım Ömrüne Etkisi

Gün içindeki sıcaklık değişimleri ve Güneş’in UV ışınlarından dolayı membranda meydana gelen termal basınç, uzun zamanlı kullanımda malzemenin performansının,

yeteneğinin ve yalıtım özelliklerinin zayıflamasına neden olmakta, çatı yüzeyini kırılğan hale getirerek eskitmektedir. Koruması olmayan çatı membranı, Güneş ışınlarını gün içinde absorbe edip çatı sıcaklığının artmasına sebep olur ve akşama doğru serinler. Sıcaklık derecesi membranın rengine göre artar. Açık renk membranlar, Güneş ışınlarını siyah membranlar gibi absorbe etmeyip yansıttığı için serinlik sağlarlar. Donma ve çözülme malzemelerde çatlaklara ve parçalanmalara neden olmaktadır. Çatının ömrünün uzun olması ve onarıma ihtiyaç duymaması, sıcaklığının sabit olmasına bağlıdır.

Yeşil çatı, membranı Güneş ışınları ve sıcaklık dalgalanmalarından muhafaza ederek ömrünü 60 seneye kadar uzatmaktadır [11]. Enerji, malzeme, para yönlerinden tasarruf sağlayarak yapı ekonomisine katkıda bulunurlar ve az miktarda atık ortaya çıkar. Böylece yeşil çatılar ekolojik bir yaklaşım oluşturur.

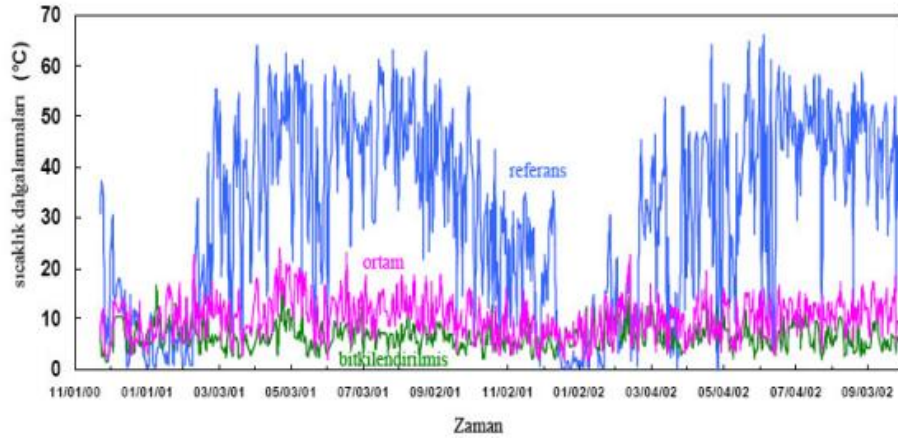


Şekil 2.11. UV ışınlarının absorbe edilmesi[4]

Alman araştırmacılar, yeşil çatılarda sıcaklık dalgalanmasındaki azalmanın genellikle çatıdaki bitkilendirme türüne bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Bitki çeşitliliği ve bitki tabakası yüksekliği yönünden avantajlı bir yeşil çatının çok fazla yalıtım yeteneği vardır [4].

Kanada'da yapılan bir araştırmada; malzemelerin yüzey sıcaklıklarının ölçümlerinden anlaşıldığı gibi; bilhassa yaz mevsiminde, 150 mm bitki taşıyıcı katmanı olan ekstensif yeşil çatı; su yalıtım malzemesinin sıcaklık derecesini, olması gereken seviyede tutabilir. Geleneksel çatılarda yazları, su yalıtım malzemesinin sıcaklığı 70 °C'yi bulurken, yeşil çatılarda bu sıcaklık en yüksek 30 °C'dir.

Geleneksel çatılarda, bahar ve yaz mevsiminde su yalıtım malzemesindeki sıcaklık dalgalanması en çok 45 °C olmasına rağmen, yeşil çatılarda 6°C kadar düşük olmasıyla, yeşil çatıların, malzemelerin sıcaklık dalgalanmalarını minimum seviyeye indirdikleri kanıtlanmıştır [9].



Şekil 2.12. Yeşil ve geleneksel çatılardaki malzemelerin sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması

BÖLÜM 3. YEŞİL ÇATILARDA YAĞMUR SUYU TOPLAMA, BİRİKTİRME VE YENİDEN KULLANMA

Dünya nüfusunun artması, plansız kentleşme, iklim değişikliği, su oranının sabit olması, su kirliliği ve geçirimsiz yüzeylerin artışı gibi sebeplerden dolayı yer altı ve yer üstü su kaynakları gittikçe azalmaktadır. Temiz suyun temini zor hale geldiği için, yağmur sularının depolanması ve kullanılmasına ilişkin yeni teknolojilerin geliştirilmesi zorunludur.

3.1. Yağmur Suyu Hasadı

Geçmişte ve günümüzde su temin etmek için en sık kullanılan sürdürülebilir ve en önemli yeşil altyapı yöntemlerinden biridir. Günümüzde yağmur suyu hasadı, ileri teknoloji gerekliliği olmaması ve kolaylıkla uygulanabilmesinden dolayı ekonomik açıdan yetersiz olan birçok yerde tarımsal sulama ve içme suyu temin etmek için sıklıkla kullanılmaktadır.

Yağmur suyu toplama veya yağmur suyu hasadı, yağmur suyunun birincil ya da yardımcı su kaynağı olarak toplanması, depolanması ve kullanılması sürecini anlatmaktadır [12]. Dünya Koruma Yaklaşımları ve Teknolojilerine Küresel Bakış Ağı veri tabanına göre yağmur suyu hasadı; “Evsel ve tarımsal kullanıma ek olarak ekosistemin devamlılığı için mevcut suyu artırmak amacıyla yağmur suyunun toplanması ve yönetimi” olarak tanımlanmaktadır. Ulusal Devlet Yasama Meclisleri Konferansı'na göre ise yağmur suyu hasadı “dış mekan kullanımı ve sıhhi tesisat için kullanmak amacıyla yağmur suyunu toplama sistemidir.

Yağmur suyunu toplamak, depolamak ve daha sonra banyo, tuvalet, çamaşır yıkama, peyzaj sulama, araba yıkama ve yangın söndürme rezervuarları gibi gereksinimlerin karşılanmasında kullanmak için geliştirilmiş bir yöntemdir [12]. Özellikle askeri

bölgelerde, havaalanlarında, turistik tesislerde, statlarda ve çatıları yeterli büyüklükte olan yapılarda, yağmur sularının depolanıp, arıtılarak kullanılması binalarda su tasarrufu sağlamak için çok önemlidir. Yerleşim yerlerinde, yağmur suyunun evsel alanlarda tekrar kullanılması, akışa geçen hacmin ve meydana gelebilecek risklerin % 30 oranında azaltılmasını sağlamaktadır.

Yağmur suyu hasadında çatı kaynaklı organik kirlilikten dolayı toplanan yağmur suyu kirlenmektedir. Bu sebeple yağışın bir miktarının ilk sifon ile hazneye alınmadan uzaklaştırılmalıdır. Buna ilaveten uzaklaştırılan yağış miktarı, yağış süresi ve şiddetine göre değiştiği için su hasadının gerçekleşmediği durumlar mümkün olabilmektedir.

Sistemden uzaklaştırılan yağış fraksiyonu ve depodaki su kalitesi, fizikokimyasal parametreler (pH, çözünmüş oksijen, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, NO_x-N, organik madde, toplam fosfor) yönünden incelendiğinde depoda bulunan su kalitesinin NH₄-N dışındaki standartları sağladığı görülmüştür. Bunun aksine depodaki suyun kalitesi mikrobiyolojik parametreler yönünden standartları sağlayamamaktadır [13]. Bu sebeple ilk yağış fraksiyonu ayrıştırılan sistemin farklı yağış karakteristiğine uyumlu şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ek olarak yağmur suyunun analiz edilip kullanım amacına uygun şekilde arıtılması gerekir.

Yağmur suyunun kalitesi bölgelere göre değişebilmektedir. Buna ilaveten hasat edilen yağmur suyunun ve depolanmış suyun kalitesi de mevsimlere göre zaman zaman farklılaşmaktadır. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde hasat edilen yağmur suyu kalitesi Toplam Koliform ve E. Coli parametreleri için yüksek değerlerde gitmekte ve aşırı değişmektedir (Toplam Koliform 50~300 CFU/100 ml, E. Coli 10~80 CFU/100ml). Hasat edilen su kalitesine göre su deposundaki mikrobiyolojik kirlilik daha da artmaktadır [13].

Yağmur suyunun uygun şekilde hasat edilmesi yağış miktarına ve devamlılığına göre değişmektedir. Bölgesel ve topoğrafik farklılıklardan dolayı yağışın dağılımı farklılık göstermektedir. Yağışın dağılımı ve şiddeti sistemin performansını ve

boyutlandırmasını etkilemektedir. Yağmur suyu hasadı sistemini boyutlandırmak için toplama yüzey alanı ve rezervuar hacmi belirlenmelidir. Evsel uygulamalarda çoğunlukla toplama yüzey alanının sabit kaldığı düşünürse sistemin tasarlanma aşamasında rezervuar hacminin belirlenmesi yeterlidir. Sistemden uzaklaştırılacak ilk yağış miktarını belirlemek için başlangıç kabulleri yapılmaktadır. Buna ilaveten bu parametrenin iyileştirilmesi yağış durumu ve işletim şartlarına bağlıdır.

Yağmur suyu hasadının avantajları; su imkanı sınırlı binalar için ilave su kaynağı olması, yaz ayları gibi kurak zamanlarda ya da içme suyu şebekelerinde oluşabilecek kesintiler için yedek su kaynağı olması, salgın hastalık dönemlerinde su temini imkânı sunması, kentsel alanlardaki şiddetli yağmurlara karşı taşkın ve sel kontrol mekanizması oluşturmasıdır.

3.2. Yağmur Suyu Toplama Sisteminin Bileşenleri

Klasik bir yağmur suyu toplama sisteminde; toplama yüzeyi, nakil sistemi, depolama sistemi ve dağıtım sistemleri olarak 4 bileşen bulunmaktadır. Yağmur suyu, toplama yüzeylerinden toplanarak bir dizi oluk sistemi aracılığıyla depolara iletilmekte ve çeşitli alanlarda kullanmak için yeniden dağıtılmaktadır [12].

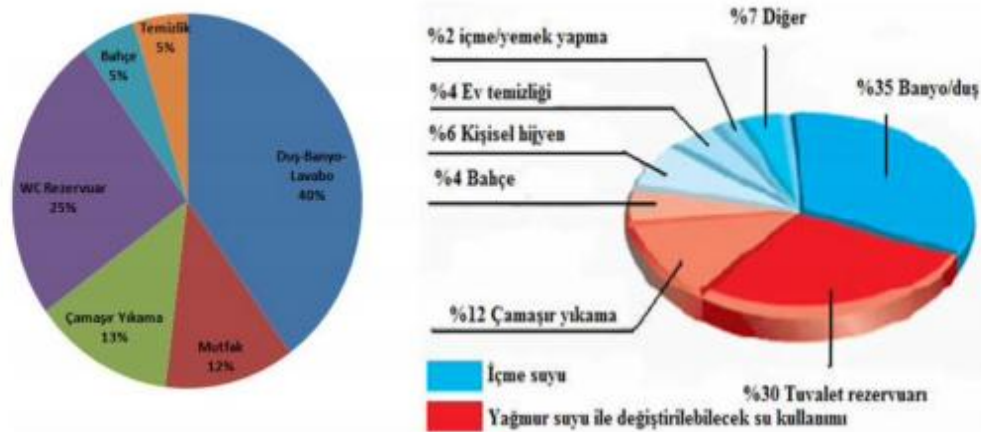
Toplama yüzeyi; yağmurun toplandığı yüzeydir [12]. Toplama yüzeyleri; çatı yüzeyleri, toprak yüzeyler ve kaya yüzeyleri gibi pek çok farklı türde yüzeyleri içermektedir. Çatılar en yaygın kullanılan toplama yüzeyleridir. Toplama yüzeylerinin büyüklüğü ve iklim koşullarına göre yüzeylerden toplanacak yağmur suyu miktarı değişmektedir. Ek olarak toplama yüzeylerinde kullanılan malzemelerin, toplama verimliliği ve su kalitesi üzerinde etkileri mevcuttur. Bundan dolayı toplama yüzeylerinde pürüzsüz, su itici ve suyu kirletmeyen temiz malzemeler tercih edilmelidir [12].

Nakil sistemleri; toplama alanlarından gelen yağmur sularını depolara ileten sistemlerdir [12]. Bu sistemler yağmur olukları, borular ve filtrelerden meydana gelmektedir. Oluklar genellikle metal ve plastik malzemelerden yapılmaktadır. Fakat

bazı yerlerde verimliliği düşük olmasına rağmen ucuz olduğundan dolayı bambu kullanılmaktadır. Nakil sistemleri kapsamında toplanan yağmur suyu doğrudan kullanılabilirdiği gibi filtreleme veya arıtma işlemlerinden de geçirilebilir. Arıtma yönteminin ya da filtrelemenin çeşidi ise hasat edilen yağmur suyunun nihai kullanımına bağlıdır. Örneğin yağmur suyu içme suyu olarak kullanılacaksa kimyasal ve biyolojik kontaminasyonu amaçlayan bir arıtma yöntemi kullanılmalıdır [12].

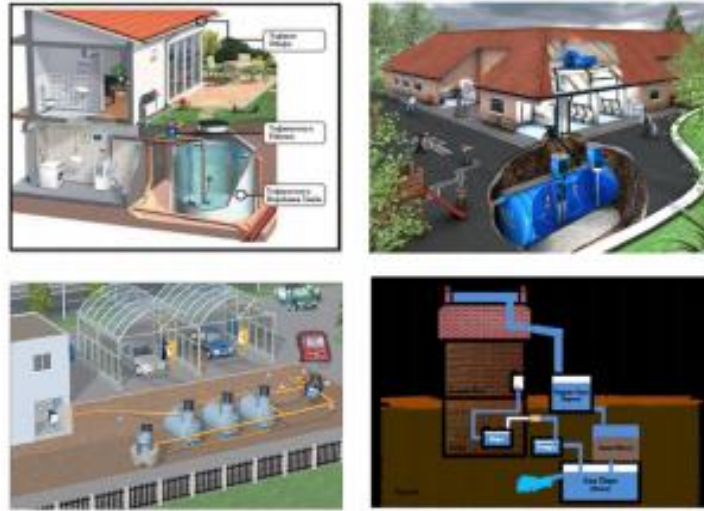
Depolama sistemi; nakil sistemlerinden gelen yağmur suyunun biriktirildiği yerlerdir. Gerektiği zaman kullanmak için toplanan yağmur suyunun uygun biçimde depolanması çok önemlidir. Depolama tankları; çelik, plastik, beton, sıkıştırılmış toprak, çimento ve ahşap kullanılarak inşa edilmektedirler. Depolama tanklarının malzemesi seçilirken su geçirmez olmasına, suyu kirletmemesine, bölgenin iklimsel ve çevresel koşullarına uygun olmasına dikkat edilmelidir [12]. Yağmur suyu deposunun hacmi; yağış miktarı, gerekli olan su miktarı, öngörülen yağmursuz geçen zaman, yağmur suyu toplama yüzeyinin alanı, filtrelerin etkinliği ve ekonomik nedenlere bağlıdır [12].

Dağıtım sistemi; toplanan ve kullanıma hazır hale gelen yağmur suyunu yerçekimi veya pompalar ile kullanım noktasına ulaştırmaktadır [12].

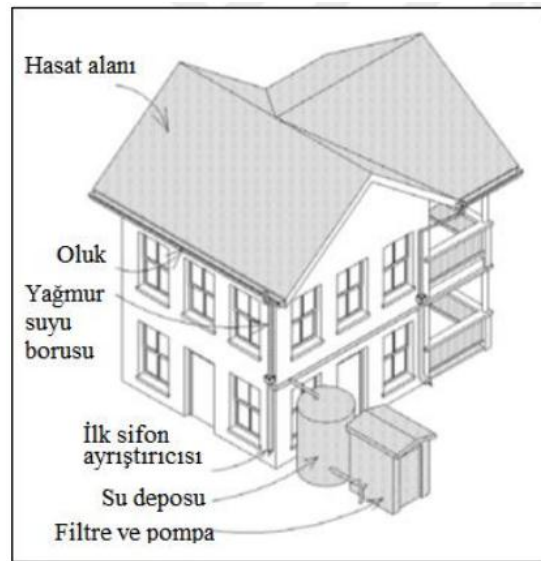


Şekil 3.1. Günlük evsel su ve yağmur suyu değerlendirilmesi [14].

Binalarda yağmur suyu tesisatı; tekli ve çiftli sistem olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır. İçme suyu şebekesinin yağmur suyu tesisatına bağlandığı ve gerektiği zaman bu tesisatı beslediği sisteme tekli sistem denir. Konut içerisindeki içme suyu şebeke sistemi ile yağmur suyu tesisatının birbirinden bağımsız olduğu sisteme çiftli sistem denir. Tekli sistemde, çatıda biriken yağmur suları kaba filtreden geçtikten sonra çatı arasındaki veya zemin altındaki yağmur suyu deposuna iletilir. Buradan da, kendi cazibesiyle (yer çekimi etkisiyle) veya depolanarak evlerdeki tuvalet rezervuarına veya çamaşır makinesine aktarılır. Yağmur suyu olmadığı zamanlarda sistem içme suyu şebekesi ile beslenerek işlem tekrarlanır.



Şekil 3.2. Yağmur suyu hasadı [14]



Şekil 3.3. Eysel yağmur suyu hasat sistemi [14]

BÖLÜM 4. YEŞİL ÇATILARA YERLEŞTİRİLEN GÜNEŞ PANELLERİYLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETMEK

4.1. Güneş Enerjisi

İklim değişikliğine yol açan ve ekosisteme zararlı sera gazları, fosil yakıtlar ve enerji kullanımının artması, toplumu yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönlendirmiştir.

Hidrojenin helyuma dönüşmesiyle meydana gelen ışınım enerjisine Güneş enerjisi denir [15]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki en sık kullanılan enerji çeşididir. Elektrik ve ısı üretiminde kullanılmaktadır. [15]

4.2. Güneş Enerjisinin Çevresel Etkileri

Güneş; bol, ücretsiz, sürekli ve yenilenebilir enerji kaynağı olmasına ilaveten, çevreyi kirletmemesi, kolay bir teknoloji olması ve işletme maliyetinin az olmasından dolayı avantajlıdır. Çevre dostu bir enerji kaynağıdır, zararlı gaz emisyonu salınımı yapmamaktadır. Güneş enerjisi kullanımının artması fosil yakıt kullanımı önemli ölçüde azaltmaktadır. Böylece ekonomik ve çevresel unsurlarda olumlu sonuçlar oluşmaktadır.

4.3. Artan Enerji Tüketiminin Çevreye Etkileri

Enerji kullanımının artması, çevreyi olumsuz etkileyip doğal dengeyi bozmaktadır. Enerji gereksinimini karşılamak amacıyla fosil yakıtların kullanımı CO₂ emisyonu salınımı yaparak sera etkisi oluşturmaktadır. Ayrıca fosil yakıtlar, dünyanın sıcaklığını en yüksek derecelere çıkarmakta ve hava kirliliğine sebep olmaktadır. CO₂ salınımının artmasında; sanayileşme, binalarda ısıtma, soğutma, aydınlatmada

kullanılan enerji, bina dışı kullanılan enerji de etkili olmaktadır. Böylece yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih etmek CO₂'in artmasını engelleyerek daha temiz bir çevrede yaşamamızı sağlayacaktır.

4.4. Güneş Panelleri

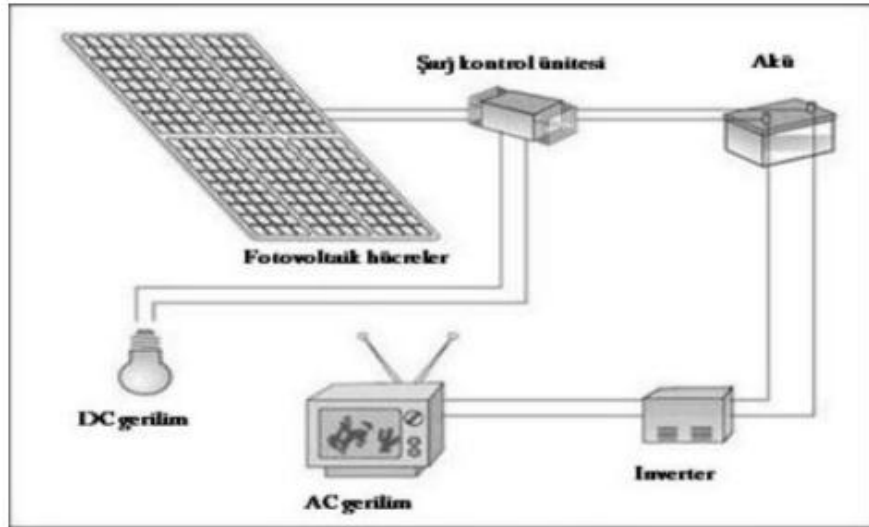
Güneş pilleri seri ve paralel şekilde bağlandığında güneş panelleri meydana gelmektedir. Güneş ışınları güneş paneline geldiğinde güneş pilindeki yarı iletken teknoloji ile elektron alışverişi yaparak elektrik enerjisi oluşmaktadır [16]. Fotovoltaik güneş teknolojileri bulutlu havalarda dahi elektrik üretir, hatta az bulutlu havalarda güneş ışığı yansıdığı için güneşli günlere oranla daha fazla elektrik üretmektedirler [17].

Güneş panelleri az miktarda güneş ışığıyla megawattlarca elektrik üretebilmektedir. Yapım aşamasında gürültü ve hava kirliliğine neden olmaz.

Çatılara uygun bir açıyla yerleştirilen güneş panellerinin en verimli olduğu kısım güney cephesidir. Çatılara ek olarak, bina cephelerinde de güneş panelleri kullanılmaktadır. Güneş panelleri sayesinde bina, cadde ve parklarda ışıklandırma sağlanarak pek çok alanda enerji tasarrufu yapılmaktadır. Pek çok ülke elektrik ihtiyacının % 5- % 30'unu güneş enerjisi sistemiyle karşılamaktadır.



Şekil 4.1. Çatı üzeri güneş paneli kurulumu



Şekil 4.2. Güneş enerjisi sistemlerinin şeması



Şekil 4.3. Güneş panelinin sokak aydınlatmasında kullanımı

4.4.1. Güneş panellerinin yapılara uygulanması

Güneş panellerinin çatılara uygulanması, çatı malzemesi ya da çatı üzerine yerleştirilen ek yapılarla mümkün olmaktadır. Uygulanacak fotovoltaik hücreler çatı tipine göre belirlenmektedir. Düz ve eğik çatı tiplerinde kristal silisyum, eğrisel çatılarda ince film hücreler kullanılmaktadır.

Güneş panellerinin mevcuttaki binaya uygulanmasıyla yeni inşa edilen binaya uygulanması arasında farklar vardır. Yeni inşa edilen yapılarda bütün halinde tasarlanan panellerin mevcuttaki yapılarda bina bütünlüğünü bozmamasına dikkat edilmelidir. Ek yapılarından dolayı mevcuttaki binanın yükünü artırıp estetiğini bozabilmektedir. Bu sebeple güneş panelleri hücre türüne göre bina ile bütünleştirilmelidir.



Şekil 4.4. Çatı üzeri güneş paneli kurulumu



Şekil 4.5. Çatı üzeri kurulumu tamamlanmış güneş paneli dizimi

4.4.2. Yeşil çatılarda güneş panelleri uygulaması

Güneş enerjisi sistemleri sürdürülebilir tasarımın parçası ya da yapım stratejisine bağlı olarak çoğunlukla çatılarda kullanılmaktadır. Güneş enerjisi için engelsiz ulaşım sağladığından çok avantajlıdır. Bundan dolayı yeşil çatılar; güneş paneli kurmak ve güneş enerjisi üretmede iyi bir ortam oluşturmaktadır. Güneş panelleri çatılarda gölge oluşturduklarından dolayı gölge olan bölümlerin bitkilerinin seçiminde dikkatli olunmalıdır (Şekil 4.6). Sıcaklığın düşük olduğu alanlarda güneş panelleri uygulanarak yeşil çatıların verimliliğinin artırıldığı araştırmalarla tespit edilmiştir [4].



Şekil 4.6. Ekstensif yeşil çatıda güneş panelleri, Stuttgart'ta bulunan okul [4]

Kohler ve arkadaşlarının Berlin’de yaptığı araştırmaların sonucunda, yeşil çatılar ve güneş panellerinin tek çatıda uyum içinde oldukları anlaşılmıştır. Güneş panelleri yeşil çatılarda kurulduklarında klasik çatıda kurulandan daha verimli çalışmaktadır [4].

Güneş panelinin yeşil çatıya kurulumu esnasında su yalıtım membranına hasar vermemeye özen gösterilmelidir. (Gemi (2010) kurulumla ilgili araştırmalarından şöyle bahsetmektedir;

Yeşil çatılarda güneş panelleri kurulurken su yalıtımının delinmemesine özen gösterilmelidir. Bundan dolayı güneş panelleri, bitki taşıyıcı katmanların ağırlığıyla sabitlenmelidir. Su yalıtımı ve koruyucu keçenin üzerine sabitlenmeden yerleştirilecek plakalara, güneş panelini taşıyabilen çerçeveler sabitlenmelidir. Plakaların su tutma hazneleri ve difüzyon delikleri olduğundan drenaj görevi yaparlar. Üzerleri, yük miktarı kadar bitki taşıyıcı tabakayla kaplanıp kurulum tamamlanmaktadır [4].

4.4.3. Güneş enerjisi sistemlerinin çevreye etkileri

Güneş enerjisi sistemleri, küresel ısınmanın en önemli sebebi olan karbondioksit (CO₂) gazını üretmemektedir. Üretimleri sırasında birtakım zararlı gazlar atmosfere salınmaktadır. Ancak bu oran fosil yakıtların atmosfere saldığı emisyon oranından çok düşüktür. Güneş enerjisi sistemlerinin üretiminde atmosfere 21,65 g CO₂/kWh, fosil yakıtlar kullanılarak elektrik üretildiğinde ise 900 g CO₂/kWh yayılmaktadır. Ayrıca güneş panelleri üretilirken gereken enerji, önceden tasarlanmış ve elektrik üretimi yapan güneş panellerinden karşılanabileceğinden üretimlerinde de sıfır emisyon sağlanabilmektedir.

EPIA-Greenpeace güneş enerjisi kullanımına göre, güneş panellerinin kullanımı CO₂ emisyonunun senede 1,6 milyar ton düşmesini sağlamaktadır. Bu değer 750 MW gücünde 450 tane kömür yakıtlı termik santralin meydana getireceğı emisyonu eşittir.

Böylece güneş enerjisi sistemleriyle elektrik üretimi sağlandığında 2005-2030 yılları arasında 9 milyar tonun üzerinde CO₂ emisyonu oluşumu önlenecektir [18].

BÖLÜM 5. YURT DIŞINDA VE TÜRKİYE'DE YEŞİL ÇATI ÖRNEKLERİ

5.1. Yurt Dışında Yeşil Çatı Örnekleri

1960'lı yıllarda yeşil çatıların çevresel yararları araştırılmış, Almanya, İsviçre, Fransa ve İskandinavya'da kullanılmaya başlanmıştır.

1980'li yıllarda Almanya'da yeşil çatı sistemlerinin tasarımları yaygınlaşmış ve 1989'da 1.000.000 m² alanında yeşil çatı keşfedilmiştir. Almanya yağmur suyu yönetimi için uzun süredir yeşil çatı sistemlerini kullanarak yapılarda enerji verimliliği sağlamaktadır. Almanya, yeşil çatı teknolojisinin ve avantajlarının keşfedilip geliştirilmesinde önder bir ülkedir. Almanya Hamburg'da nüfus artışı ve sel risklerinin fazla olmasından dolayı yeşil çatılara ilgi çoğalmıştır. 8 Nisan 2014'te Hamburg'daki çatıların % 75'inde yeşil çatı teknolojisi uygulanmıştır. Böylece yeşil çatı sistemi olan yapılarda atık su için % 50 indirim uygulanmıştır [8]. Hamburg, 2015 senesinde daha çok yeşil çatı inşa etmek için 3.000.000 Euro bütçe ile 5 sene boyunca kentteki yeşil çatı sayısını artırmayı amaçlamıştır. Yapılan yeşil çatılarla şehir ısısı 3-4°C azalmıştır [8].

Almanya'yı örnek alan Avusturya, Norveç, Kanada, Amerika, Danimarka, Singapur'da da yeşil çatılar 1990'lı yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Kuzey Avrupa ülkelerinden Norveç'te ısı izolasyonunu artırmak için kullanılmaktadır. Ayrıca bahçe mimarisi olarak da kullanılmaktadır.

Yeşil çatılar, Japonya'da öncelikli olarak bina sakinleri için yeşil alan sağlamak amacıyla inşa edilmiş, ancak soğutma ve kentsel ısı adası etkisini azaltmada kullanılmışlardır [8]. Dünyadaki en gelişmiş şehir sayılan Japonya'nın başkenti Tokyo'da kentsel ısı adası arttığından dolayı 2001'de park ve yeşil alanların

çoğaltılması kararı alınmış ve geçtiğimiz 10 yılda 30.000 metrekarelik yeşil çatı tasarlama hedefi konulmuştur. Ek olarak Tokyo hükümeti, 1000 m²'den büyük alanlarda yapılacak inşaatlar için 250 m² yeşil alan yapılmasını zorunlu kılmıştır. Bu kanun sayesinde daha çok yeşil çatı inşa edilmiş ve yeşil çatı şirketleri kurulmuştur. Araştırmalara göre, Tokyo'nun bütün çatılarının % 50'si yeşil çatıya dönüştürülürse şehrin sıcaklığı 0.11–0.84 °C daha azalabilir. Bu değişiklik sayesinde şehrin elektrik maliyetinde günlük 100 milyon yen (JPY) (3280000, 0000 TL) gibi bir düşüş olacaktır.

İsviçre'de kent yönetimi, geleneksel çatıların yeşil çatıya dönüştürülmesi hakkında yönerge yayınlamıştır. Zürih'te 1991'den beri geleneksel çatıya sahip bütün binalarda yeşil çatı uygulaması mecburi hale getirilmiştir. Bugün Zürih'te bulunan geleneksel çatıların % 29,5'i yeşil çatıya dönüştürülmüştür. İsviçre'nin başkenti Basel'in yönetimi 1996'da yeşil çatı sistemlerini teşvik ederek 100 yapının yeşil çatı projeleri için ortalama 1 milyon İsviçre Frangı destek vermiştir. 2002'den bu yana Basel'deki yapı yönetmelikleri, yeni yapılarda yeşil çatı uygulanmasını istemektedir. 2006 yılında her 5 binanın birinde yeşil çatı vardır.

Ekonomik olarak büyüyen bir ülke olan Çin'de, taşıt kullanımı arttığı için hava kirliliğinin de artacağı öngörülmektedir. Bu yüzden Çin'in başkenti olan Pekin yeşil bir şehir olmak amacıyla bazı girişimlerde bulunmaktadır. Şehre daha fazla park yapmak için yeterli alan olmadığından dolayı, Pekin Belediyesi 2008'e kadar çok katlı yapıların % 30'unun ve az katlı yapıların % 60'ının bitkilendirilmesini hedeflemiştir. 2008'de şehre ortalama 300.000 m² yeşil alan kazandırılmıştır.

Çeşitli ülkelerde yeşil çatı uygulamaları zorunlu tutulmuştur. Örneğin; 2009'dan itibaren Kanada'nın Toronto şehrinde 2000 m²'den büyük alana sahip tüm çatıların, 2010'da ise Danimarka'da bütün çatıların yeşil çatı olarak tasarlanması kararı alınmıştır. Avusturya'daki Linz şehrinde, yeni yapılara ve ticari faaliyet gösterecek olan bütün yapılara ölçüye göre 100 veya 500 m²'den büyük bir alanda yeşil çatı yapma zorunluluğu getirilmiştir.

Paris Belediyesi 2014-2020 yılları arasında 1.000.000 m² yeşil çatı tasarlama hedefi belirlemiş ve yeşil çatıların artması için teknikler uygulamışlardır. Yeşil çatı için belirlenen alanın 1/3'ü kentsel tarım için kullanılmıştır.

İskandinav ülkelerinde de yeşil çatılar mimarinin önemli bir parçası olmuştur. 2025'e kadar karbon nötr bir kent olma stratejisi olan Danimarka'nın başkenti Kopenhag'ta, çatı eğimi 30 dereceden düşük binalarda yeşil çatıyı zorunlu hale getiren ilk İskandinavya ülkesidir. İskandinav Yeşil Çatı Enstitüsü tarafından her sene en iyi yeşil çatı sistemi seçilmektedir [8].



Şekil 5.1. İskandinav ülkelerindeki yeşil çatılar

Yeşil çatılar, iklim koşulları gözetilmeksizin Asya'dan Amerika Birleşik Devletleri'ne kadar tüm ülkelerin şartlarına uygun hale getirilerek kullanılabilir. Bundan dolayı yeşil çatı teknolojisi daha yaygın kullanılmalı hatta zorunlu hale gelmelidir.

Dünya'daki bazı yeşil çatı örnekleri şunlardır:

- Jean Moullin Lisesi
- Seattle Halk Kütüphanesi (ABD)
- Nanyang Teknoloji Üniversitesi (Singapur)
- Delft Üniversitesi Kampüsü (Hollanda)
- Peyzaj Mimarları Topluluğu Binası (ABD)

- Austin Belediye Binası
- Şikago Belediye Binası (ABD)
- Kaiser İş Merkezi (California)
- Rockefeller İş Merkezi (ABD, New York)
- Kanaha Maui Tıp Plaza
- Vicenza Hastanesi
- California Bilim Akademisi Müzesi (ABD)
- Oakland Park Müzesi
- Namba Parks
- Grosse Schanze Park
- The Residences at 900
- Özel Brevard Residence
- International Place
- Mill Valley Hillside
- Pines Calyx Merkezi
- Boston Dünya Ticaret Merkezi
- Dokuz Ev (İsviçre)
- Acros Fukuoka Uluslararası Vilayet Merkezi Binası (Japonya)
- Casa Vallarta (Meksika)
- Pekin Havalimanı (Çin)
- GAP Genel Merkezi (ABD)
- Vancouver Kongre ve Sergi Binası (Kanada)
- Gateway House
- Macallen Konut Bloğu
- Sekiz Evi
- Joan Maragall Library / BCQ Arquitectura
- Vancouver Olimpiyat Köyü
- 909 Walnut Fidelity Kule Yapısı

5.1.1. Jean moullin lisesi

2016 yılında Fransa'nın Revin kentinde Meuse nehri boyunca uzanan bir tepede inşa edilmiştir. Proje alanı 18.005 m²'dir. Lise binası, spor salonu ve 6,5 hektarlık bahçeden oluşmaktadır. Proje, 11000 m²'den fazla merkezi binaya sahiptir.

Bina, yokuşta yer almaktadır. Bu alan, "ormanda balkon" fikrinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu lise, yapı ve doğal çevre arasındaki uyumu sağlamaya yardımcı olan, uzun ağaçlar ve çalılardan meydana gelen bir yeşil çatıdan yapılmıştır. Yapılara uygulanan yeşil çatı, sedum ve yosun gibi bitki örtülerinden meydana gelmektedir.



Şekil 5.2. Jean Moullin Lisesi

5.1.2. Seattle halk kütüphanesi

Washington ABD'de 2005 yılında inşa edilen Seattle Halk Kütüphanesi'nin çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatı alanı 1672 m², eğimi % 25'tir. Tasarlanan yeşil çatının su yalıtım malzemesi sıcak kauçuk asfalt membran, kök tutucu tabakası polietilen malzeme, drenaj tabakası Floradrain FD 40, filtre tabakası Systemfilter SF isimli jeotekstil kumaştır. Yeşil çatının bitkilendirme türü ekstensiftir. İç bükey, parabolik eğimli olan bu yeşil çatıda güneş panelleri, hareketli pencereler, geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılmıştır. Yeşil çatı; yağmur suyu akışını azaltmak için inşa edilmiştir, yağmur suyu miktarını ve kalitesini izlemek için araçlar

bulunmaktadır. Damlama sulama sistemiyle sulanmaktadır [1]. Bitki örtüsünü çeşitli otlar ve sedumlar oluşturmaktadır. Seattle Halk Kütüphanesi'nin yapısı, 2006'da Amerikan Mimarlar Odası'nın düzenlediği 'Yeşil Yapı' yarışmasında ilk onda yer almıştır.



Şekil 5.3. Seattle Halk Kütüphanesi

5.1.3. Nanyang teknoloji üniversitesi

2006 yılında Singapur'da inşa edilen Nanyang Teknoloji Üniversitesi'nin çatısı yeşil çatı olarak inşa edilmiştir. Yeşil çatı alanı 18.000 m², eğimi % 60'tır. İntensif bitkilendirme kullanılmıştır. 200 hektarlık ana kampüse sahip olan üniversitede inşa edilen yeşil çatılar, ortam sıcaklığını koruyarak gündüz sıcaklığının derecesini düşürmektedir. Yeşil kampüsün doğal görüntüsü ile uyumlu olması için, kıvrımlı çatısı yeşil ile kaplanan binada güneş kontrollü koyu renk cam giydirme cephe kullanılmıştır. Yağmur suyu toplama sistemi kullanılmakta ve yağmur sensörleri, yağmur yağdığı zaman sulamayı durdurmaktadır. Yeşil çatılar şehrin atmosferindeki NO₂, CO, SO₂, O₃ ve partikülleri filtreleyerek hava kalitesinin iyileştirilmesini sağlar. Araştırmalara göre bina çevresindeki 50-100 m'lik bitkilendirilmiş alanların, sıcaklığı 3-5°C 'ye kadar düşürdüğü tespit edilmiştir [19]. Böylece yılda 120.000 kWh enerji tasarrufu, 1,170 m³ su tasarrufu, işletme ve bakım masraflarının azalmasını sağlamaktadır. Bu yeşil çatı inşası; doğayı, peyzajı, yapıyı ve ileri teknolojiyi kapsayan özellikleri sayesinde 2011 yılında Singapore Building and Construction Authority (BCA) tarafından Green Mark Platinum Ödülü almıştır.



Şekil 5.4. Nanyang Teknoloji Üniversitesi

5.1.4. Delft teknoloji üniversitesi kampüsü (hollanda)

Van den Broek & Bakema tarafından 1960'lı yıllarda inşa edilen Delft Teknoloji Üniversitesi'nin çatısının yeşil çatı olarak tasarlanması; şiddetli yağmurun oluşturacağı yükleri azaltmış, hava kalitesini iyileştirmiş, sıcaklığı dengelemiş, gürültüyü azaltmış ve estetik değeri artırmıştır.



Şekil 5.5. Delft Teknoloji Üniversitesi Kampüsü

5.1.5. Peyzaj mimarları topluluğu binası (abd)

Washington ABD'de 2006 yılında yapımı tamamlanan Amerikan Peyzaj Mimarları Topluluğu (ASLA) binasının terasında inşa edilen yeşil çatı, 279 m² alanındaki klasik çatının yeşil çatı projesine dönüşümünü göstermektedir. Çatı eğimi % 1,25'tir. ASLA binasının çatısı derinlikleri 7,62 -53,34 cm aralığında olan ekstensif, yarı intensif ve intensif yeşil çatıdan meydana gelmektedir [4]. Amerikan Peyzaj Mimarları

Topluluğu; yeşil çatıyı tanıtmak ve çevresel yararlarını göstermek için geleneksel çatıyı yeşil çatıya dönüştürmüşlerdir [4].

Çatının kuzey ve güney cephelerinde tasarlanan suni tepeciklerden biri, az derin toprakta yetişebilen kısa boylu bitki türleri ile diğeri ise uzun boylu ve derin köklenme yapan bitki türleriyle, 2 m'lik substrat kalınlığıyla bitkilendirilmiştir. İnsanlara daha geniş alanlar yaratmak için aradaki bitkilendirilen zemine ızgara konstrüksiyon yerleştirilmiştir. Yeşil çatı sisteminde; çatı membranı, kök tutucu katman, yalıtım katmanı, drenaj/su toplama katmanı, filtre kumaşı ve yetiştirme ortamı bulunmaktadır. Yeşil çatıda en az % 25 geri dönüştürülebilir içerikli kauçuk asfalt tercih edilmiştir [1]. Sulama sistemi de, ekstensif bitkilendirmelerin sulanmasını kolay hale getirmek için merdiven boşluğu ve asansör shaftı üzerine tasarlanmıştır. Çatının dalgalı yapısı nedeniyle bitkilerin yetiştirme ortamı yüksekliklerinin farklı olması ASLA binasında çeşitli bitki türlerinin yetişmesine ortam oluşturmaktadır. Bu farklılık, bitkilerin büyümesine ve yağmur suyu tutma kapasitesinin gözlenmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca ASLA binasının yeşil çatısında kullanılan bitkiler kuraklığa karşı da avantajlıdır [4].



Şekil 5.6. ASLA yeşil çatı

5.1.6. Austin belediye binası

2007'de Austin, Teksas, ABD'de inşa edilen Austin Belediye Binası'nın yeşil çatı olarak tasarımı, mimarı Antonie Predock'un Balcones ve kireçtaşı kayalıklarını, platodaki şelaleleri, dereleri, ağaçları, doğayı taslak olarak düşünmesiyle başlamıştır

[7]. McKinney Kelley ise projeye, Travis Bölgesi'ndeki Edward Platosu ve Post Oak Ovası ekosistemlerine göre yön vermiştir.

Yeşil çatının alanı 1115 m², eğimi % 1'dir. İntensif bitkilendirme tercih edilmiştir. Kentsel ısı adası etkisini azaltmak amacıyla, olgun canlı meşe ağaçları ve diğer ağaçlar kullanılmıştır. Ayrıca çimen, çalı ve yer örtücü bitkileri kullanılmıştır. Yeşil çatılar yüzey suyu tarafından sulanmakta ve tiyatro için güneş paneli kullanılmaktadır. Bu yeşil çatı projesi, Austin'de LEED altın sertifikasını ilk kazanan yapıdır.



Şekil 5.7. Austin Belediye Binası

5.1.7. Şikago belediye binası (abd)

Şikago'da yer alan bir kamu binasıdır [19]. 2001 yılında yapımı tamamlanmıştır. 2000 m²alanında, % 1,5 eğiminde yeşil çatıya sahip olan bina; ekstensif, intensif, yarı intensif bitkilendirme türlerinden oluşmaktadır [4]. Yeşil çatı, yapının 11. katının terasında bulunmaktadır. Bu yapı, EPA'nın kentsel ısı adası girişimi tarafından maddi olarak desteklenmiştir [4].

Yeşil çatı binaya ortalama 135 kg/m²'lik ağırlık oluşturmaktadır. Projenin büyük bir bölümü ekstensif, birkaç yarı intensif ve yapının iki adet kolonun üzerine intensif yeşil çatı tasarlanmıştır [4]. Yeşil çatının çevresine istinat duvarları yapılmıştır. Drenaj sistemi binayı yağmur suyundan korumak amacıyla yapılmıştır. Yeşil çatı; yapının kapasitesinin yettiği ölçüde drenaj tabakası ve yetiştirme ortamında su depolamak için inşa edilmiştir. Fazla yağmur suyunun olumsuz durumlarda tahliye

edilmesi için Şikago Belediye Binası eğimli inşa edilmiştir. Bu bina, çatının iki tarafında toplanan sularla sulanmaktadır. Su tanklarda depolanmakta, gerektiği zaman yeşil çatıya damlama sulama sistemiyle iletilmektedir. Toplanan verilere göre binanın yağmur suyunun % 75'ini etkili kullandığı tespit edilmiştir. Yeşil çatı, yıllık ortalama 5000 dolar enerji tasarrufu sağlamakla birlikte ses izolasyonu da sağlamıştır [19]. Şehri yeşil çatı teknolojisine eğilimli hale getirmek için yapıya yeşil çatı tasarlanmıştır ve 2000 yılı Eylül ayında inşaat tamamlanmıştır [4]. Bu projenin amacı yoğun yapılaşmaların olduğu kentlerde yeşil çatılarla kentsel ısı adası etkisini azaltıp hava kalitesini iyileştirmektir.



Şekil 5.8. Şikago Belediye Binası

5.1.8. Kaiser iş merkezi (california)

Oakland, CA, ABD'de 1960 yılında yapımı tamamlanan Kaiser İş Merkezi dünyanın en büyük yeşil çatısıdır. Kaiser İş Merkezi'nde toplam alanın % 90'ı yapı, % 60'ı da yeşil çatı olarak kullanılmaktadır. Yeşil çatı eğimi % 2'dir. İntensif bitkilendirme kullanılmıştır. Yeşil çatıdaki bitkileri sulamak için otomatik sulama sistemi kullanılmaktadır. Yeşil çatıda bitkilendirmeye ek olarak su da kullanılmıştır [10]. Yeşil çatı fotosel sayesinde aydınlatılmaktadır.

Bu yeşil çatı projesi ekolojik olarak incelendiğinde; habitat ve biyolojik çeşitliliği artırması, ısıyı düzenlemesi, gürültü ve kirliliğini aza indirmesi, çatının ömrünü uzatması, mekan kazanımı gibi avantajları olduğu görülmüştür.



Şekil 5.9. Kaiser İş Merkezi



Şekil 5.10. Kaiser İş Merkezi

5.1.9. Rockefeller iş merkezi (abd)

Yan yana beş adet binanın çatısını yeşil çatı olarak tasarlayarak inşa edilmiştir. Bu çatılar yeşil çatı olarak kullanılmalarına ek olarak civardaki daha yüksek katlı binalara manzara oluşturmaktadır [10].

Modern zamandaki çakıl, kaya parçaları, tuğla kırıkları gibi ilk drenaj malzemeleri New York'taki Rockefeller İş Merkezi'ndeki yeşil çatılarda kullanılmıştır.



Şekil 5.11. Rockefeller İş Merkezi

5.1.10. Kanaha mauı tıp plaza

2006 yılında yapımı tamamlanan Kanaha Mauı Tıp Plaza'nın çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Çatı eğimi % 1'dir. Bitkilendirme türü intensif ve ekstensiftir. Çim ve yer örtücü gibi bitkiler kullanılmıştır. Kanaha Mauı Tıp Plaza, yeşil çatı olarak tasarlandığında çevresel açıdan birçok fayda sağlamıştır. Bunlar; kentin atık su miktarını azaltması, gürültü kirliliğini azaltması, hava kirliliğini azaltması, çatının ısı izolasyonunu artırması, su yalıtımının uzun süre kullanılabilir olmasını sağlamasıdır.



Şekil 5.12. Kanaha Mauı Tıp Plaza

5.1.11. Vicenza hastanesi

Vicenza, İtalya'da 2008 yılında yapımı tamamlanan Vicenza Hastanesi'nin çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatının alanı 2500 m², eğimi % 1'dir. İntensif ve ekstensif bitkilendirme yapılmıştır. Çim ve yer örtücü bitkileri tercih edilmiştir. Yeşil çatının Vicenza Hastanesi'ne sağladığı birçok avantaj vardır. Bunlar; kentin atık su

miktarını azaltması, gürültü kirliliğini azaltması, hava kirliliğini azaltması, çatının ısı izolasyonunu artırması, su yalıtımının uzun süre kullanılabilir olmasını sağlamasıdır. İnşa edilen yeşil çatının maliyeti m² başına 44,50 Euro'dur.



Şekil 5.13. Vicenza Hastanesi

5.1.12. California bilim akademisi müzesi (abd)

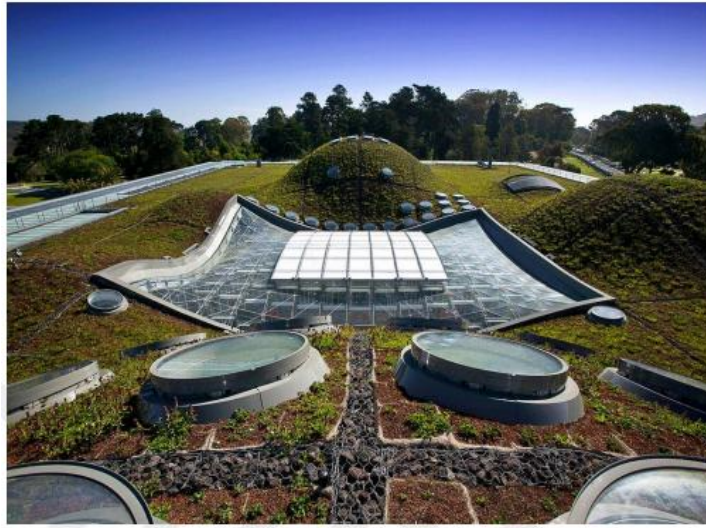
Kaliforniya Bilim Akademisi Müzesi, San Fransisko, ABD'de 1853'te kurulmuştur. 1916 senesinde Golden Gate Park'a taşınarak 12 birime kadar büyütülmüştür. Ortalama 30.000 m²'lik yeşil çatı Steinhart Akvaryumu, Morrison Planetaryumu, Kimball Doğa Tarihi Müzesi'ni içinde barındırmaktadır.

Mimar Renzo Piano yapının çevre dostu olmasını istediği için yeşil çatı ve gökyüzü ışığını içeri alan doğal ışıklandırılmalı bir tasarım yapmıştır [4]. Tasarımda su ve enerjinin verimli kullanımı, doğal ışık, doğal havalandırma, iç mekan kalitesi, sürdürülebilir arazi yönetiminin önemi vurgulanmıştır [4]. Müzede; yağmur ormanı, evrenin benzetiminin yapıldığı planetaryum, penguen habitatu ve dünyadaki iklim değişikliğini anlatan bir sergi yer almaktadır. [4]. Kaliforniya Bilim Akademisi Müzesi 2007 yeşil çatı ödülü ve LEED platin sertifikasının sahibi olmuştur.

Çatının en yüksek ve en alçak bölümleri arasında ortalama 12,2 m'lik fark vardır. Üst kısımda bitkilendirme bulunmaktadır. Ekstentif yeşil çatının substrat kalınlığı 15 cm'dir ve suya doymun ağırlığı 151,3-175,8 kg/m² arasındadır. Yeşil çatıda, çim ve yer örtücü bitkileri tercih edilmiştir. Bitkiler San Fransisko'nun iklimine adapte olabilmek için kuru havalarda çoğunlukla uzun zaman uyku haline geçmektedirler. Bitkilendirme tabakası, ızgaradan yapılmış bir toprak tutma sistemiyle tasarlanmıştır [4]. Izgara yüzey suyunun akışını kontrol etmek ve suyu drenaj sistemlerine yönlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bitkilerin yetişme ortamı, yüksek yağış miktarına rağmen tasarlanan sistem vasıtasıyla bir arada kalabilmektedir. Yeşil çatıdaki farklı bitki türlerinin yerleri problem teşkil etmektedir. Yüksekte büyüyen bitkiler güneş ışınlarının farklı miktarda olmasından dolayı orta ve alt bölümlerdeki bitkilerden daha az nemli olur. Çatıdaki su izolasyonu kök tutucu tabaka ve monolitik sıcak kauçuk asfalttan meydana gelmektedir. Rezervuar tipindeki drenaj paneli, bünyesinde su tutmaya yardımcı olmaktadır. Dik yamaçlardaki su akışı ve buharlaşmadan dolayı bitkiler için en verimli sulama yöntemi yeşil çatıdaki alt yüzey sulama sistemidir. Yeşil çatı sayesinde ortalama 7,5 milyon m³'lük yağmur suyunun yaklaşık % 70'i tutularak yeşil çatıdaki bitkiler ve çimler sulanmaktadır [7]. Çatı eğimi % 65'tir. Yeşil çatının eğimli bayırları doğal havalandırma ve soğutma görevi üstlenmektedir. Yeşil çatının çevresini kapsayan ve gölge yapan düz saçağın üzerindeki 60.000 fotovoltaik panel senede ortalama 213.000 kilovat-saat güneş enerjisi üretimi yaparak binanın enerji gereksiniminin % 5 – 10'unu karşılamakta ve senede 405.000 kilogram sera gazı emisyonunun salınımını engellemektedir.



Şekil 5.14. Kaliforniya Bilim Akademisi kesiti



Şekil 5.15. Kaliforniya Bilim Akademisi



Şekil 5.16. Kaliforniya Bilim Akademisi üstten görünüm

5.1.13. Oakland park müzesi

Oakland Park Müzesi 1969 yılında Kaliforniya’da inşa edilmiştir. Çatısı yeşil çatı şeklinde tasarlanmış, intensif bitkilendirme türü kullanılmıştır. Binada sedir ağaçları ve kızılçam korunmuştur. Bunlara ilaveten yer örtücü bitkiler kullanılmıştır. Yağmur sistemi sayesinde düzenli aralıklarla sıvı gübre verilmektedir.



Şekil 5.17. Oakland Park Müzesi

5.1.14. Namba parks

2003-2008 yılları arasında Japonya’da Osaka beyzbol stadyumunun üzerine inşa edilen proje, 8 seviyeli bir çatı bahçesine sahiptir. Çatı alanı 11500 m²’dir. Yeşil çatının bitkilendirme türü intensiftir. Ayrıca ağaçlar, çimler, akarsular, şelaleler, göletler ve sebze yetiştirme alanları bulunmaktadır. Namba Park’ın en belirgin özelliği, bireylere doğada, bir dağın tepesinde durdukları hissini veren yeşil çatı parkıdır.



Şekil 5.18. Namba Parks



Şekil 5.19. Namba Parks

5.1.15. Grosse schanze park

Grosse Schanze Park, 2006 yılında İsviçre'nin Bern şehrinde inşa edilmiştir. Otopark, büro, demiryolunun bulunduğu yeraltı kompleksinin üzerinde yer almaktadır. Çatı alanı 36.000 m²'dir. İntensif bitkilendirme türü kullanılmıştır. Park; çimenler, çalılar, çiçekler, su elemanları, gezi yolları ve restoran içermektedir. Demiryolu istasyonuna çevrilirken halkın tepki vermesinden dolayı, tekrar yeşil alana dönüştürülmüştür.



Şekil 5.20. Grosse Schanze Park

5.1.16. The residences at 900

2007 yılında inşa edilen, Chicago'da bulunan 900 Konutları'nın çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatının alanı 1300 m², eğimi % 1'dir. Bitkilendirme türü intensif, kullanılan bitkiler çim ve çalıdır. Rezidanslardaki yeşil çatı, birçok çevresel

fayda sağlamaktadır. Yeşil çatıda, 20.000'den fazla bitki bulunmaktadır. Yeşil çatı; 25,4 mm yağmur suyunun % 75'ini tutma kapasitesine sahiptir. Ayrıca konferans ve toplantı salonlarındaki gürültü kirliliğinin azalmasına katkı sağlamıştır. Şehrin atık su miktarını, hava kirliliğini azaltmıştır. Çatının ısı yalıtımını artırmıştır.



Şekil 5.21. The Residences at 900

5.1.17. Özel brevard residence

2008 yılında Brevard, ABD'de inşa edilen Özel Brevard Residence'in yeşil çatı alanı 110 m², eğimi % 1'dir. Yeşil çatının bitkilendirme türü intensif, kullanılan bitkiler çim ve yer örtücülerdir. Yeşil çatının ısı ve ses yalıtımı gibi avantajları bulunmaktadır.



Şekil 5.22. Özel Brevard Residence

5.1.18. International place

2009 yılında Boston, ABD’de inşa edilmiştir. Yeşil çatının alanı 480 m², eğimi % 1’dir. Yeşil çatının bitkilendirme türü intensiftir. Çim, yer örtücü, çalı ve ağaçlık gibi bitkiler kullanılmıştır.



Şekil 5.23. İnternational Place

5.1.19. Mill valley hillside

ABD’nin Mill Valley şehrinde 2009 yılında inşa edilmiştir. Yeşil çatının alanı 465 m², eğimi % 8’dir. Yeşil çatının bitkilendirme türü semi intensif, kullanılan bitkiler çim, çalı ve yer örtücülerdir.



Şekil 5.24. Mill Valley Hillside

5.1.20. Pines calyx merkezi

2007 yılında İngiltere’de inşa edilmiş, çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Çatı alanı 500 m²’dir. Yeşil çatının bitkilendirme türü ekstensiftir. Pines Calyx Merkezi yıllık 35 kWh/m² enerji tasarrufu ve 11,3 kg/m² karbondioksit emilimi sağlamaktadır.



Şekil 5.25. Pines Calyx Merkezi

5.1.21. Boston dünya ticaret merkezi

2003 yılında ABD’nin Boston şehrinde tamamlanan 3 katlı alan, yeşil çatıyla binanın birleştiği ilk yapılardandır. Çatı alanı 2700 m², eğimi % 1,5’tir. Yeşil çatının bitkilendirme türü intensif, kullanılan bitkiler çim, çalı ve yer örtücülerdir. Bina yapımında enerji verimliliği ele alınmıştır. Bu yeşil çatı sayesinde kentin ısı adası etkisi, hava ve gürültü kirliliği azalmıştır, çatının ısı yalıtımı artmıştır.



Şekil 5.26. Boston Dünya Ticareti Merkezi

5.1.22. Dokuz ev (isviçre)

Dokuz ev 1993'te Peter Vetsch tarafından, doğal zemini çatı olarak kullanan sıralı evler şeklinde tasarlanmıştır [11]. Çatı alanı 4000 m^3 , eğimi % 35'tir. Ekstensif yeşil çatı yapılmıştır. Doğanın içinde bahçenin devamı olarak dizayn edilmiştir. Yapının toprakla bütünleşik inşa edilmesinin doğal afetler için çözüm olacağını düşünen mimar, toprak zeminin konutları; yağmur, soğuk, rüzgar ve doğal aşınmadan koruyacağını öngörmüştür. Isı düzenleme, gürültü kirliliğini azaltma, hava kalitesini iyileştirme ve çatı ömrünü uzatma etkilerinden dolayı verimli bir projedir.



Şekil 5.27. Dokuz Ev

5.1.23. Acros fukuoka uluslararası vilayet merkezi binası (japonya)

1994 yılında Japonya'nın Fukuoka şehrinde inşa edilmiştir. Binanın yeşil alanı yok etme tehlikesinden dolayı binanın çatısı yeşil alan olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan yeşil çatı ile Tenjin Park'a 9.290 m^2 yeşil alan eklenmiştir. Çatı eğimi % 2'dir.

İntensif bitkilendirme türü kullanılmıştır. 76 bitki türünden oluşan çatı, 35.000 bitki ile on beş terası doldurmaktadır. Yeşil çatıdaki çalılar ve ağaç yaprakları sayesinde ısı adası etkisi azalmaktadır. Ölçümlere göre binanın çatısının sıcaklığının beton bir binaya göre 15 °C daha serin olduğu anlaşılmıştır. Yağmur suyu drenaj hattından geçerek üst katlardan alt katlara ulaşır. Binanın doğadan aldığı enerjiyi tekrar doğaya geri vermesi amaçlanmıştır.



Şekil 5.28. Acros Fukuoka

5.1.24. Casa vallarta, Meksika

Casa Vallarta, Meksika'nın Puerto Vallarta şehrinde 2012 yılında inşa edilmiştir. Bina, 710,98 m² yeşil çatı, 287,07 m² yeşil duvardan oluşmaktadır. Çatının eğimi % 1, bitkilendirme türü intensiftir. Bitkiler, özellikle rüzgârda hareket edebilecek boyutta ve renk çeşitliliği olan türlerden seçilmiştir. Bitkilerden dolayı oluşan yalıtım vasıtasıyla klima sayısı ve kapasitesi düşürülmüş, yaz aylarında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Yeşil çatı sisteminde yağmur ve sulama suyunun toplandığı depolar vardır. Gerekliğinde depolanan su filtrelenerek sisteme geri iade edilmektedir.



Şekil 5.29. Casa Vallarta

5.1.25. Pekin havalimanı (çin)

Foster & Partners tarafından tasarlanmıştır. 980.000 m² alana, 3,80 hektar çatı yüzey alanına sahiptir. Yeşil çatının bitkilendirme türü ekstensiftir. Enerji verimliliği sağlayan, çevreye duyarlı bir hava limanıdır.



Şekil 5.30. Pekin Havalimanı

5.1.26. GAP genel merkezi (ABD)

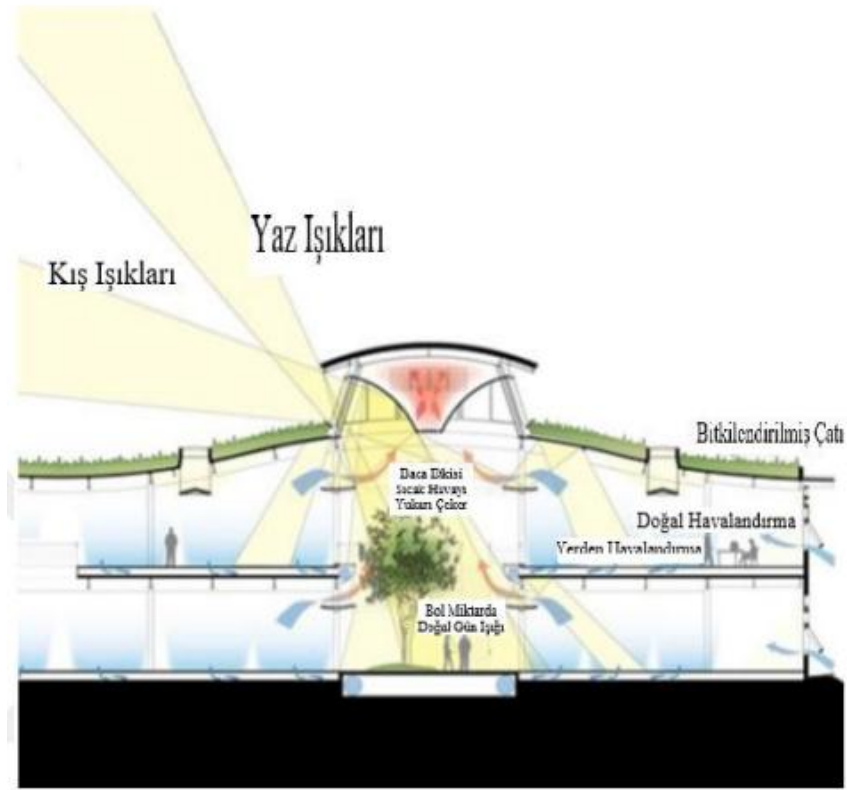
1997'de inşa edilen yapı, San Bruno'da seçilmiş bir araziye yapılmış olup, San Fransisko Uluslararası Havaalanı'na çok yakındır [4].



Şekil 5.31. GAP Genel Merkezi planı

Projen danışmanı Paul Kephart, Akdeniz bitki ve ekosistemi hakkındaki uzmanlığı sayesinde destek olmuştur. 1997’de inşaatı biten yapının alanı 18.580 m²’dir. Yapının planı incelendiğinde, doğadaki hiçbir şeyi değiştirmemek üzerine tasarlandığı anlaşılmaktadır. Ekosistem adeta çatıya taşınmıştır [4].

Yeşil çatı 6410 m²’dir ve dalgalı bir yapısı vardır. Eğimi % 25’lere kadar çıkmaktadır [4]. Sıvı uygulamalı, esnek bir membrana sahiptir. Membran, gübre ve asite dayanıklıdır. Çatının yüzeyine yapışarak kaçakları en aza indirmektedir [4]. Su yalıtım membranının üzerine kök tutucu katman ve ekstrüde polistrenizolasyon malzemesi konulmuştur. Yalıtım tabakasının üzerinde de drenaj tabakası bulunmaktadır. Bu tabakanın üzeri; yetişme ortamındaki parçacıkları tutmak için filtre tabakası ile kaplanmıştır [4]. Yetiştirme ortamı 15-20 cm kalınlığındadır ve sterilize edilmiş toprak kullanılmıştır. Yeşil çatının bitkilendirme türü ekstensiftir [4]. Otlar ve kır çiçekleri ile bitkilendirme yapılmıştır. Bu yeşil çatı ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır. Gürültüyü 50 dB’e kadar düşürmektedir. Hava sıcaklığının yüksek olduğu bu bölgede binada yeşil çatı olması, havalandırma ve soğutmada kullanılan enerjide büyük ölçüde tasarruf sağlamıştır.



Şekil 5.32. GAP yeşil çatı kesiti [4]

Tasarımcılar ve Paul Kephart'ın seçtiği 12 tür bitkinin doku, renk ve adaptasyonu farklılık göstermektedir. Yaz mevsimleri gibi kurak zamanlarda nem miktarını korumak için tasarıma sulama sistemi eklenmiştir. Düzenli şekilde fakat aşırı olmamak şartıyla sulama yapılmaktadır. 2004'te sulama sistemindeki bir sorundan dolayı nem yetersizliği oluşmuş, çoğunun uzun zaman kuraklığa dayanıklı olmasına rağmen neredeyse yeşil çatıdaki bütün bitkiler zarar görmüştür. Paul Kephart çatıyı yeniden bitkilendirmeye çalışmıştır. Bu bitkilendirme mevsimlerin değişimini göstermektedir. Çatı yeşilliğini koruyarak her gün gelişme göstermektedir. Yeşil çatıların termal özellikleri de vardır. Yeşil çatıda toplanan yağmur suyu; bitki örtüsünü sulamada kullanılmaktadır. Yeşil çatı yaban hayatı ve böceklere yaşama ortamı oluşturmaktadır [4]. Bunlara ilaveten binanın çevreye ve ekonomiye pek çok yararı bulunmaktadır. GAP Genel Merkezi, 2003 senesinde ekstensif yeşil çatı kategorisinde Sağlıklı Kentler için Yeşil Çatılar (Green Roofs for Healthy Cities) mükemmellik ödülü kazanmıştır [4].



Şekil 5.33. GAP Genel Merkezi

5.1.27. Vancouver kongre ve sergi binası (kanada)

Vancouver’da 2008 yılında inşa edilen binanın yeşil çatısı Kanada’da uygulanmış en büyük yeşil çatıdır. Eğimi % 3 ile % 54 arasında değişmektedir. Dik eğimli kısımlarda, yetiştirme ortamı ve bitki materyalini tutmak için yüksek mukavemetli polimer paspas ve paslanmaz çelik kablolar kullanılmıştır. Yeşil çatı alanı 6000 m² olan binada; ağırlık problemleri, yağmur suyu yönetimi, eğimli alanlarda yetiştirme ortamının su tutma kapasitesi, sulama suyu hacmi, bitki çeşitleri çözülmesi gereken önemli problemlerdir. Yeşil çatının bitkilendirme türü intensiftir. Yeşil çatıda 400.000’den fazla bitki ve ot bulunmaktadır. Yeşil çatı sisteminde aşağıdan yukarıya doğru metal örtü, densdeck isimli çatı panosu, permequik membrandan kök tutucu katman, 10-16 cm kalınlığında ekstrude yalıtım, filtre katmanı, 30, 48 cm’lik substrat ve çimen ağırlıklı bitki örtüsü kullanılmıştır. Bitkiler 15 cm kalınlığındaki yetiştirme ortamında büyümektedir [4]. Ayrıca yaz mevsiminde kuraklığa, kış mevsiminde şiddetli yağışa dayanıklıdır. Yeşil çatı sayesinde yaz aylarında ısı artışı % 95, kış aylarında ısı kaybı % 26 azalmıştır. Substratında lav kaya, kum, organik madde karışım halinde bulunmaktadır. Yeşil çatı sisteminin m³ başına düşen doygun ağırlığı 1,29 tondur. Damla sulama sistemi uygun görülmüştür. Bunlara ilaveten atık su arıtma tesisi vardır. Yapıdaki bütün atık sular tuvalet ve sifonlara su temini için arıtılmakta ve geri dönüştürülmektedir. LEED Platinum sertifikasına sahip bir yapıdır. Bu düzeyde LEED sertifikası almış dünyadaki ilk kongre ve sergi binasıdır.



Şekil 5.34. Vancouver Kongre ve Sergi Binası



Şekil 5.35. Vancouver Kongre ve Sergi Binası planı

5.1.28. Gateway house

Gateway House basamaklı bir binadır ve basamakların üstü ofislerden doğrudan ulaşılan yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Çatı alanı 6000 m²'dir. Yeşil çatının bitkilendirme türü intensiftir. Çim, açelya, çalı ve asma gibi bitkilerden oluşmaktadır. Yeşil çatının substrat kalınlığı çim alanlarda 22,5 cm, ağaçlık alanlarda 90 cm'dir.



Şekil 5.36. Gateway House

5.1.29. Macallen konut bloğu

2006 yılında ABD’de inşa edilen 12 kat yüksekliğindeki binanın en üst katı, yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Çatı alanı 2000 m², eğimi % 35’tir. Yeşil çatıda ekstensif bitkilendirme kullanılmıştır. Yeşil çatı sayesinde senede 2268 m³ su depolanmakta, enerji tüketimini % 30 azaltmaktadır Binanın LEED sertifikası mevcuttur. Aynı zamanda 2009 ASLA Profesyonel Ödülü, 2009 Sağlıklı Kentler İçin Yeşil Çatılar Mükemmellik Ödülü, Cote İlk On Yeşili Projesi ödülleri sahiptir.



Şekil 5.37. Macallen Konut Bloğu yeşil çatısı



Şekil 5.38. Macallen Konut bloğu

5.1.30. Sekiz ev

Sekiz Ev, 2010 yılında Danimarka'nın Kopenhag şehrinde inşa edilmiş, üç farklı bina türü ve 10.000 m² 'lik bürolardan meydana gelen 61.000 m² 'lik bir yapıdır. 8 formunda tasarlanan binanın çatısına, yosun ve sedumdan meydana gelen seyrek yeşil çatı uygulanmıştır. Bina sakinleri yeşil tutmaları şartıyla bahçelerindeki bitki türünü değiştirebilmektedirler. 1700 m² alana ve % 62,5 eğime sahip yeşil çatı kentsel ısı adası etkisini azaltmak, estetik bir değer sağlamak için tasarlanmıştır. Ayrıca yağmur suyu toplanıp sistem vasıtasıyla tekrar kullanılmaktadır. Yapı; 2010 İskandinavya Yeşil Çatı Ödülü almıştır.



Şekil 5.39. Sekiz Ev



Şekil 5.40. Sekiz Ev

5.1.31. Joan maragall library / bcq arquitectura

2014 yılında Barselona’da inşa edilmiştir. Yeşil çatının alanı 2983 m²’dir. Projede, eski bahçenin altına yeni bir yapı inşa edilmiştir. Eski bahçedeki ağaçlar, kütüphanenin çatısına yerleştirilmiştir. Proje kapsamında bir yarışma yapılmış ve slogan “Işık Bahçesi” olmuştur. Bu slogan, projenin hem mevcuttaki bahçeyi koruma ve geliştirme, hem de eğlenceli ve aydınlatılmış alanlar oluşturma fikrini anlatmaktadır.



Şekil 5.41. Joan Maragall Kütüphanesi

5.1.32. Vancouver olimpiyat köyü

2006 yılında Kanada'nın Vancouver şehrinde inşa edilen Vancouver Olimpiyat Köyü'nün çatı alanı 26.662 m², eğimi % 2'dir. Yeşil çatının bitkilendirme türü ekstensif ve intensiftir. Çim, yer örtücü, çalı ve ağaçlık gibi bitkiler kullanılmıştır. Yeşil çatının hedefi; kentsel ısı adası etkisini, hava ve gürültü kirliliğini azaltmak, çatının ısı yalıtımını artırmak, su yalıtımının uzun ömürlü olmasını sağlamaktır. Yapılar, yağmur sularını tuvaletlerde ve peyzajı sulamak için tekrar kullanmaktadır. Yeşil proje 28.000.000 dolara mal olmuş bir sistemdir ve ısı sağlamak için artırılmamış kanalizasyondan ısı temin ederek sıcak suları köye ve mahallelere iletmektedir. Böylece sera gazı emisyonlarının salınımını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bu projenin, senede 7700 ton karbon emisyonunu düşüreceği öngörülmektedir. Bu da 1900 otomobilin emisyonuna karşılık gelir. Proje, 16 Şubat 2010 tarihinde LEED Platinum Sertifikası almıştır.



Şekil 5.42. Vancouver Olimpiyat Köyü

5.1.33. 909 walnut fidelity kule

Binanın yeşil çatısı, Kansas kentinde sürekli artan onlarca yeşil çatının ilham kaynağı olmuştur. İntensif bir yeşil çatıdır.



Şekil 5.43. 909 Walnut Fidelity Kule yapısı

5.2. Türkiye’de Yeşil Çatı Örnekleri

Yurt dışında yaygın olarak kullanılan yeşil çatı sistemleri, Türkiye’de 2003’ten itibaren inşaat sektöründe uygulanmaya başlamıştır. Türkiye’de yeşil çatı sistemleri; iklim değişiklikleri ve enerji verimliliği yönünden incelenmeye başlanmasından itibaren tasarımcıların ve kullanıcıların ilgi odağı olmuştur. Ülkemizde yeşil çatı uygulamaları yaygınlaşmıştır ve yeni binalarda sayıları gittikçe artmaktadır. Yeşil çatı uygulamaları arttıkça bu alanda çalışan firmalar da artmaktadır.

Ülkemizde pek çok yeşil çatı örneği bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Turkcell Ar-ge Binası
- Küçükçekmece Belediye Binası
- Soyak Mavişehir
- Eser İnşaat Hizmet Binası
- Aydın Armada Life
- Ulus Savoy Projesi
- Ataköy Konakları
- Tema Bahçe İstanbul Konut Projesi
- Afyonkarahisar Parkvizyon Konutları
- Mesa Hastanesi
- H. Avni İncekara Fen Lisesi Yurdu
- Maslak Plaza Spring Giz Ek Binası
- Kanyon Alışveriş Merkezi

- Meydan Alışveriş Merkezi
- Zorlu Center Alışveriş Merkezi
- Forum İstanbul Alışveriş Merkezi
- Metrocity Alışveriş Merkezi
- Four Seasons İstanbul At The Bosphorus Hotel
- Hilton Oteli
- Sensimar Spa Hotel
- Çeşme Folkart Hills
- Çeşme Folkart Blu
- S Uluslararası Binicilik Merkezi
- Yakacık Country
- One&Ortaköy

5.2.1. Turkcell ar-ge binası

2008 yılında inşa edilen Turkcell Ar-Ge Binası, mimarı tasarımı ve çatısında bulunan 2500 m²'lik ekstensif yeşil çatı sistemi ile ülkemizdeki sürdürülebilir mimari anlayışını temsil etmektedir. 12. Ulusal Mimarlık Ödülleri kapsamında Yapı Dalı Başarı Ödülü almıştır.

Binanın yeşil çatısında çim ve yer örtücüler gibi bitkiler kullanılmıştır. Eğimli ve düz yeşil çatıları sayesinde çim kayağı ve yürüyüş gibi faaliyetlere olanak verecek şekilde tasarlanmıştır ve doğal bir rekreasyon alanı olarak kullanılmaktadır. Güneş ışığı kullanımlarını maksimum hale getirmek için düşey dolaşım alanı binanın orta kısmında dizayn edilmiştir.

Araştırmalara göre proje ekolojik olarak incelendiğinde; habitat ve biyolojik çeşitliliği artırması, ısı düzenleme etkisi, gürültü ve hava kirliliğini azaltması, enerji verimliliğini artırması, çatı ömrünü uzatması, istihdam ve kamusal alan oluşturulması konularında olumlu etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.44. Turkcell AR-GE Binası



Şekil 5.45. Turkcell Ar-Ge Binası'nın yeşil çatı görünüşü

5.2.2. Küçükçekmece belediye binası

İstanbul Küçükçekmece’de 2014 senesinde tamamlanan projenin toplam inşaat alanı 40.000 m², arsa inşaat alanı 15.000 m²’dir. Yapı, 38.000 m² kapalı alandan oluşmaktadır.

Projede, sürdürülebilirlik konusunda bireylerde farkındalık oluşturmak amacıyla bina, yeşil bina koşulları yönünde tasarlanmıştır. Yapının “yeşil bina” kavramı kapsamındaki özellikleri; yeşil çatı sistemi ve uygun bitkilerin kullanılması, yağmur sularını tutma, güneş ışığından maksimum şekilde yararlanma, suyun verimli kullanımı, geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılması, ses ve ısı yalıtımı sağlamasıdır. Binanın çevresi cam cephe ile kaplanarak güneş ışığından yararlanması hedeflenmiştir.

Yürüyüş yolu dışındaki çatının tümünde yeşil çatı sistemi tasarlanmıştır, yeşil çatının bitkilendirme türü ekstensiftir ve sedum bitkisi kullanılmıştır. Toprak katmanı yaklaşık 15 cm kalınlığındadır. Böylece ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır. Binanın çatısında biriken yağmur suları 250 m³ hacmindeki depoda toplanarak iç bahçe ve peyzaj bölgelerini sulamada kullanılmaktadır. Ek olarak yeşil çatı sistemi sayesinde % 35 enerji tasarrufu sağlanmakta ve senede ortalama 350 ton daha az karbon emisyonu oluşturmaktadır.

Bu binadaki yeşil bina konseptinin amacı, yapımı ve işleyişinde çevre dostu bir tasarımla gelecekte inşa edilecek yapılara örnek olmak ve çevreye duyarlı projelerin sayısının artmasını sağlamaktır.

Avrupa'da sürdürülebilirlik konularında önemli bir kuruluş olan, bütün dünyada çevre dostu yapıları belgeleyen İngiltere'deki Bina Araştırma Kuruluşu'nun (BRE) yetkilendirdiği BREEAM - Very Good (Çok İyi) sertifikası almıştır.



Şekil 5.46. Küçükçekmece Belediye Binası



Şekil 5.47. Küçükçekmece Belediyesi



Şekil 5.48. Küçükçekmece Belediyesi

5.2.3. Soyak mavişehir

İzmir Mavişehir’de 2007 senesinde inşaatı tamamlanmış, uygulama alanı 1500 m² bir yapıdır. Arsa alanının toplamı 37.328 m²’dir ve %20’sinden fazlası 9050 m² yeşil alan olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatılar dahil toplam 9296 m² yeşil alan vardır.

Dairelerin yaz mevsimlerinde çok ısınmasını engellemek için, güneş ışığını yansıtan açık renk çatı malzemeleri ve ekstensif bitkilendirilmiş yeşil çatı kullanılmıştır. Tüm blokların çatıları podima beyaz çakıldan oluşmaktadır. B2 Blok 13, 14 ve 15. katların terasları ve otopark çıkış merdiveninin üzeri bitkilendirilmiş yeşil çatıdır.



Şekil 5.49. Soyak Mavişehir

5.2.4. Eser inşaat hizmet binası

Eser İnşaat Hizmet Binası'nın inşa edilmesi ile doğallığın modernlikle buluştuğu bir tasarım ortaya çıkmıştır. Ön ve arka bahçe tamamen yeşil çatıdan oluşmaktadır. Yeşil alanın dikey olarak kullanılması, yer kaybına neden olmamıştır ve mimarlıkla doğanın buluşmasına büyük katkı sağlamıştır.



Şekil 5.50. Eser İnşaat Hizmet Binası arka bahçe

5.2.5. Aydın armada life

2018 yılında Aydın'da inşa edilen Aydın Armada Life'in çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Ekstensif ve intensif bitkilendirilmiştir.



Şekil 5.51. Aydın Armada Life

5.2.6. Ulus savoy

İstanbul Ulus'ta 80.000 m²'lik alanda 110 m²-350 m² arasında dairelerden meydana gelen bir projedir. Mimari tasarımı, yapı ve etrafının doğal taş ve ahşap ile tamamlanması esasına dayanmaktadır [6].



Şekil 5.52. Ulus Savoy

5.2.7. Ataköy konakları

Ataköy’de toplam 225.000 m² arsa üzerinde 195.000 m² alana inşa edilen Ataköy Konakları, 58 farklı blokta 950 daireden meydana gelmektedir. Toplam yeşil alanı 70.000 m²’dir ve 55.000 m²’si çim, 15.000 m²’si ağaç, ağaçlık, çalı, yer örtücüler gibi bitkilerden oluşmaktadır.



Şekil 5.53. Ataköy Konakları

5.2.8. Tema bahçe İstanbul

45.000 m² arsaya sahiptir. 45.000 m²’lik alanın ortalama 15.000 m²’si sert zemin, geriye kalan 30.000 m²’si yeşil alandır. Yeşil alanın 10.000 m²’si intensif yeşil çatıdır.



Şekil 5.54. Tema Bahçe İstanbul konut projesi

5.2.9. Afyonkarahisar parkvizyon konutları

64 daireden oluşan projenin yeşil alanının 1226 m²'si, altına kapalı otopark yapılması planlandığından dolayı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Otopark çatısı üzerine tasarlanacak yeşil çatıda, suyun drenajı için otoparktan itibaren kanal yapılmıştır. Otoparkı havalandırmak için 8 tane baca yapılmıştır.



Şekil 5.55. Afyonkarahisar Parkvizyon konutları

5.2.10. Mesa hastanesi

2004 yılında Ankara'da inşa Mesa Hastanesi'nin çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatının kapladığı alan 1000 m², çatı eğimi % 1'dir. Yeşil çatı ekstensif ve intensif şekilde bitkilendirilmiştir. Çim, yer örtücüler ve çalılar kullanılmıştır. Yeşil çatı; su verimliliği, rekreasyon, ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır.



Şekil 5.56. Mesa Hastanesi

5.2.11. H. Avni İncekara fen lisesi yurdu

Nevşehir’de 2009’da yapılmış olan H.Avni İncekara Fen Lisesi Yurt Binası’nın, 500 m²’lik uygulama alanı vardır. Çatı eğimi yaklaşık % 38’dir. Ekstensif bitkilendirme kullanılmıştır.

Türkiye’de ilk olarak güneş panelleri ile birlikte yeşil çatı tasarımı kamu binasında yapılmıştır. Türkiye’nin ilk yeşil kamu binası özelliğini kazanmış olan Nevşehir’deki H. Avni İncekara Fen Lisesi’nde yapılan ve çevre dostu özellikleri bulunan yeşil çatı sistemi ile bitkiler yetiştirilmiş, 500 m² çatının 290 m²’sine fotovoltaik güneş panelleri yerleştirilerek 13,5 kW’lık elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Yeşil çatı sayesinde bina, yağmur suyunu arıtarak yeniden kullanmakta, uygulanan yüksek ısı yalıtım sistemleriyle doğalgaz kullanımı en aza indirerek karbondioksit salınımı azaltılmaktadır [8]. Böylece ekolojik bir alan oluşturması hedeflenmiştir.



Şekil 5.57. H. Avni İncekara Fen Lisesi



Şekil 5.58. H. Avni İncekara Fen Lisesi

5.2.12. Maslak plaza spring giz ek binası

İstanbul'un Maslak ilçesinde 2005 yılında yapımı tamamlanan Maslak Plaza Spring Giz Ek Binası'nın çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatının kapladığı alan 220 m², çatı eğimi % 1'dir. Yeşil çatının bitkilendirme türü ekstensiftir ve çim tercih edilmiştir. Yeşil çatı; su verimliliği, ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır.



Şekil 5.59. Maslak Plaza Spring Giz

5.2.13. Kanyon alışveriş merkezi

2006 yılında İstanbul'un Levent ilçesinde inşa edilen ve 250.000 m²'lik alanıyla Avrupa'nın en büyük inşaat projelerindendir. Kanyon Alışveriş Merkezi'nin teraslarında 16.000 m² yeşil çatı kullanılmıştır. Yeşil çatının toplam kapladığı alan 4500 m²'dir. Bitkilendirme türü intensiftir. Yeşil çatıda mevsimlik çiçekler, çok yıllık ve kuraklığa dayanıklı bitkiler kullanılmıştır. Ayrıca projede, 100 panellik güneş enerjisi sistemine ilaveten elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesine imkan sağlayan kojenerasyon sistemi bulunmaktadır. Bunlara ilaveten egzoz gazı emisyonlarını azaltmak için karbon filtre sistemi olması da yapının çevreci özellikleri arasında yer almaktadır. Yapı İTÜ Enerji Enstitüsü'yle çevreci adımlar atma konusunda güncel kalabilmek amacıyla bir beraberlik içerisindedir. Bir vadinin doğal koruyuculuğundan ilham alınarak inşa edilen Kanyon AVM, yeşil mimarinin Türkiye'deki örneklerindendir. Kanyon AVM, 2012 senesinde, işletmeye alınan yapılarda uygulanan "BREEAM" kriterleri yönünde tasarım, bina yönetimi ve çevresel performansı açısından yapılan değerlendirmelerin sonucunda "BREEAM" sertifikası almıştır. Yapı 2016'da en iyi "BREEAM" sertifikası kategorisinde ödül almıştır.



Şekil 5.60. Kanyon Alışveriş Merkezi



Şekil 5.61. Kanyon AVM

5.2.14. Meydan alışveriş merkezi

2007 yılında İstanbul Ümraniye’de 128.000 m²’lik bir alanda kurulmuş olan Meydan AVM, ekolojik ortama uyumlu şekilde tasarlanmıştır.

Çatı alanı 55.000 m²’dir ve bunun 30.000 m²’si yeşil çatıdır. Aşağıdan yukarıya doğru yeşil çatı sistemindeki tabakalar; taşıyıcı tabaka, buhar kesici tabaka, ısı yalıtım tabakası, nem tutucu tabaka ve su yalıtım tabakası, drenaj tabakası, filtre tabakası, yetiştirme ortamı ve bitkilendirme tabakası olarak sıralanmaktadır. Mimarlar doğal bir bitki örtüsü elde etmeyi amaçladıkları için projede yer yer çok dik eğimli çatı yüzeyleri tasarlamışlardır. Çatının eğimi % 0’dan % 125’e kadar değişmektedir ve eğime göre farklı uygulamalar yapılmıştır. Eğimli yüzeylerde Floraset FS 75, düz yüzeylerde Floradrain FD 25 drenaj tabakası ve Filter Sheet SF adında filtre tabakası kullanılmıştır. Eğimin % 75’e çıktığı alanlarda toprak tutucu içerisinde bitkilerin yaşamasına imkan sağlayan georastlar kullanılmaktadır. Bu sistem toprak kaymasını engellemektedir. Ayrıca eğimin çok olduğu alanlarda bitkilendirme yapılmış ve sulama sistemi kurulmuştur [4]. Eğimin yüksek olmasından dolayı, projede intensif ve ekstensif yeşil çatı bitkilendirme türleri kullanılmıştır. Çim, yer örtücüler, çalılar ve küçük ağaçlar gibi bitkiler kullanılmıştır. Bitki köklerinin salgıladığı asitlere dayanıklı su yalıtım membranı kullanılmıştır. Bu membran -60 ile +130 °C’de

çalışmaktadır [4]. Yeşil çatıdaki özel sulama kanalları, toprağın emdiği ve fazla gelen yağmur sularını depoda biriktirip yeniden kullanılmasına olanak sağlayan teknolojik bir altyapı sistemiyle yapılmıştır. Böylece su tasarrufu sağlanmıştır. Yeşil çatı sisteminde 12 cm kalınlığındaki EPS ile ısı izolasyonu yapılmıştır. Jeotermal enerjiyle ısıtılıp soğutulan, Türkiye’de en büyük ve Avrupa’da ikinci olan bina, senede 1,3 milyon kw/h enerji tasarrufu sağlayarak, 350 tonluk karbondioksit salınımını da engellemektedir [1]. Bunlara ilaveten yeşil çatının 8 desibellik bir ses azaltımı sağladığı tespit edilmiştir [19].

Proje ekolojik olarak değerlendirildiğinde; habitat ve biyolojik çeşitliliğinin artırılması, ısı düzenlemesi, hava kirliliğini azaltması, enerji verimliliğine katkısı, çatı ömrünü uzatması gibi olumlu etkileri olduğu gözlenmektedir. Projenin bu yönü, kentsel sürdürülebilirlik kapsamında mümkün olan bütün alanların yeşil olarak tasarlanarak, şehirdeki beton yapılaşmanın azaltılmasını hedeflemektedir [6].

Meydan Alışveriş Merkezi; Dünya’nın en büyük yeşil çatı alanı unvanına sahiptir. Proje, hem mimarisi, hem de kullandığı teknolojiler yönünden birçok ödüle layık görülmüştür. 2008 Avrupa Birliği Çevre Ödülleri Türkiye Programı Süreç Kategorisi Birinciliği, 2008 ULI Avrupa Mükemmellik Ödülü, 2008 En iyi Gayrimenkul Ödülü, ArkiPARC Gayrimenkul Ödülleri Alışveriş Merkezi Kategorisi Birinciliği, FOA Mimarlık 2008 Yılın Mimarı Ödülleri almıştır. Ayrıca LEED sertifikası almaya hak kazanmıştır.



Şekil 5.62. Meydan Alışveriş Merkezi



Şekil 5.63. Ümraniye Meydan AVM proje planı [20]



Şekil 5.64. Ümraniye Meydan AVM



Şekil 5.65. Meydan AVM

5.2.15. Zorlu center AVM

AVM, kültür ve kongre merkezi, otel, bürolar ve konutlardan oluşan beş fonksiyonlu, Türkiye'deki ilk karma kullanımı olan büyük ölçekli projedir. Yeşil çatıların toplamı 72.000 m²'dir ve yeşil alanların toplamı 120.000 m²'dir. Yeşil alanların toplamının % 60'ı, zemin seviyesinden 33 metre yükseklikte 45.000 m² alanındaki yeşil alanın topografyasındaki çatılarda bulunmaktadır. Zorlu Center'ın yapımında 2,5 milyar ABD doları harcanmıştır.

Yeşil çatı tasarlanmasının amacı; insanlara yaşam alanı oluşturulması ve büyük şehirlerde, betonlaşmayı azaltarak yeşil alan ihtiyacının karşılanmasını sağlamaktır. Aynı zamanda yeşil çatılar, toz ve kirletici partikülleri filtreleyerek hava kirliliğini azaltmakta ve mikro iklimin iyileşmesini sağlamaktadır.

Yeşil çatıda 68 ağaç çeşidi dahil 200'ün üzerinde farklı bitki çeşidi kullanılmıştır. 500.000'in üzerinde uzun ömürlü ve 60.000 çalı vardır. Bitkilerin boyu 30-90 cm aralığında değişmektedir. Sığ köklü ve en fazla 500-600 cm yüksekliğinde ağaç çeşitleri tercih edilmiştir. Zorlu Center'da 2500 yeşillik ve 1250 yaprak döken ağaç dikilmiştir. Böylece yeşil bitkilerle donatılmıştır.

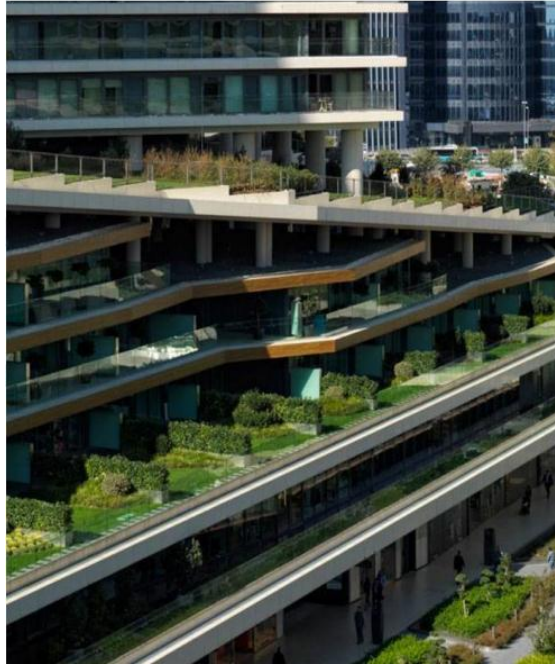
Yeşil alanlardan, 180 mağaza ve restoranların bulunduğu avm ve 14 sinema salonu faydalanmaktadır. Yeşil alanlar aynı zamanda, şirket çalışanlarının verimliliğini artıran bir çalışma alanı sağladıklarından dolayı oldukça önemlidir.



Şekil 5.66. Zorlu Center



Şekil 5.67. Zorlu Center vaziyet planı



Şekil 5.68. Zorlu Center



Şekil 5.69. Zorlu Center

5.2.16. Forum istanbul alışveriş merkezi

250.000 m² alana inşa edilen Forum İstanbul projesinin 3500 m²'si yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Projenin yeşil çatısında, intensif bitkilendirme türü uygulanmıştır. Palmiye, top akasya ve meşe bitkileri kullanılmıştır.



Şekil 5.70. Forum İstanbul AVM

5.2.17. Metrocity alışveriş merkezi

İstanbul'un Levent ilçesinde 2003 yılında yapılmış olan Metrocity Alışveriş Merkezi'nin çatısı yeşil çatı olarak inşa edilmiştir. Yeşil çatı, 6000 m²'lik bir alanı kaplamaktadır ve içerisinde spor sahaları, koşu parkuru, teras, süs havuzu bulunmaktadır. Yeşil çatıda intensif bitkilendirme yapılmıştır. Küçük ağaç, çalı, çim, yer örtücü bitkileri kullanılmıştır. Çatıda yetiştirme ortamı olarak toprak kullanılmıştır.

Metrocity Alışveriş Merkezi'ndeki yeşil çatı su tasarrufu, rekreasyon, ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır.



Şekil 5.71. Metrocity Alışveriş Merkezi

5.2.18. Four seasons istanbul at the bosphorus hotel

Ortaköy’de 2007 yılında yapılmış olan otelin çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatının kapladığı alan 1030 m²’dir. Yeşil çatıda ekstensif bitkilendirme yapılmıştır. Çok yıllık bitkiler, mevsimlik çiçekler, ağaçlık ve çalı gibi bitkiler kullanılmıştır. Yeşil çatı sayesinde; su tasarrufu, rekreasyon, ısı ve ses yalıtımı sağlanmaktadır. Otel kategorisinde gayrimenkul ödülü almıştır.



Şekil 5.72. Four Seasons İstanbul At The Bosphorus Hotel

5.2.19. Hilton oteli

İstanbul Harbiye’de 1985 yılında yapılan, İstanbul’daki en eski yeşil çatılardan olan bu mekan, Hilton Oteli’nin arkasındaki ek otel binasının üzerinde bulunmaktadır. Otelin önünde ve arkasında bulunan bahçeler de otopark, depo, kazan dairesi yapılarının üzerlerinde buldukları için yeşil çatı olarak isimlendirilirler. Binanın yük taşıma kapasitesini belirlemek için, bu bahçeler, bina yapılmadan önce planlanmıştır. Yeşil çatının bitkilendirme türü intensiftir. Çim, yer örtücü, çalı, ağaçlık, ağaç kullanılmıştır. Hilton Oteli, 2. Ulusal Mimarlık Dönemi’nin kapanışını simgeleyen yapılardandır.



Şekil 5.73. Hilton Oteli yeşil çatısının üstten görünümü [7]



Şekil 5.74. Hilton Oteli ek binası üzerindeki yeşil çatı [7]



Şekil 5.75. Hilton Oteli yeşil çatı

5.2.20. Sensimar spa hotel

Antalya'nın Side ilçesinde yer alan 30.000 m² 'lik alandaki projedir. Hotelin çevresindeki bahçelerin çoğunluğu yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Akdeniz florasının bitkilerinden; Citrus Limon, Olea Europaea, Ceratonia Siliqua, Citrus Sinensis, Citrus Aurantifolia gibi bitki türleri kullanılmıştır. Otelin çatıları ve duvarları yeşillikleri ile peyzaja katkı sağlamaktadır. Çatıdaki yükü azaltmak için bitki yetiştirme ortamı olarak toprağın yerine ponza dolgu üzerine suni çimen kullanılmıştır. Bu projedeki bütün yeşil çatıların bitkilendirme türü intensiftir.



Şekil 5.76. Sensimar Hotel çim tepeleri [7]



Şekil 5.77. Sensimar Hotel lokanta üzeri yeşil çatı [7]



Şekil 5.78. Sensimar Hotel restoran üzeri yeşil çatı [7]

5.2.21. Çeşme folkart hills

Çeşme’de bulunan ve 2018’de inşa edilen Çeşme Folkart Hills’in çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatıda intensif ve ekstensif bitkilendirme yapılmıştır.



Şekil 5.79. Çeşme Folkart Hills üstten görünüm



Şekil 5.80. Çeşme Folkart Hills yeşil çatı

5.2.22. Çeşme folkart blu

İzmir'in Çeşme ilçesinde 2017 yılında yapılan Çeşme Folkart Blu'nun çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatıda ekstensif bitkilendirme yapılmıştır.



Şekil 5.81. Çeşme Folkart Blu

5.2.23. S uluslararası binicilik merkezi

İstanbul'un İstinye ilçesinde 2005 yılında yapılmıştır. Yeşil çatının bitkilendirme türü semi intensiftir. Yeşil çatıda çim ve yer örtücü bitkiler kullanılmıştır. Tasarlanan yeşil çatı; su tasarrufu, ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır.



Şekil 5.82. S Uluslararası Binicilik Merkezi

5.2.24. Yakacık country

İstanbul'da 2006 yılında yapılan Yakacık Country'nin çatısı yeşil çatı olarak tasarlanmıştır. Yeşil çatının bitkilendirme türü ekstensiftir. Çim, yer örtücü, çalı ve ağaççık gibi bitkiler kullanılmıştır. Tasarlanan yeşil çatı sayesinde su verimliliği, ısı ve ses yalıtımı sağlanmaktadır.



Şekil 5.83. Yakacık Country

5.2.25. One&Ortaköy

One&Ortaköy, 2011'de İstanbul'un Ortaköy ilçesinde 12.000 m²'lik arsa alanına konut sitesi olarak yapılmış bir projedir. İntensif yeşil çatı sistemi kullanılmıştır.

Konut ve yurt olarak kullanılan iki yapı bloğunun yeşil çatılarında; yürüyüş parkuru, havuz ve bahçeler bulunmaktadır.



Şekil 5.84. One&Ortaköy 1

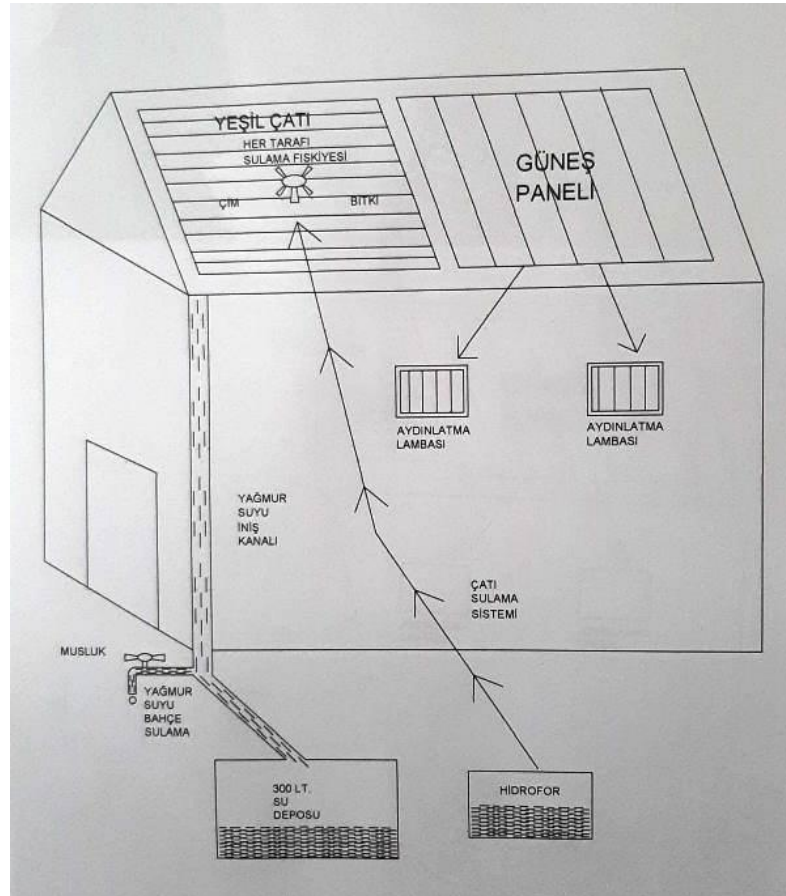


Şekil 5.85. One&Ortaköy 2

BÖLÜM 6. MATERYAL, YÖNTEM VE UYGULAMA

6.1. Araştırma Alanının Tanıtımı

Deneysel verilere ve sonuçlara ulaşabilmek için araştırma alanı belirlenerek deney düzeneği kurulmuştur. Araştırma alanı Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü içerisindeki kazan dairesi binasının çatısıdır. Çatı yüksekliği ve eğimi az olduğundan dolayı yeşil çatı sistemi uygulaması daha rahat yapılacağı için kazan dairesi binası tercih edilmiştir. Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü içerisindeki araştırma alanı aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.1. SAÜ kazan dairesi

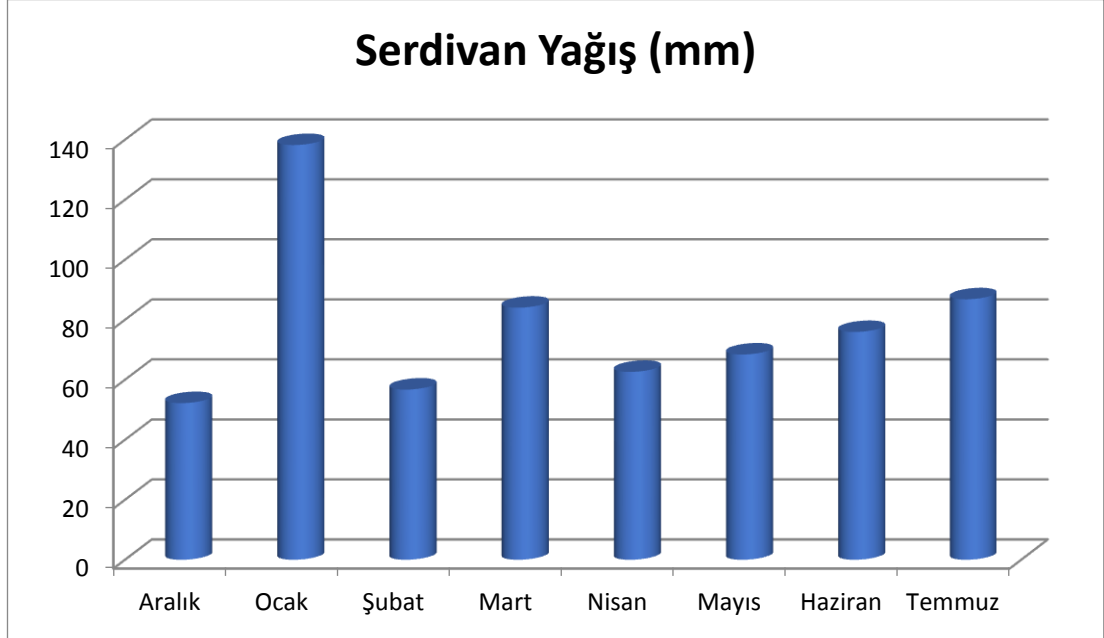
6.1.1. Araştırma alanının iklim özellikleri

Sakarya'nın Karadeniz kıyısı ve doğusunda Karadeniz iklimi, batısı ve güneyinde Marmara iklimi görülmektedir. İklimsel yönden araştırma alanı Sakarya genelinden farklı karakter sergilemektedir.

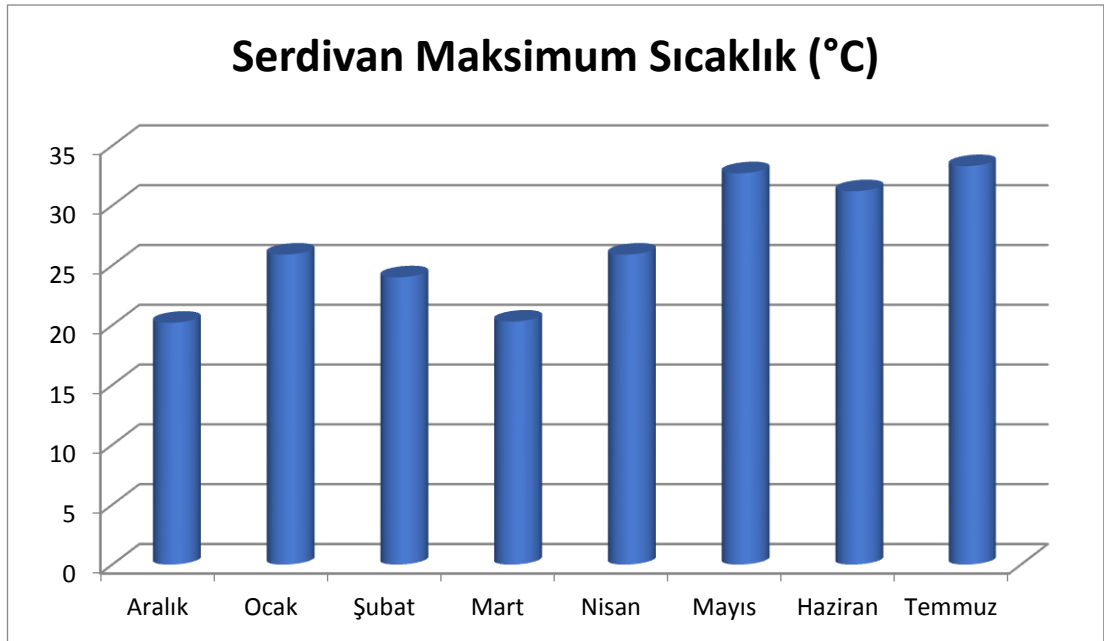
Araştırma alanının bulunduğu bölgeye 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasında mevsim normallerinde aylık ortalama 2 – 6,2 mm arasında yağış düşmektedir. Bu miktar aylık ortalama 3,13 mm yağışa sahip Sakarya'nın genel ortalaması ile yaklaşık olarak aynıdır. Aylık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde Serdivan'ın aylık ortalama hava sıcaklığının 13,78 °C, Sakarya genelinin aylık ortalama hava sıcaklığının 14,66 °C olduğu görülmektedir. Böylece Sakarya genelinin aylık ortalama hava sıcaklığının 0,88 °C daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çalışma dönemindeki 8 ay içerisinde araştırma alanının bulunduğu bölgedeki en yüksek hava sıcaklığı 33,3 °C ile Temmuz'da, en düşük hava sıcaklığı 1,5 °C ile Ocak'ta olduğu tespit edilmiştir. Deney dönemi boyunca araştırma alanının bulunduğu bölgeye 634,8 mm yağış düşmüştür. Araştırma alanına toplam 52,74 mm yağış düşmüştür. Araştırma alanının bulunduğu bölgeye düşen en yüksek yağış miktarı 50,1 mm ile Temmuz'da, en düşük yağış miktarı 0 mm yağışın en fazla görüldüğü Mayıs ayında gerçekleşmiştir. En uzun ardışık yağışlı günler 18 – 27 Mart 2021 tarihleri arasında gözlenmiştir. Yağışsız gün sayısı 110'dur. En uzun ardışık yağışsız günler 26 Haziran – 3 Temmuz 2021 tarihleri arasında gözlenmiştir. Ardışık yağışsız günler sonucu oluşan kuraklık, yeşil çatıdaki bitkilerin büyümesini olumsuz etkilemektedir. Bu dönemde bitkilerin gelişmeye devam edebilmesi için depoda biriken yağmur suyu ile yeşil çatıdaki bitkiler sulanmaktadır. Çalışma boyunca ölçülen aylık toplam yağış değerleri baz alındığında en yüksek yağış miktarı Temmuz ayında ölçüldüğünden iklimlerin değişmeye başladığı sonucuna varılabilir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan ve 2020-2021 yıllarını kapsayan 8 aylık meteorolojik veriler incelendiğinde, araştırma alanının bulunduğu bölge Aralık 2020 – Şubat 2021 tarihleri arasındaki 3 aylık dönemde % 53 - % 58 arasında değişen nem oranları ile normal nemli, Mart 2021 - Temmuz 2021 arasındaki 4 aylık dönemde %

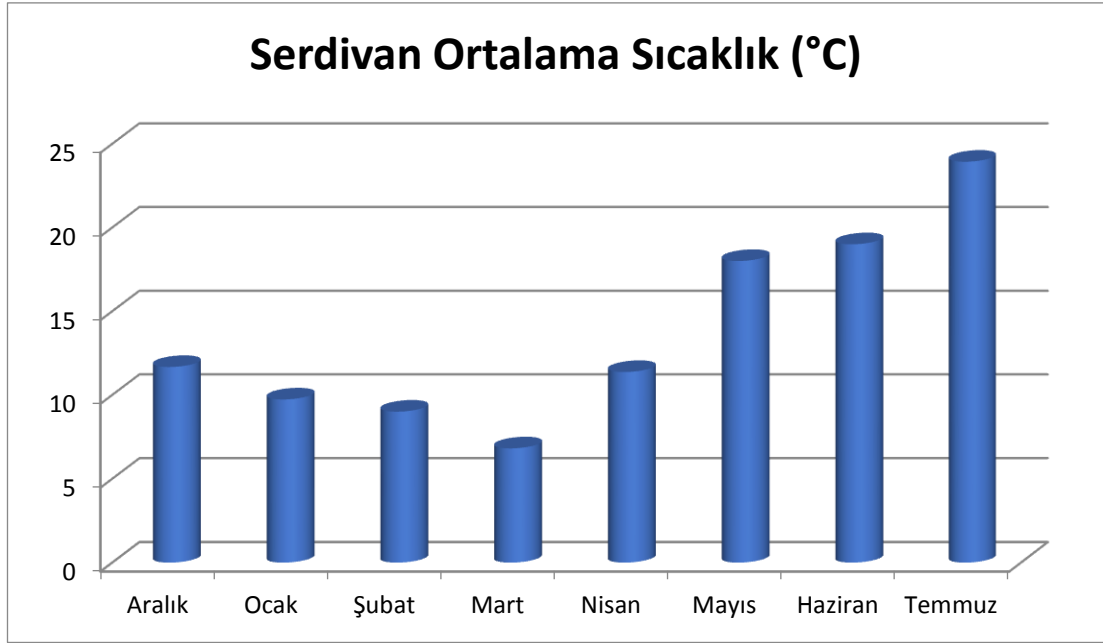
65 - % 81 arasında değişen nem oranlarına göre yüksek nemlidir. Sakarya geneli ise Aralık 2020 - Temmuz 2021 tarihleri arasındaki 8 aylık dönemde yüksek nemlidir.



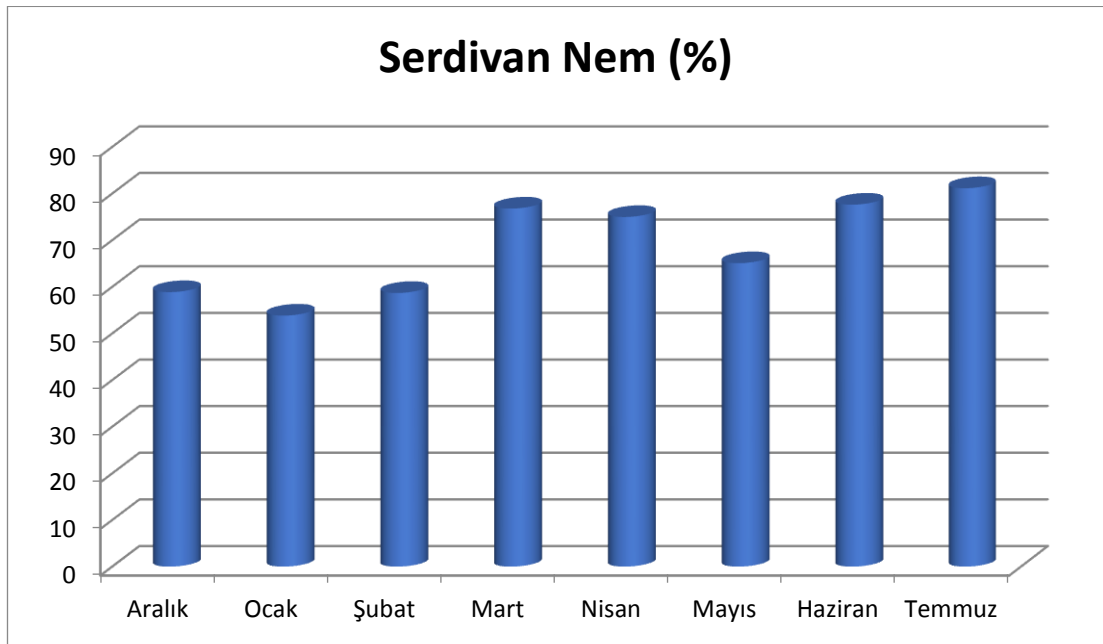
Grafik 6.1. Serdivan 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki yağış miktarı



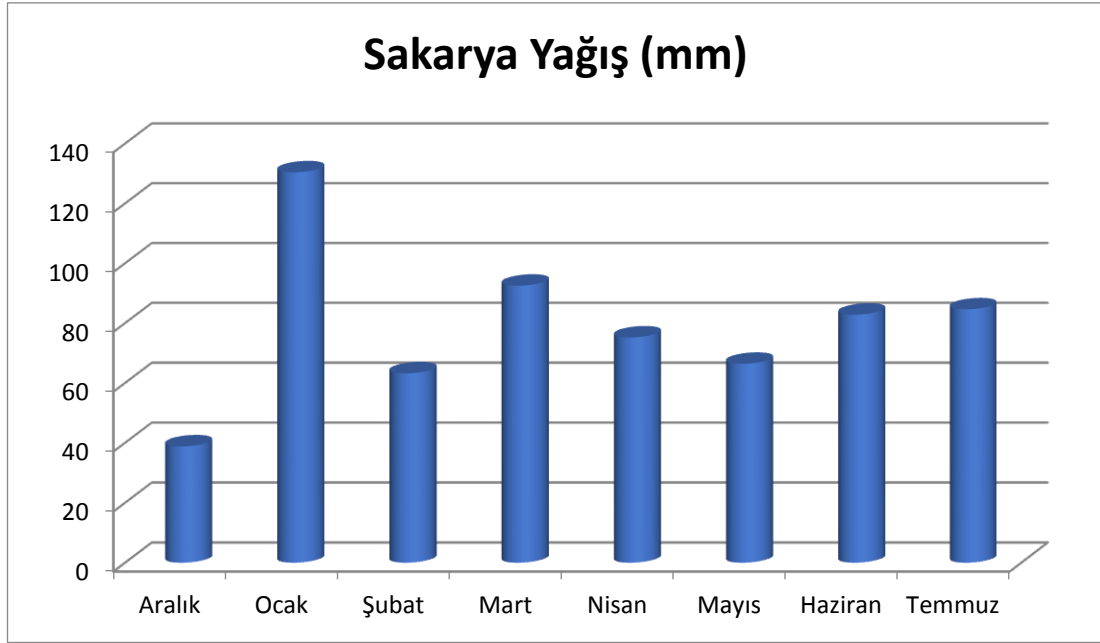
Grafik 6.2. Serdivan 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki maksimum sıcaklık



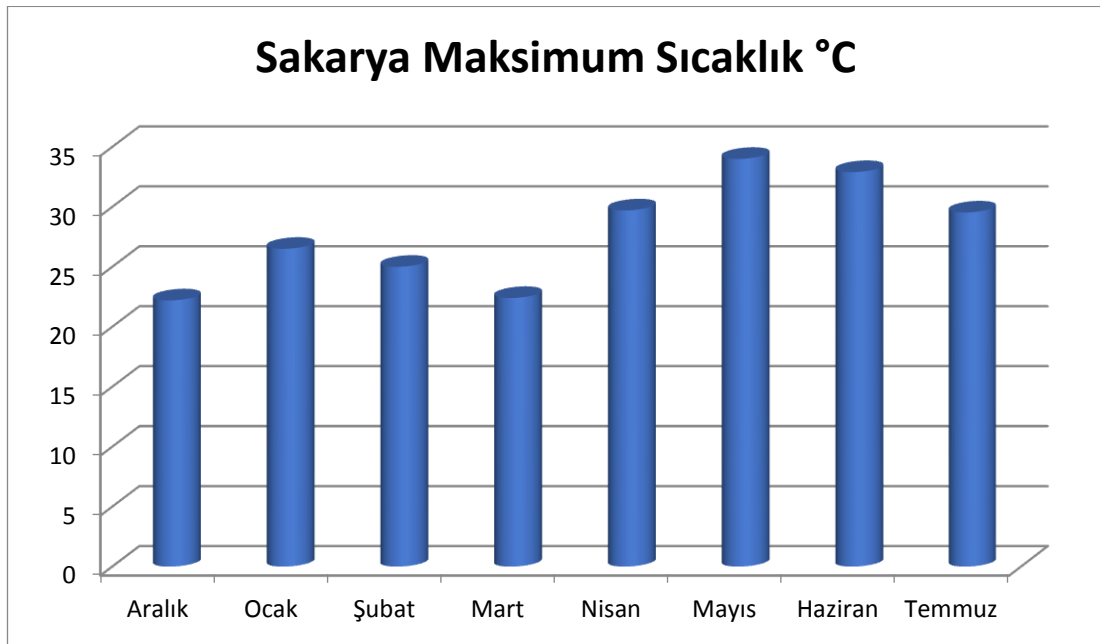
Grafik 6.3. Serdivan 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki ortalama sıcaklık



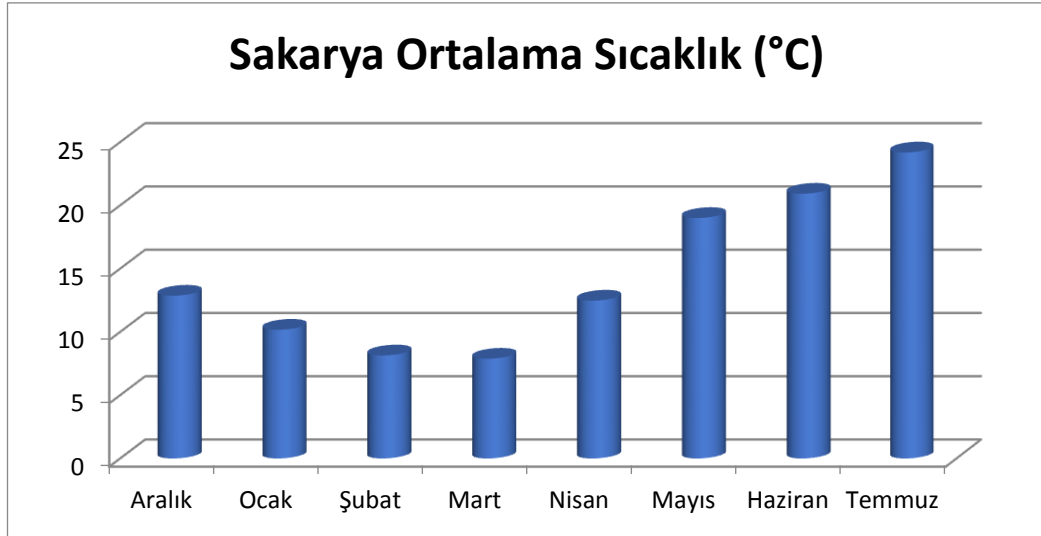
Grafik 6.4. Serdivan 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki ortalama nem



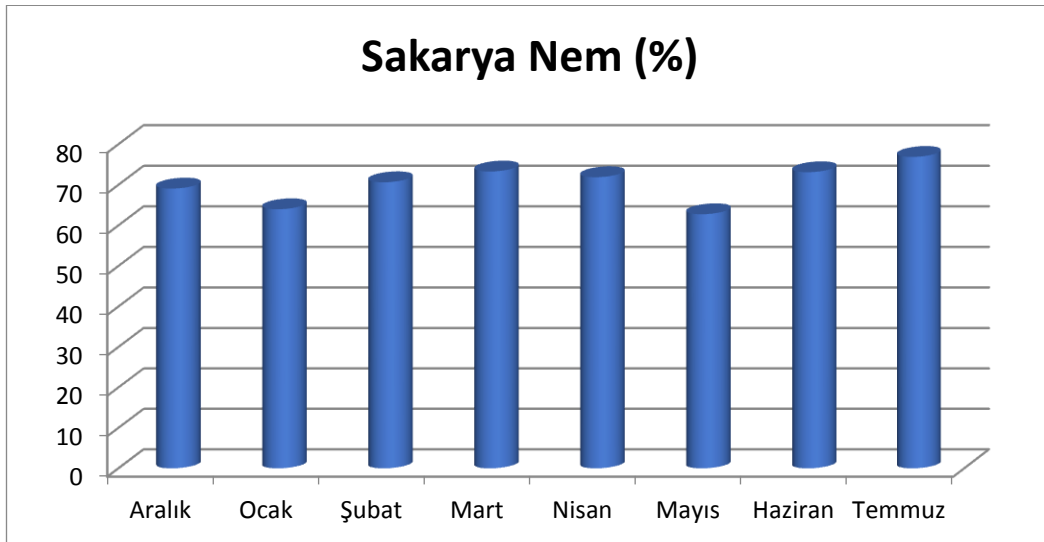
Grafik 6.5. Sakarya 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki yağış miktarı



Grafik 6.6. Sakarya 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki maksimum sıcaklık



Grafik 6.7. Sakarya 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki ortalama sıcaklık



Grafik 6.8. Sakarya 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki ortalama nem

6.2. Materyal

Yapılan tez çalışması ile ilgili konular kapsamında literatür taraması yapılmıştır. Bu kapsamda çeşitli tez ve makalelerden faydalanılmıştır. Tez çalışmasının deney bölümü kapsamında, araştırma alanında kullanılacak materyalleri temin etmek için ilgili firmalarla görüşülmüş, gereken bilgiler alınmıştır. Ayrıca Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Sakarya ili Serdivan ilçesinin günlük yağış miktarı verileri alınmıştır. Araştırmanın temel materyali Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü kazan dairesi binasının çatısına tasarlanan yeşil çatı sistemidir. Çalışma kapsamında

tasarlanan yeşil çatı sisteminin yapımında; su yalıtımı için zemin hazırlanmasında 3 adet egger osb, egger osb'yi montajlamak için 2 adet ahşap palet, ahşap paletin derzlerinde sızdırmazlığı ve yapışmayı sağlamak için 2 adet weber poliüretan mastik, su yalıtımını sağlamak için 3 adet polyfin agoc-plan ecb 1015 geomembran, kesintisiz bir drenaj kanalı oluşturup toprak tabakada göllenmeyi önlemek için 2 adet florax top, suyun duvardan süzülerek duvar ile membran arasından geçmesini engellemek için 9 adet alüminyum baskı çitası, su ve ısı yalıtım malzemelerini korumak için 3 adet geotekstil keçe nem tutucu kullanılmıştır. Yağmur suyunu toplamak ve depolamak için 300 litrelik 1 adet su deposu, depodaki suyu yeşil çatı ve bahçe sulamada kullanmak için 1 adet hidrofor pompa, yeşil çatının olduğundan gelen yağmur suyunu depoya ulaştırmak için 1 adet boru, boruların birbirine eklenmesi için 1 adet fittings ve 1 adet vana kullanılmıştır. Güneş'ten gelen ışınları emerek elektrik enerjisine dönüştürmek için 38 cm x 44 cm boyutlarında 30 watt gücünde 1 tane güneş paneli kullanılmıştır. Güneş enerjisini depolamak için 1 adet jel akü kullanılmıştır. Güneş panelinden gelen voltajı düzenlemek, yüksek voltajı önlemek ve dengelemek için 1 adet şarj kontrol kalem kullanılmıştır. Bahçe aydınlatmasını sağlamak için iki adet aplik ve 7 watt gücünde iki adet ampul kullanılmıştır.

6.3. Yeşil Çatı, Yağmur Suyu ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Maliyet Analizi

Tablo 6.1. Maliyet Analizi

Bütçe Türü	Adı	Adet	Birim Fiyatı	Bedeli
Sarf Malzeme	Egger OSB	3	100,00 TL	300,00 TL
Sarf Malzeme	Ahşap Palet	2	100,00 TL	200,00 TL
Sarf Malzeme	Weber Poliüretan Mastik	2	80,00 TL	160,00 TL
Sarf Malzeme	Polyfin Ag Oc-Plan Ecb 1015	3	200,00 TL	600,00 TL
Sarf Malzeme	Gomembran	2	100,00 TL	200,00 TL
Sarf Malzeme	Florax Top	2	100,00 TL	200,00 TL
Sarf Malzeme	Alüminyum Baskı Çitası	9	30,00 TL	270,00 TL
Sarf Malzeme	Geotekstil Keçe Nem Tutucu	3	20,00 TL	60,00 TL
Makine-Teçhizat	Su Deposu 300 Litre	1	750,00 TL	750,00 TL
Makine-Teçhizat	Hidrofor Pompa	1	1000,00 TL	1000,00 TL
Sarf Malzeme	Boru, Fittings, Vana	1	2000,00 TL	2000,00 TL
Makine-Teçhizat	Güneş Paneli	1	1500,00 TL	1500,00 TL
Sarf Malzeme	Küçük Akü	1	600,00 TL	600,00 TL
Makine-Teçhizat	Şarj Kontrol Kalem	1	350,00 TL	350,00 TL
Sarf Malzeme	Çim, Sarmaşık Bitkisi, Toprak	1	600,00 TL	600,00 TL
Sarf Malzeme	Bahçe Aydınlatma Apliği	2	89,99 TL	179,98 TL
Sarf Malzeme	Ampul	2	23,99 TL	47,98 TL
Makine-Teçhizat	Vinç	1	300,00 TL	300,00 TL
Genel Toplam =				9117,96 TL

6.4. Yöntem

Literatür taraması ile edinilen bilgiler sayesinde yeşil çatı sistemlerinin çevreye olan etkileri, su ve enerji kaynaklarını verimli şekilde kullanarak küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevre problemlerine çözüm oluşturmasının önemi incelenmiştir. Araştırmada deneysel veriler elde edebilmek için 14 Aralık 2020 tarihinde bir araştırma alanı kurulmuş, örnek binada; yağmur suyunu toplayıp, biriktirip, yeniden kullanarak su tasarrufu sağlaması ve güneş paneli sayesinde depolanan enerji ile elektrik tüketimini azaltması yönünden uygun bir yeşil çatı sistemi tasarlanarak deneyler, ölçümler ve gözlemler yapılmıştır.

6.5. Uygulama

Uygulama çalışmasının yapıldığı Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde; ekstensif yeşil çatı sistemi kurulmuştur. Bu deney düzeneği üzerinde ölçümler ve analizler yapılarak veri toplanmıştır. Deney düzeneğinde yapılan ölçümler; araştırma alanındaki yeşil çatı sistemi, yeşil çatı sistemini oluşturan tabakalar, yeşil çatı sistemindeki çim ve bitkiler, su deposu, güneş enerjisi sistemi gibi materyaller vasıtasıyla yapılmıştır. Ölçüm ve analiz sonuçlarına göre, yeşil çatıların su ve enerji verimliliğine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışma boyunca yapılan ölçümler; yağmur suyu hasadı, yağmur suyu toplama ve depolama, yeşil çatıdaki çimleri ve bitkileri sulama, bahçe sulama ve güneş enerjisi depolama olarak birkaç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde projenin uygulandığı kazan dairesi binasının çatı alanı 273 m^2 , eğimi % 8,5'tir. Bu binanın çatısına $1,5 \text{ m}^2$ alanında yeşil çatı sistemi kurulmuştur. Yeşil çatıda çim ve sarmaşık bitkileri kullanılmıştır. Bitki yetiştirme tabakası 2 cm, toprak kalınlığı 5 cm'dir. Yeşil çatının bitkilerle birlikte ağırlığı 500 kg/m^2 'dir. 14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 tarihleri arasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağan yağmur miktarı verileri günlük olarak toplanmıştır. Bu veriler sayesinde Sakarya'nın

Serdivan ilçesine düşen yağış miktarlarının 15 günlük değerleri bulunmuştur. Yağmur suyu hasadı formülü kullanılarak yeşil çatıya düşen yağmur miktarı hesaplanmıştır. Yeşil çatıdaki borudan gelen yağmur suyu toplanıp, 300 litrelik bir su deposunda biriktirilmiştir. Depoda biriken yağmur suyu ile yeşil çatıdaki çimler, bitkiler ve bahçe 15 günde bir sulanmıştır. Havanın sıcak ve kurak olduğu, yağış miktarının az olduğu veya hiç olmadığı yaz aylarında çimlerin ve bitkilerin kurumaması için 10 günde bir sulama yapılmıştır. Sakarya Üniversitesi kazan dairesi binasının çatısına yerleştirilen güneş enerjisi sistemi sayesinde depolanan enerji miktarları güneşli gün sayısına ve güneş doğuş saatinden batış saatine kadar geçen zamana göre hesaplanmış, elektrik enerjisi üretilmiş, binanın duvarına yerleştirilen 7 watt gücünde iki adet lamba ile bahçe ışıklandırılması sağlanmıştır. Bu veriler sayesinde; toplanan yağmur suyunun bina dışındaki su ihtiyacını karşılamasındaki verimliliği, sağladığı tasarruf ve toplanan enerjiden elektrik enerjisi üretilmesiyle sağlanan tasarruf araştırılmıştır.

2020-7-24-87 numaralı Yeşil Çatılarda Yağmur Suyu ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Sakarya Üniversitesi'ndeki Kazan Dairesi Binasında Uygulanması isimli projenin deney düzeneklerinin kurulabilmesi için gerekli olan bütçe ihtiyacı Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Koordinatörlüğü tarafından karşılanmıştır.



Şekil 6.2. Geotekstil keçe nem tutucu



Şekil 6.3. Ecb geomembran



Şekil 6.4. Geotekstil keçe nem tutucu



Şekil 6.5. Kök tutucu levha



Şekil 6.6. Geotekstil keçe nem tutucu



Şekil 6.7. Toprak ve çim



Şekil 6.8. Ekstensif yeşil çatı



Şekil 6.9. Su deposu ve borular



Şekil 6.10. Yeşil çatı, yağmur suyu ve güneş enerjisi sistemi



Şekil 6.11. Yeşil çatı, yağmur suyu, güneş enerjisi sistemi, bahçe ışıklandırılması

6.6. Veriler

Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü kazan dairesi binasının çatısına inşa edilen pilot tesisin her ayrıntısı gerçek ölçekli tesisi dikkate alınarak tasarlanmış, araştırma, gözlem ve deneysel ölçümler yapılarak sonuçlara ulaşılmıştır ve formülize edilmiştir. Yeşil çatı inşasını yapan, su tesisatı ve güneş enerjisi sistemini kuran firmalardan ekstra bilgiler alınarak veriler toplanmış ve deneysel ölçümler ile birlikte derlenerek bulgulara ulaşılmıştır.

Çalışmadaki deneysel ölçümler yağmur suyu toplama sistemi ve güneş enerjisi sistemi ile yapılmıştır. Veriler; yeşil çatının ve bahçenin bir dakika boyunca sulanması ile, güneş doğuş saatinden batış saatine kadar geçen zaman içinde güneş enerjisi depolanmasıyla ve bu enerjinin bahçe ışıklandırılmasında kullanılmasıyla elde edilmiştir. Bu veriler sayesinde su ve elektrikten ne kadar tasarruf sağlanacağı

hesaplanmıştır. Ayrıca Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden çalışma dönemindeki 8 ay boyunca araştırma alanının bulunduğu bölgeye ve Sakarya geneline düşen yağmur miktarı, nem oranı, en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri alınıp, araştırma alanının bulunduğu bölgenin ve Sakarya genelinin iklim özellikleri karşılaştırılmıştır.

6.7. Bulgular

Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde yapılan uygulamanın deney sonuçlarına göre ortaya çıkan sayısal bulgular aşağıdaki gibidir:

6.7.1. Aralık ayı yağmur suyu, güneş enerjisi ve elektrik enerjisi verileri

6.7.1.1. 14-31 aralık 2020 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 14-31 Aralık 2020 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 18 günün 8 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 44,44'tür.

14-31 Aralık 2020 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $52,2 \text{ mm} = 0,0522 \text{ m}$

14-31 Aralık 2020 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki kazan dairesi binasının çatısına tasarlanan yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı: $1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0522 \text{ m}) = 0,056376 \text{ m}^3 = 56,376 \text{ litre}$

14-31 Aralık 2020 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur miktarı: $55,37 \text{ litre} = 0,05537 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $55,37 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 40,37 \text{ litre} = 0,04037 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $40,37 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 20,37 \text{ litre} = 0,02037 \text{ m}^3$

6.7.1.2. 14-31 aralık 2020 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 14-31 Aralık 2020 tarihleri arasındaki 18 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 10 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $14,41 \text{ }^\circ\text{C}$, gece ortalama $11,67 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

1 Günde: $30 \text{ watt} \times 9 \text{ saat} = 270 \text{ watt}$

10 Günde: $270 \text{ watt} \times 10 \text{ gün} = 2700 \text{ watt}$

14-31 Aralık 2020 tarihleri arasındaki 10 gün güneşlidir.

6.7.1.3. 14-31 Aralık 2020 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 14-31 Aralık 2020 tarihleri arasındaki 18 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 14 saat çalıştığında % 58,33 enerji harcamaktadır.

Bahçedeki bir ampul 5 günde 7 watt enerji harcamaktadır.

1 gecede: $\left(7 \frac{\text{watt}}{5}\right) = 1,4 \text{ watt}$

$1,4 \text{ watt} \times 2 = 2,8 \text{ watt}$

$2,8 \text{ watt} \times 14 \text{ saat} = 39,2 \text{ watt}$

18 Gecede: $39,2 \text{ watt} \times 18 \text{ gece} = 705,6 \text{ watt}$

6.7.2. Ocak ayı yağmur suyu, güneş enerjisi ve elektrik enerjisi verileri

6.7.2.1. 1-15 Ocak 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 15 günün 6 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 40'tır.

1-15 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $68,9 \text{ mm} = 0,0689 \text{ m}$

1-15 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki kazan dairesi binasının çatısına tasarlanan yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı: $1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0689 \text{ m}) = 0,074412 \text{ m}^3 = 74,412 \text{ litre}$

1-15 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur miktarı: $73,41 \text{ litre} = 0,07341 \text{ m}^3$

14 – 31 Aralık 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 1-15 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $20,37 \text{ litre} + 73,41 \text{ litre} = 93,78 \text{ litre} = 0,09378 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $93,78 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 78,78 \text{ litre} = 0,07878 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $78,78 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 58,78 \text{ litre} = 0,05878 \text{ m}^3$

6.7.2.2. 1-15 ocak 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Ocak 2021 tarihleri arasındaki 15 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 9 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama 16,36 °C, gece ortalama 12,94 °C'dir.

$$1 \text{ Günde: } 30 \text{ watt} \times 9 \text{ saat} = 270 \text{ watt}$$

$$9 \text{ Günde: } 270 \text{ watt} \times 9 \text{ gün} = 2430 \text{ watt}$$

1-15 Ocak 2021 tarihleri arasında 9 adet güneşli gün vardır.

6.7.2.3. 1-15 ocak 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Ocak 2021 tarihleri arasındaki 15 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 14 saat çalıştığında % 58,33 enerji harcamaktadır.

$$1 \text{ Gecede: } 2,8 \text{ watt} \times 14 \text{ saat} = 39,2 \text{ watt}$$

$$15 \text{ Gecede: } 39,2 \text{ watt} \times 15 \text{ gece} = 588 \text{ watt}$$

6.7.2.4. 16-31 ocak 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 16-31 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 16 günün 7 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 43,75'tir.

6.7.2.4.1. 16-31 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağan yağmur miktarı

$$69,3mm = 0,0693m$$

16-31 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5m^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0693 m) = 0,074844 m^3 = 74,844 litre$$

16-31 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $73,84 litre = 0,07384 m^3$

1-15 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 16-31 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $58,78 litre + 73,84 litre = 132,62 litre = 0,13262 m^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $132,62 litre - 15 litre = 117,62 litre = 0,117562 m^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $117,62 litre - 20 litre = 97,62 litre = 0,09762 m^3$

6.7.2.4.2. 16-31 Ocak 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 16-31 Ocak 2021 tarihleri arasındaki 16 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 9 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $10,01^\circ C$, gece ortalama $6,73^\circ C$ 'dir.

1 günde: $30 watt \times 9 saat = 270 watt$

$$9 \text{ günde: } 270 \text{ watt} \times 9 \text{ gün} = 2430 \text{ watt}$$

16-31 Ocak 2021 tarihleri arasında 9 adet güneşli gün vardır.

6.7.2.4.3. 16-31 ocak 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 16-31 Ocak 2021 tarihleri arasındaki 16 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 14 saat çalıştığında % 58,33 enerji harcamaktadır.

$$1 \text{ gecede: } 2,8 \text{ watt} \times 14 \text{ saat} = 39,2 \text{ watt}$$

$$16 \text{ gecede: } 39,2 \text{ watt} \times 16 \text{ gece} = 627,2 \text{ watt}$$

6.7.3. Şubat ayı yağmur suyu, güneş enerjisi ve elektrik enerjisi verileri

6.7.3.1. 1-14 şubat 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-14 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 14 günün 6 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 42,85'tir.

1-14 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $7,3 \text{ mm} = 0,0073 \text{ m}$

1-14 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki kazan dairesi binasının çatısına tasarlanan yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0073 \text{ m}) = 7,884 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 7,884 \text{ litre}$$

1-14 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur miktarı: $6,88 \text{ litre} = 0,00688 \text{ m}^3$

16-31 Ocak 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 1-14 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $97,62 \text{ litre} + 6,88 \text{ litre} = 104,5 \text{ litre} = 0,1045 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $104,5 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 89,5 \text{ litre} = 0,0895 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $89,5 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 69,5 \text{ litre} = 0,0695 \text{ m}^3$

6.7.3.2. 1-14 şubat 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-14 Şubat 2021 tarihleri arasındaki 14 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 8 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $17,70 \text{ }^\circ\text{C}$, gece ortalama $13,50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

1 günde: $30 \text{ watt} \times 10 \text{ saat} = 3000 \text{ watt}$

8 günde: $3000 \text{ watt} \times 8 \text{ gün} = 24000 \text{ watt}$

1-14 Şubat 2021 tarihleri arasında 8 adet güneşli gün vardır.

6.7.3.3. 1-14 şubat 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-14 Şubat 2021 tarihleri arasındaki 14 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan

pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 13 saat çalıştığında % 54,16 enerji harcamaktadır.

$$1 \text{ gecede: } 2,8 \text{ watt} \times 13 \text{ saat} = 36,4 \text{ watt}$$

$$14 \text{ gecede: } 36,4 \text{ watt} \times 14 \text{ gece} = 509,6 \text{ watt}$$

6.7.3.4. 15-28 şubat 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştirildiği ve verilerin toplandığı 15-28 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 14 günün 8 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 57,14'tür.

15-28 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $49,4 \text{ mm} = 0,0494 \text{ m}$

15-28 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki kazan dairesi binasının çatısına tasarlanan yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0494 \text{ m}) = 0,053352 \text{ m}^3 = 53,352 \text{ litre}$$

15-28 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur miktarı: $52,35 \text{ litre} = 0,05235 \text{ m}^3$

1-14 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 15-28 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $69,5 \text{ litre} + 52,35 \text{ litre} = 121,85 \text{ litre} = 0,12185 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $121,85 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 106,85 \text{ litre} = 0,10685 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $106,85 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 86,85 \text{ litre} = 0,08685 \text{ m}^3$

6.7.3.5. 15-28 şubat 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 15-28 Şubat 2021 tarihleri arasındaki 14 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 6 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $8,61 \text{ }^\circ\text{C}$, gece ortalama $4,50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

1 günde: $30 \text{ watt} \times 10 \text{ saat} = 3000 \text{ watt}$

6 günde: $3000 \text{ watt} \times 6 \text{ gün} = 18000 \text{ watt}$

15-28 Şubat 2021 tarihleri arasında 6 adet güneşli gün vardır.

6.7.3.6. 15-28 şubat 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 15-28 Şubat 2021 tarihleri arasındaki 14 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 11 saat çalıştığında % 45,83 enerji harcamaktadır.

1 gecede: $2,8 \text{ watt} \times 11 \text{ saat} = 30,8 \text{ watt}$

14 gecede: $30,8 \text{ watt} \times 14 \text{ gece} = 431,2 \text{ watt}$

6.7.4. Mart ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri

6.7.4.1. 1-15 mart 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 15 günün 7 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 46,66'dır.

1-15 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $19,8mm = 0,0198 m$

1-15 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5 m^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0198 m) = 0,021384 m^3 = 21,384 litre$$

1-15 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $20,38 litre = 0,02038 m^3$

15-28 Şubat 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 1-15 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $86,85 litre + 20,38 litre = 107,23 litre = 0,10723 m^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $107,23 litre - 15 litre = 92,23 litre = 0,09223 m^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $92,23 litre - 20 litre = 72,23 litre = 0,07223 m^3$

6.7.4.2. 1-15 mart 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Mart 2021 tarihleri arasındaki 15 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 8 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama 12,68 °C, gece ortalama 7,34 °C'dir.

$$1 \text{ günde: } 30 \text{ watt} \times 11 \text{ saat} = 330 \text{ watt}$$

$$8 \text{ günde: } 330 \text{ watt} \times 8 = 2640 \text{ watt}$$

1-15 Mart tarihleri arasında 8 adet güneşli gün vardır.

6.7.4.3. 1-15 mart 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Mart 2021 tarihleri arasındaki 15 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 12 saat çalıştığında % 50 enerji harcamaktadır.

$$1 \text{ gecede: } 2,8 \text{ watt} \times 12 \text{ saat} = 33,6 \text{ watt}$$

$$15 \text{ gecede: } 33,6 \text{ watt} \times 15 \text{ gece} = 504 \text{ watt}$$

6.7.4.4. 16-31 mart 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 16-31 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 16 günün 13 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 81,25'tir.

16-31 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağan yağmur miktarı: $74,2mm = 0,0742 m$

16-31 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5 m^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0742 m) = 0,080136 m^3 = 80,136 litre$$

16-31 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $79,13 litre = 0,07913 m^3$

1-15 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 16-31 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $72,23 litre + 79,13 litre = 151,36 litre = 0,15136 m^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $151,36 litre - 15 litre = 136,36 litre = 0,13636 m^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $136,36 litre - 20 litre = 116,36 litre = 0,11636 m^3$

6.7.4.5. 16-31 mart 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 16-31 Mart 2021 tarihleri arasındaki 16 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 3 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $9,72 ^\circ C$, gece ortalama $6,32 ^\circ C$ 'dir.

1 günde: $30 watt \times 11 saat = 330 watt$

3 günde: $330 watt \times 3 gün = 990 watt$

16-31 Mart 2021 tarihleri arasında 3 adet güneşli gün vardır.

6.7.4.6. 16-31 mart 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 16-31 Mart 2021 tarihleri arasındaki 16 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 12 saat çalıştığında % 50 enerji harcamaktadır.

1 gecede: $2,8 \text{ watt} \times 12 \text{ saat} = 33,6 \text{ watt}$

16 gecede: $33,6 \text{ watt} \times 16 \text{ gece} = 537,6 \text{ watt}$

6.7.5. Nisan ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri

6.7.5.1. 1-15 nisan 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 15 günün 10 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 66,66'dır.

1-15 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $47,1 \text{ mm} = 0,0471 \text{ m}$

1-15 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı: $1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0471 \text{ m}) = 0,050868 \text{ m}^3 = 50,868 \text{ litre}$

1-15 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $49,86 \text{ litre} = 0,04986 \text{ m}^3$

16-31 Mart 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 1-15 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $116,36 \text{ litre} + 49,86 \text{ litre} = 166,22 \text{ litre} = 0,16622 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $166,22 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 151,22 \text{ litre} = 0,15122 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $151,22 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 131,22 \text{ litre} = 0,13122 \text{ m}^3$

6.7.5.2. 1-15 nisan 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Nisan 2021 tarihleri arasındaki 15 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 5 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $14,38 \text{ }^\circ\text{C}$, gece ortalama $9,9 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

1 günde: $30 \text{ watt} \times 12 \text{ saat} = 360 \text{ watt}$

5 günde: $360 \text{ watt} \times 5 \text{ gün} = 1800 \text{ watt}$

1-15 Nisan 2021 tarihleri arasında 5 adet güneşli gün vardır.

6.7.5.3. 1-15 nisan 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Nisan 2021 tarihleri arasındaki 15 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 11 saat çalıştığında % 45,83 enerji harcamaktadır.

1 gecede: $2,8 \text{ watt} \times 11 \text{ saat} = 30,8 \text{ watt}$

15 gecede: $30,8 \text{ watt} \times 15 \text{ gece} = 462 \text{ watt}$

6.7.5.4. 16-30 nisan 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 16-30 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 15 günün 8 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 53,33'tür.

16-30 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $15,5 \text{ mm} = 0,0155 \text{ m}$

16-30 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı: $1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0155 \text{ m}) = 0,01674 \text{ m}^3 = 16,74 \text{ litre}$

16-30 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $15,74 \text{ litre} = 0,01574 \text{ m}^3$

1-15 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 16-30 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $131,22 \text{ litre} + 15,74 \text{ litre} = 146,96 \text{ litre} = 0,14696 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $146,96 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 131,96 \text{ litre} = 0,13196 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $131,96 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 111,96 \text{ litre} = 0,11196 \text{ m}^3$

6.7.5.5. 16-30 nisan 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştirildiği ve verilerin toplandığı 16-30 Nisan 2021 tarihleri arasındaki 15 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 7 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama 17,68 °C, gece ortalama 12,84 °C'dir.

$$1 \text{ günde: } 30 \text{ watt} \times 13 \text{ saat} = 390 \text{ watt}$$

$$7 \text{ günde: } 390 \text{ watt} \times 7 \text{ gün} = 2730 \text{ watt}$$

16-30 Nisan 2021 tarihleri arasında 7 adet güneşli gün vardır.

6.7.5.6. 16-30 nisan 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştirildiği ve verilerin toplandığı 16-30 Nisan 2021 tarihleri arasındaki 15 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 11 saat çalıştığında % 45,83 enerji harcamaktadır.

$$1 \text{ gecede: } 2,8 \text{ watt} \times 11 \text{ saat} = 30,8 \text{ watt}$$

$$15 \text{ gecede: } 30,8 \text{ watt} \times 15 \text{ gece} = 462 \text{ watt}$$

6.7.6. Mayıs ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri

6.7.6.1. 1-15 mayıs 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştirildiği ve verilerin toplandığı 1-15 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 15 günün 3 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 20'dir.

1-15 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$

1-15 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı: $1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,001 \text{ m}) = 1,08 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,08 \text{ litre}$

1-15 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $0,08 \text{ litre} = 0,00008 \text{ m}^3$

16-30 Nisan 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 1-15 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $111,96 \text{ litre} + 0,08 \text{ litre} = 112,04 \text{ litre} = 0,11204 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $112,04 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 97,04 \text{ litre} = 0,09704 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $97,04 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 77,04 \text{ litre} = 0,07704 \text{ m}^3$

6.7.6.2. 1-15 mayıs 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Mayıs 2021 tarihleri arasındaki 15 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 12 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $23,91 \text{ }^\circ\text{C}$, gece ortalama $18,25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

1 günde: $30 \text{ watt} \times 12 \text{ saat} = 360 \text{ watt}$

12 günde: $360 \text{ watt} \times 12 \text{ gün} = 4320 \text{ watt}$

1-15 Nisan 2021 tarihleri arasında 12 adet güneşli gün vardır.

6.7.6.3. 1-15 mayıs 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Mayıs 2021 tarihleri arasındaki 15 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 11 saat çalıştığında % 45,83 enerji harcamaktadır.

$$1 \text{ gecede: } 2,8 \text{ watt} \times 11 \text{ saat} = 30,8 \text{ watt}$$

$$15 \text{ gecede: } 30,8 \text{ watt} \times 15 \text{ gece} = 462 \text{ watt}$$

6.7.6.4. 16-31 mayıs 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 16 günün 7 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 43,75'tir.

16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $67,4 \text{ mm} = 0,0674 \text{ m}$

16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0674 \text{ m}) = 0,072792 \text{ m}^3 = 72,792 \text{ litre}$$

16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $71,79 \text{ litre} = 0,07179 \text{ m}^3$

1-15 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya

Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $77,04 \text{ litre} + 71,79 \text{ litre} = 148,83 \text{ litre} = 0,14883 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $148,83 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 133,83 \text{ litre} = 0,13383 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $133,83 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 113,83 \text{ litre} = 0,11383 \text{ m}^3$

6.7.6.5. 16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasındaki 16 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 9 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $23,36 \text{ }^\circ\text{C}$, gece ortalama $17,85 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

1 günde: $30 \text{ watt} \times 14 \text{ saat} = 420 \text{ watt}$

9 günde: $420 \text{ watt} \times 9 \text{ gün} = 3780 \text{ watt}$

16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasında 9 adet güneşli gün vardır.

6.7.6.6. 16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-15 Mayıs 2021 tarihleri arasındaki 16 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesindeki iki adet ampul 9 saat çalıştığında % 37,5 enerji harcamaktadır.

1 gecede: $2,8 \text{ watt} \times 9 \text{ saat} = 25,2 \text{ watt}$

16 gecede: $25,2 \text{ watt} \times 16 \text{ gece} = 403,2$

6.7.7. Haziran ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri

6.7.7.1. 1-10 Haziran 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-10 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 10 günün 6 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 60'tır.

1-10 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $18,7 \text{ mm} = 0,0187 \text{ m}$

1-10 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0187 \text{ m}) = 0,020196 \text{ m}^3 = 20,196 \text{ litre}$$

1-10 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $19,19 \text{ litre} = 0,01919 \text{ m}^3$

16-31 Mayıs 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 1-10 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $113,83 \text{ litre} + 19,19 \text{ litre} = 133,02 \text{ litre} = 0,13302 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $133,02 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 118,02 \text{ litre} = 0,11802 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $118,02 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 98,02 \text{ litre} = 0,09802 \text{ m}^3$

6.7.7.2. 1-10 haziran2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-10 Haziran 2021 tarihleri arasındaki 10 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 4 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama 21,87 °C, gece ortalama 17,22 °C'dir.

1 günde: $30 \text{ watt} \times 15 \text{ saat} = 450 \text{ watt}$

4 günde: $450 \text{ watt} \times 4 \text{ gün} = 1800 \text{ watt}$

1-10 Haziran 2021 tarihleri arasında 4 adet güneşli gün vardır.

6.7.7.3. 1-10 haziran 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-10 Haziran 2021 tarihleri arasındaki 10 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 9 saat çalıştığında % 37,5 enerji harcamaktadır.

1 gecede: $2,8 \text{ watt} \times 9 \text{ saat} = 25,2 \text{ watt}$

10 gecede: $25,2 \text{ watt} \times 10 \text{ gece} = 252 \text{ watt}$

6.7.7.4. 11-20 haziran2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 11-20 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 10 günün 5 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 50'dir.

11-20 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $53 \text{ mm} = 0,053 \text{ m}$

11-20 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5 m^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,053 m) = 0,05724 m^3 = 57,24 \text{ litre}$$

11-20 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $56,24 \text{ litre} = 0,05624 m^3$

1-10 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 11-20 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $98,02 \text{ litre} + 56,24 \text{ litre} = 154,26 \text{ litre} = 0,15426 m^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $154,26 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 139,26 \text{ litre} = 0,13926 m^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $139,26 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 119,26 \text{ litre} = 0,11926 m^3$

6.7.7.5. 11-20 haziran2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 11-20 Haziran 2021 tarihleri arasındaki 10 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 5 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $23,51 \text{ }^\circ\text{C}$, gece ortalama $18,82 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

$$1 \text{ günde: } 30 \text{ watt} \times 15 \text{ saat} = 450 \text{ watt}$$

$$5 \text{ günde: } 450 \text{ watt} \times 5 \text{ gün} = 2250 \text{ watt}$$

11-20 Haziran 2021 tarihleri arasında 5 adet güneşli gün vardır.

6.7.7.6. 11-20 Haziran 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 11-20 Haziran 2021 tarihleri arasındaki 10 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 9 saat çalıştığında % 37,5 enerji harcamaktadır.

$$1 \text{ gecede: } 2,8 \text{ watt} \times 9 \text{ saat} = 25,2 \text{ watt}$$

$$10 \text{ gecede: } 25,2 \text{ watt} \times 10 \text{ gece} = 252 \text{ watt}$$

6.7.7.7. 21-30 Haziran 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 21-30 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 10 günün 3 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 30'dur.

21-30 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $4,2 \text{ mm} = 0,0042 \text{ m}$

21-30 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0042) = 4,536 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 4,536 \text{ litre}$$

21-30 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $3,53 \text{ litre} = 0,00353 \text{ m}^3$

11-20 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 21-30 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $119,26 \text{ litre} + 3,53 \text{ litre} = 122,79 \text{ litre} = 0,12279 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $122,79 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 107,79 \text{ litre} = 0,10779 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $107,79 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 87,79 \text{ litre} = 0,08779 \text{ m}^3$

6.7.7.8. 21-30 Haziran 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 21-30 Haziran 2021 tarihleri arasındaki 10 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 7 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $28,26 \text{ }^\circ\text{C}$, gece ortalama $23,08 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

1 günde: $30 \text{ watt} \times 15 \text{ saat} = 450 \text{ watt}$

7 günde: $450 \text{ watt} \times 7 \text{ gün} = 3150 \text{ watt}$

21-30 Haziran 2021 tarihleri arasında 7 adet güneşli gün vardır.

6.7.7.9. 21-30 Haziran 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 21-30 Haziran 2021 tarihleri arasındaki 10 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 9 saat çalıştığında % 37,5 enerji harcamaktadır.

1 gecede: $2,8 \text{ watt} \times 9 \text{ saat} = 25,2 \text{ watt}$

10 gecede: $25,2 \text{ watt} \times 10 \text{ gece} = 252 \text{ watt}$

6.7.8. Temmuz ayı yağmur suyu, güneş ve elektrik enerjisi verileri

6.7.8.1. 1-7 temmuz 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 7 günün 4 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 57,14'tür.

1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $81,6 \text{ mm} = 0,0816 \text{ m}$

1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı: $1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0816 \text{ m}) = 0,088128 \text{ m}^3 = 88,128 \text{ litre}$

1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $87,12 \text{ litre} = 0,08712 \text{ m}^3$

21-30 Haziran 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $87,79 \text{ litre} + 87,12 \text{ litre} = 174,91 \text{ litre} = 0,17491 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $174,91 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 159,91 \text{ litre} = 0,15991 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $159,91 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 139,91 \text{ litre} = 0,13991 \text{ m}^3$

6.7.8.2. 1-7 temmuz 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki 7 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 3 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama 26,32 °C, gece ortalama 21,64 °C'dir.

$$1 \text{ günde: } 30 \text{ watt} \times 15 \text{ saat} = 450 \text{ watt}$$

$$3 \text{ günde: } 450 \text{ watt} \times 3 \text{ gün} = 1350 \text{ watt}$$

1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasında 3 adet güneşli gün vardır.

6.7.8.3. 1-7 temmuz 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki 7 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 9 saat çalıştığında % 37,5 enerji harcamaktadır.

$$1 \text{ gecede: } 2,8 \text{ watt} \times 9 \text{ saat} = 25,2 \text{ watt}$$

$$7 \text{ gecede: } 25,2 \text{ watt} \times 7 \text{ gece} = 176,4 \text{ watt}$$

6.7.8.4. 8-14 temmuz 2021 tarihleri arasındaki yağmur suyu verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 8-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısına 7 günün 2 günü yağış düşmüştür ve düşen yağış oranı % 28,57'dir.

8-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı: $5,2 \text{ mm} = 0,0052 \text{ m}$

8-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatıya düşen yağmur suyu miktarı:

$$1,5 \text{ m}^2 \times 0,9 \times 0,8 \times (0,0052 \text{ m}) = 5,616 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 5,616 \text{ litre}$$

8-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $4,61 \text{ litre} = 0,00461 \text{ m}^3$

1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda kalan yağmur suyu miktarı + 8-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı: $139,91 \text{ litre} + 4,61 \text{ litre} = 144,52 \text{ litre} = 0,14452 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca yeşil çatıyı sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $144,52 \text{ litre} - 15 \text{ litre} = 129,52 \text{ litre} = 0,12952 \text{ m}^3$

1 dakika boyunca bahçe sulamada depoda kalan yağmur suyu miktarı: $129,52 \text{ litre} - 20 \text{ litre} = 109,52 \text{ litre} = 0,10952 \text{ m}^3$

6.7.8.5. 8-14 temmuz 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri

Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 8-14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki 7 gün boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasının yeşil çatısı 5 gün güneş almıştır. Hava sıcaklığı gündüz ortalama $27,72 \text{ }^\circ\text{C}$, gece ortalama $23,01 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

1 günde: $30 \text{ watt} \times 15 \text{ saat} = 450 \text{ watt}$

5 günde: $450 \text{ watt} \times 5 \text{ gün} = 2250 \text{ watt}$

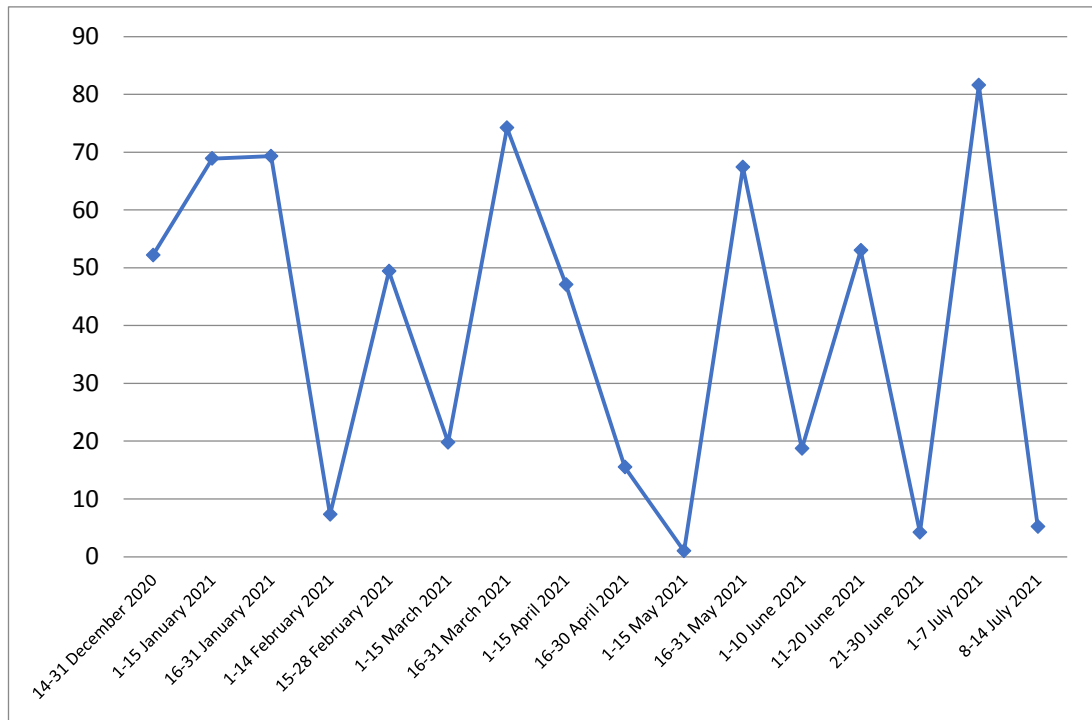
8-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında 5 adet güneşli gün vardır.

6.7.8.6. 8-14 temmuz 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri

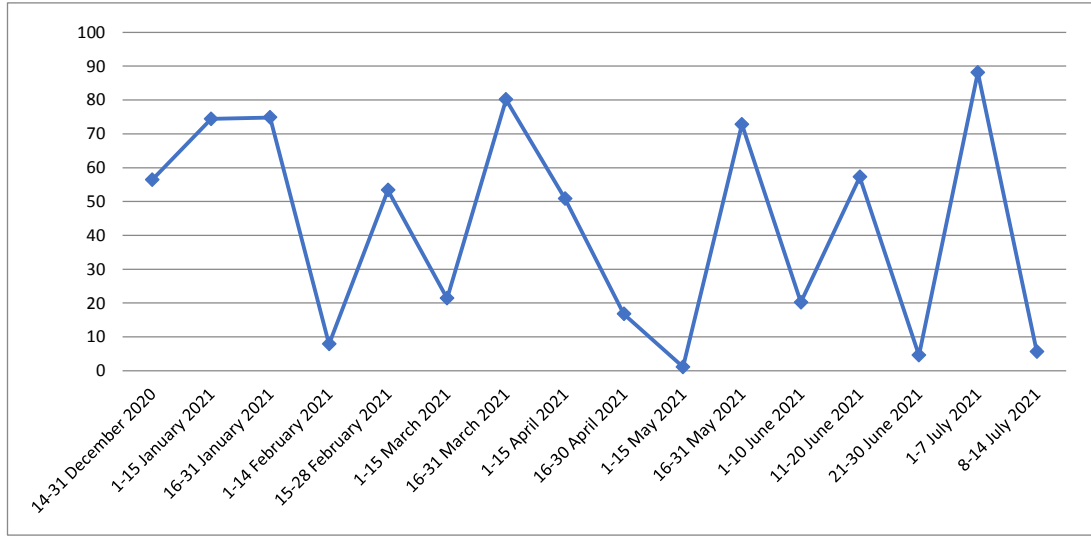
Bu deney setinin gerçekleştiği ve verilerin toplandığı 8-14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki 7 gece boyunca Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde bulunan pilot tesisin kurulu olduğu kazan dairesi binasındaki iki adet ampul 9 saat çalıştığında % 37,5 enerji harcamaktadır.

1 gecede: $2,8 \text{ watt} \times 9 \text{ saat} = 25,2 \text{ watt}$

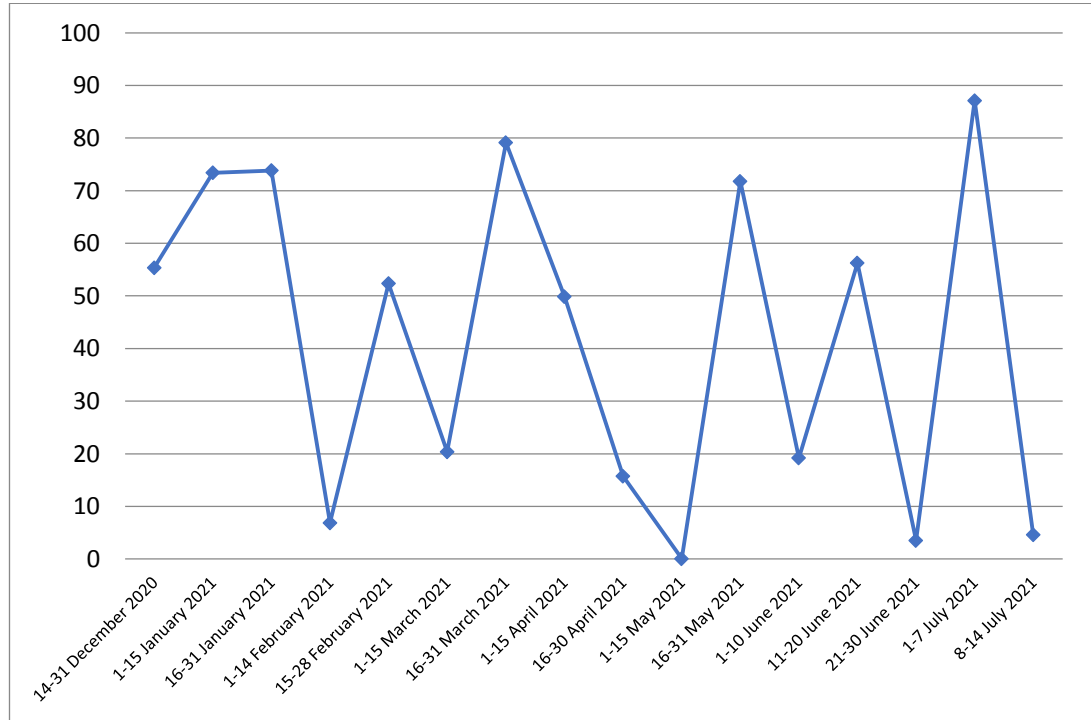
7 gecede: $25,2 \text{ watt} \times 7 \text{ gece} = 176,4 \text{ watt}$



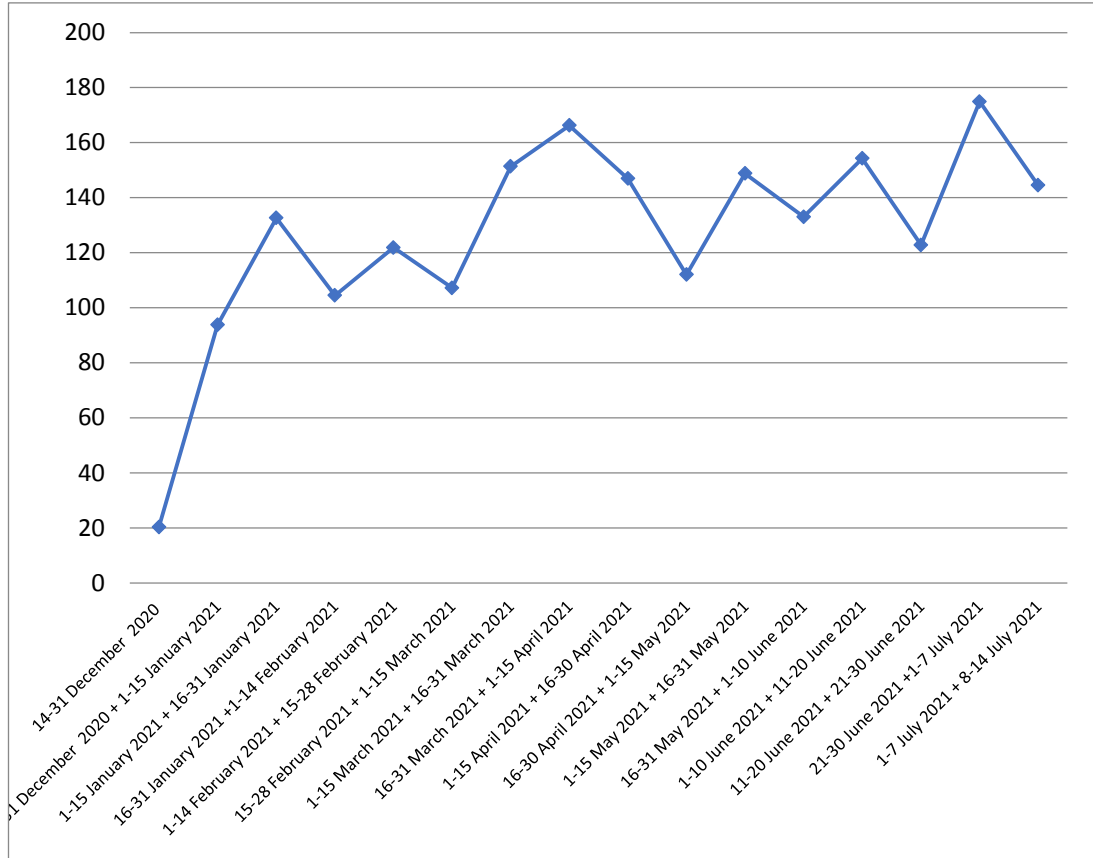
Grafik 6.9. 14 Aralık 2020-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya'nın Serdivan ilçesine yağın yağmur miktarı(mm)



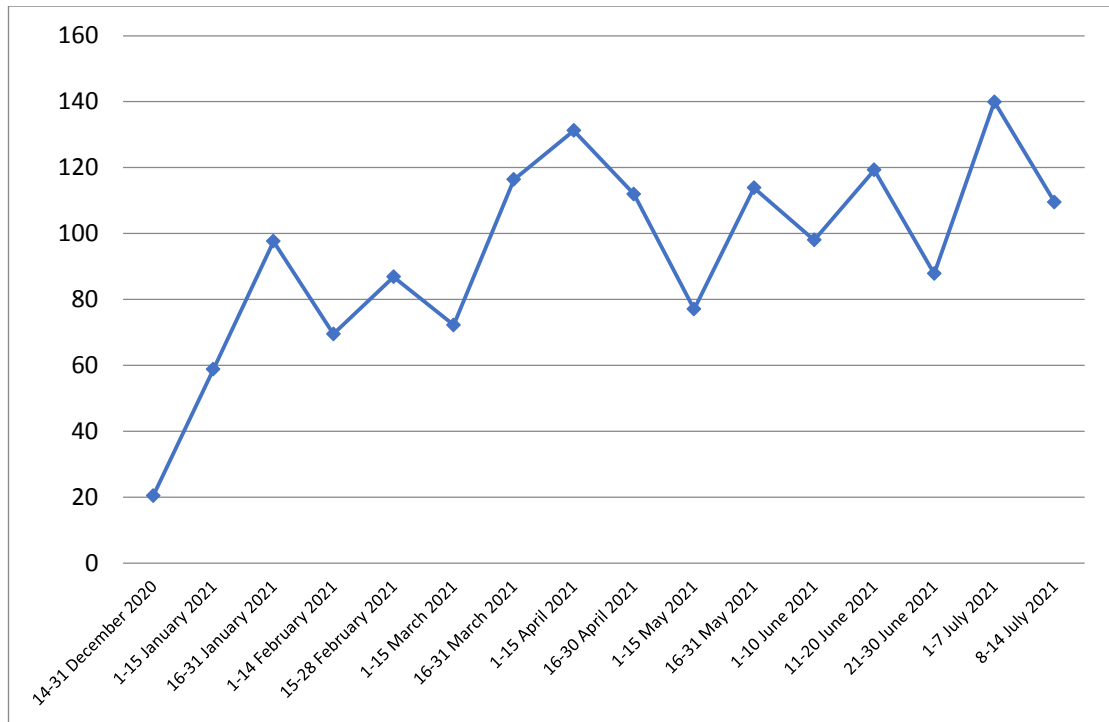
Grafik 6.10. Yeşil çatıya düşen yağmur miktarı (l)



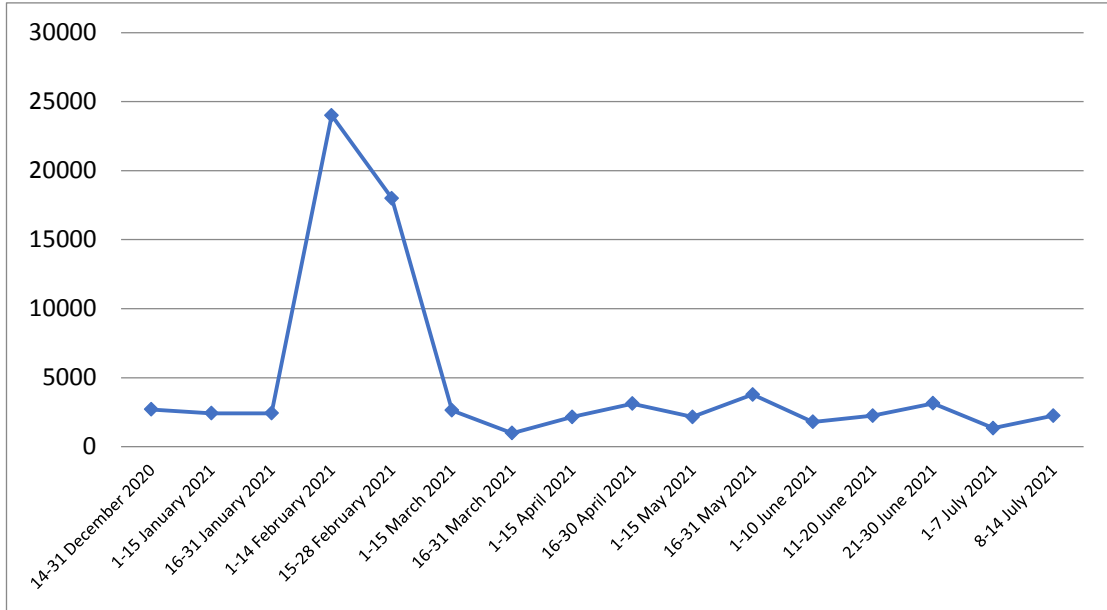
Grafik 6.11. 14 Aralık 2020-14 Temmuz 2021 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi'ndeki yeşil çatının su deposunda biriken yağmur miktarı (l)



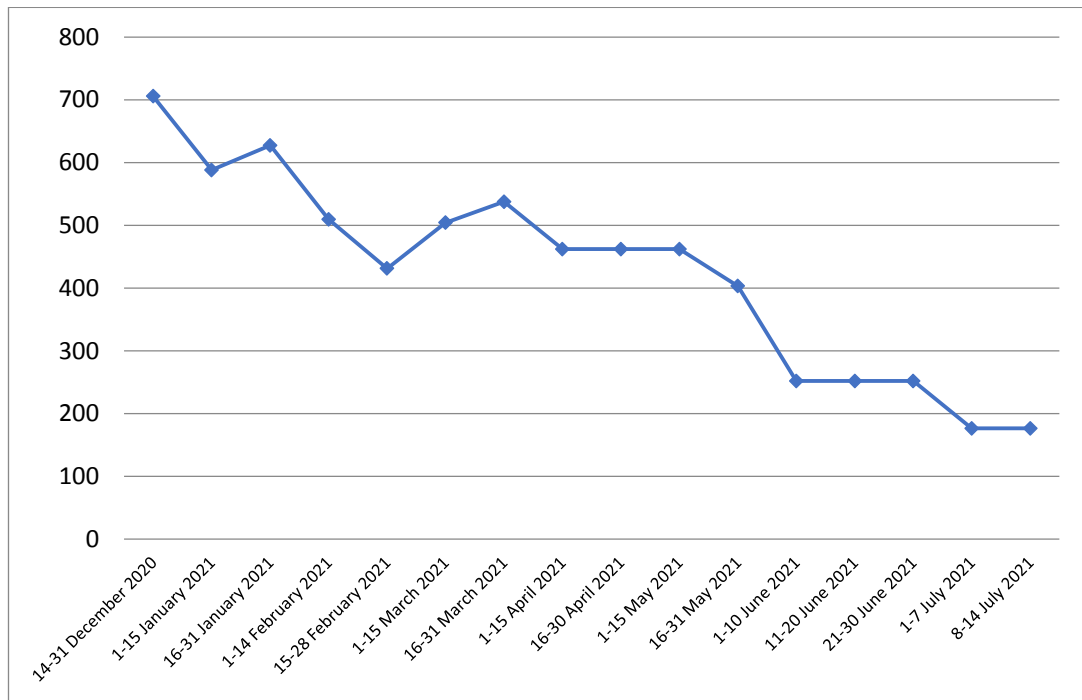
Grafik 6.12. 14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 tarihleri arasında su deposunda kalan ve biriken yağmur suyu miktarı (l)



Grafik 6.13. 14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 tarihleri arasında yeşil çatı ve bahçe sulandıktan sonra depoda kalan yağmur suyu miktarı (l)



Grafik 6.14. 14 Aralık 2020-14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki güneş enerjisi verileri (watt)



Grafik 6.15. 14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki elektrik enerjisi verileri (watt)

6.8. Su ve Elektrik Tasarrufu Hesabı

6.8.1. Su tasarrufu

Sakarya İli Serdivan İlçesi 1 Ton Su Birim Fiyatı: 4,89 TL

6.8.1.1. 14 aralık 2020 – 14 temmuz 2021 tarihleri arasında harcanan yağmur suyu miktarları

- Aralık Ayında Harcanan Yağmur Suyu Miktarı: $20 \text{ litre} + 15 \text{ litre} = 35 \text{ litre} = 0,035 \text{ ton}$
- Ocak Ayında Harcanan Yağmur Suyu Miktarı: $35 \text{ litre} \times 2 = 70 \text{ litre} = 0,07 \text{ ton}$
- Şubat Ayında Harcanan Yağmur Suyu Miktarı: $35 \text{ litre} \times 2 = 70 \text{ litre} = 0,07 \text{ ton}$
- Mart Ayında Harcanan Yağmur Suyu Miktarı: $35 \text{ litre} \times 2 = 70 \text{ litre} = 0,07 \text{ ton}$
- Nisan Ayında Harcanan Yağmur Suyu Miktarı: $35 \text{ litre} \times 2 = 70 \text{ litre} = 0,07 \text{ ton}$
- Mayıs Ayında Harcanan Yağmur Suyu Miktarı: $35 \text{ litre} \times 2 = 70 \text{ litre} = 0,07 \text{ ton}$
- Haziran Ayında Harcanan Yağmur Suyu Miktarı: $35 \text{ litre} \times 3 = 105 \text{ litre} = 0,105 \text{ ton}$
- Temmuz Ayında Harcanan Yağmur Suyu Miktarı: $35 \text{ litre} \times 2 = 70 \text{ litre} = 0,07 \text{ ton}$

14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 Tarihleri Arasında Tasarruf Edilen Su Miktarı:
 $35 \text{ litre} + 70 \text{ litre} + 70 \text{ litre} + 70 \text{ litre} + 70 \text{ litre} + 70 \text{ litre} + 105 \text{ litre} + 70 \text{ litre} = 560 \text{ litre} = 0,56 \text{ ton}$

14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 Tarihleri Arasında Tasarruf Edilen Suyun Fiyatı:
 $4,89 \text{ TL (SASKİ şebeke suyu fiyatı)} \times 0,56 \text{ ton} = 2,7384 \text{ TL}$

6.8.2. Elektrik tasarrufu

Sakarya İli Serdivan İlçesi Elektrik Birim Fiyatı: 0,4743 TL/kWh

6.8.2.1. 14 aralık 2020 – 14 temmuz 2021 tarihleri arasında harcanan elektrik enerjisi miktarları

- Aralık Ayında Harcanan Elektrik Enerjisi Miktarı: $705,6 \text{ watt} = 0,7056 \text{ kW}$
- Ocak Ayında Harcanan Elektrik Enerjisi Miktarı: $588 \text{ watt} + 627,2 \text{ watt} = 1215,2 \text{ watt} = 1,2152 \text{ kW}$
- Şubat Ayında Harcanan Elektrik Enerjisi Miktarı: $509,6 \text{ watt} + 431,2 \text{ watt} = 940,8 \text{ watt} = 0,9408 \text{ kW}$
- Mart Ayında Harcanan Elektrik Enerjisi Miktarı: $504 \text{ watt} + 537,6 \text{ watt} = 1041,6 \text{ watt} = 1,0416 \text{ kW}$
- Nisan Ayında Harcanan Elektrik Enerjisi Miktarı: $462 \text{ watt} + 462 \text{ watt} = 924 \text{ watt} = 0,924 \text{ kW}$
- Mayıs Ayında Harcanan Elektrik Enerjisi Miktarı: $462 \text{ watt} + 403,2 \text{ watt} = 865,2 \text{ watt} = 0,8652 \text{ kW}$
- Haziran Ayında Harcanan Elektrik Enerjisi Miktarı: $252 \text{ watt} + 252 \text{ watt} + 252 \text{ watt} = 756 \text{ watt} = 0,756 \text{ kW}$
- Temmuz Ayında Harcanan Elektrik Enerjisi Miktarı: $176,4 \text{ watt} + 176,4 \text{ watt} = 352,8 \text{ watt} = 0,3528 \text{ kW}$

14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 Tarihleri Arasında Tasarruf Edilen Elektrik Enerjisi Miktarı: $705,6 \text{ watt} + 1215,2 \text{ watt} + 940,8 \text{ watt} + 1041,6 \text{ watt} + 924 \text{ watt} + 865,2 \text{ watt} + 756 \text{ watt} + 352,8 \text{ watt} = 6801,2 \text{ watt} = 6,8012 \text{ kW}$

14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 Tarihleri Arasında Tasarruf Edilen Elektrik Fiyatı: $0,4743 \text{ TL/kWh} \times 6,8012 \text{ kW} = 3,2258 \text{ TL}$

14 Aralık 2020 - 14 Temmuz 2021 Tarihleri Arasında 7 Watt Gücündeki İki Adet Lambanın Çalışma Süresi: $W = P \times t$

$$6,8012 \text{ kW} = 0,014 \text{ kW} \times t$$

$$t = 485,8 \text{ saat} = \sim 20 \text{ gün}$$

BÖLÜM 7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dünya gündemindeki en önemli problemlerden biri olan küresel iklim değişikliği, kentsel ısı adası etkisi ile insanların ve diğer canlıların sağlığını ve yaşam kalitesini olumsuz etkilemekte, enerji kullanımını artırarak birçok soruna yol açmaktadır [21]. Kentsel ısı adası etkisi ile yapılaşmanın kent üzerindeki baskısını azaltıp kent ısını 3-4 °C azalttığı görülmektedir [8]. Kentsel alanlar bina çokluğu, geçirimsiz yüzeyli yollar, otoparklar ve çatılardan dolayı kırsal alanlara ya da daha az yoğunluktaki yaşam alanlarına oranla daha sıcaktır [21]. Kentsel alanlardaki diğer önemli konu da sağlıklı ve sürdürülebilir yaşamı sağlayabilmektir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak için yalnızca kaynaklarda (sera gazı emisyonlarının düşürülmesi gibi) tedbir almak yetersizdir. Buna ilaveten yeşil alan planlama, tasarım ve yönetim stratejileri geliştirilmelidir.

Şehirlerdeki problemlerin temel kaynaklarından biri, çevre kirliliği ve neden olduğu olumsuzluklardır. Küresel anlamda sanayileşme ve kentleşme çevre kirliliğine neden olmaktadır. Şehirler incelendiğinde; hava, su, toprak gibi doğal kaynakların çok fazla kirlendiği tespit edilmektedir [11]. Ayrıca yapılaşmanın çokluğu ve yeşil alanların azalması yeşil çatı sistemlerinin kurulması için neden oluşturmaktadır. Yapılaşmanın çok olduğu şehirlerde, yeşil çatılar ekolojiye ve çevreye olumlu katkılar sağlamakta ve şehirlerin nefes almasını sağlayarak yaşam kalitesini artırmaktadır. Aynı zamanda, şehirlerde kaybolmakta olan yeşil alanların, binaların çatıları yeşil çatıya dönüştürülerek geri kazanılması mümkün olmaktadır. Böylece yeni inşa edilen ve mevcuttaki yapıların çatıları yeşil çatı olarak tasarlandığında çevre kirliliğinin engellenmesine katkı sağlanacaktır.

Yeşil çatılar; çatıları enerji verimliliği, yağmur suyu yönetimi, ses izolasyonu ve estetik gelişmeler için kullanma imkanı sunan bir teknolojidir [1]. Biyoçeşitlilik ve

doğal ortama katkı sağlaması, katı organik atıklardan kompost oluşumu ile toprak verimliliğini artırması, yağmur suyu yönetiminde etkili olması, atık suların toplanıp gerekli işlemlerden geçirilerek yeşil çatılarda ve bina içerisinde kullanımını sağlaması, hava ve gürültü kirliliğini önlemesi, kentsel ısı adası etkisini azaltması, karbondioksit ve oksijen değişiminde etkili olması gibi unsurlar, çevresel ve ekolojik yönden üstlendiği rollerin önemini anlatmaktadır [8]. Geleneksel çatılarda yer alan güneş panellerinin yeşil çatılarda da kullanılması, sıcak su kullanımına ek olarak elektrik üretimi de sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kapsamında kurulacak olan rüzgar enerjisi dönüştürücüleri de buna katkı sağlamaktadır. Böylece doğal kaynak kullanımında israfın önüne geçilerek sürdürülebilir çevre kapsamında gelecek kuşaklara yaşanabilir bir dünya bırakılacaktır.

Dünyadaki en önemli problemlerden biri su kıtlığıdır ve hızlı kentleşme nedeniyle suya olan ihtiyaç da hızla artmaktadır [8]. 2030'a kadar % 40 civarında bir arz açığı yaşanması muhtemeldir [8]. Kentleşmenin; yağmur suyu akışı ve geçirimsiz yüzeylerin artmasından dolayı su kalitesi, su havzaları, su sistemleri üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Azalmakta olan su kaynaklarını korumak için Entegre Su Yönetimi Teknolojilerinin (EKSYT) uygulanması gerekmektedir. Bu yüzden yağmur suyu yönetimi, yağmur suyu toplama, su kalitesi, su tasarrufu, suyun tekrar kullanılması, suyun yerleştirilmesi, yer altı sularının korunması ve kullanılması, enerji yönetimi, besin maddelerinin geri dönüşümü konularına önem verilmelidir [8]. Dünyadaki tatlı su kaynakları az olduğu için, yeşil çatıların sürdürülebilir kent yaşamı açısından su yönetiminde önemli bir yeri vardır [8]. Yeşil çatılar sayesinde, yağmur suyunun akışları geciktirilerek altyapı sistemlerine katkı sağlanacak ve tutulamayan suyun denizler, altyapı sistemleri gibi yeniden kullanım olanağı olmayan yerlere varması engellenebilecektir. Böylece yazları kanalizasyon sistemlerinin yükünü % 70-95 arası azalttığı, akış başlangıcını 5 - 7 saat ertelediği ve pik akışı 2 saat geciktirdiği tespit edilmiştir [8]. Yağmur suyu hasatı tutacağı su ile akışı geciktirerek taşkınları engellemede etkili olmaktadır. Yağmur suyu akışında, yetiştirilen bitki türü ve yağış miktarı gibi etkilere göre ekstensif yeşil çatılarda % 60, intensif yeşil çatılarda ise % 100 azalma yaptığı gözlenmiştir [8]. Yağış miktarıyla tutulan yağış yüzdesi arasında da ters orantı vardır. Çatının doyuma ulaşmasından

sonraki yağış oranı akışa geçmektedir. Böylece yoğun yağışlarda çatının doyması ile akışa geçecek miktar artmaktadır. Yağmur sularının tutulmasıyla kaybolmaya yüz tutmuş temiz su havzalarına olumlu katkılar sağlanabilmektedir. 20-40 cm arası bitkilendirilmiş yeşil çatının 10-15 cm yüksekliğinde su tutma kapasitesi mevcuttur. 10-20 cm arası toprak kalınlığı olan yeşil çatı, üzerine düşen yağışın % 50-60'ını tutmaktadır [8]. Toprak kalınlığı 50 cm'ye ulaştığında bu oran % 90'a yükselmektedir [8]. Kış mevsiminde yoğun kar şartlarında aylık yağışın % 20'si, yaz mevsiminde yaklaşık tamamı tutulmaktadır [8]. Ayrıca yeşil çatılar, yağmur sularını filtreleyip depolayarak yeniden kullanımını sağlamaktadır. Böylece su tasarrufu yapılmasına imkan sağlamaktadır [20].

Sürdürülebilir kent yaşamına katkısı olan yeşil çatılar, ısı izolasyonu açısından da enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yeşil çatılar, yaz mevsimlerinde soğutmak için kullanılan enerji gereksinimini, klasik çatılara göre günlük % 25-75 civarında azaltmaktadır [8]. Ayrıca yeşil çatılar, çatı membranının yüzeyindeki ısı değişimi farkını azaltmaktadır [20]. Yaz mevsimlerinde soğutmak, kış mevsimlerinde ısıtmak için kullanılan doğal gaz ve elektrik enerjisi miktarını azaltmakta, yağmur sularını filtrelemekte ve depolayıp yeniden kullanılmasını sağlamaktadır [20]. Böylece su tasarrufu yapılmasına imkan sağlamaktadır. Yeşil çatılar yapıların enerji gereksinimini azaltıp daha az enerjiyle ısı ihtiyacını karşılamaktadır. Bitkiler yeşil olduğu için güneş ışınlarını emerek iç ve dış ortamın hava sıcaklığının artmasını engellemektedir [22]. Doğaya yansıyan güneş ışını oranının azalması küresel ısınmaya karşı tedbir oluşturmakta, bitkilerin fazla ısıyı bünyelerine alması besin üretimine yardımcı olmaktadır [22]. Yeşil çatı sistemlerinin yaygınlaşmasıyla yapıların enerji kullanımı azalacağından dolayı fosil yakıtların kullanımı da azalacaktır.

Bitki tabakası sayesinde hava kirliliğini, çevre ve bina içindeki ısı dalgalanmalarını engellemeye yardımcı olmaktadır. İklimlendirme ihtiyacı azalacağından kullanıcıların tasarruf yapmasına olanak sağlarken, enerji üretiminden ve kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azalmasına yardımcı olacaktır [8]. Yeşil çatılar, bina içi hava sıcaklığını geleneksel çatılara göre % 60 azaltmakta ve

ortalama 5 °C düşürmektedir [8]. Yeşil çatıların yalnızca yeni yapılacak binalarda uygulanması bile 288.000 ton CO₂ emisyonunu absorblamaktadır [8]. 1 m²'lik alanı olan bir yeşil çatı senede 5 kg CO₂ gazını absorblayabilmektedir [8]. Ayrıca yeşil çatılar, metrekare başına 375 g karbon emisyonunu tutmaktadır [8]. Böylece yeşil çatıların sera etkisinin önüne geçebilmek ve sürdürülebilir şehirlerde karbon ayak izinin azaltılmasında olumlu etkileri olduğu görülmektedir [8].

Doğal filtreleme yaparak yağmur sularından kaynaklanan kirletici parametreleri tutup su yollarına ulaşmasını önlemektedir [8]. Partikül maddelerden kaynaklanan hava kirliliğini azaltmakla birlikte 2000 m²'lik yeşil çatının 4 ton partikül madde tutabileceği tespit edilmiş ve yeşil çatılar sayesinde yüksek miktarda NO_x ve SO_x'lerin tutulduğu görülmüştür [8].

Kentleşme ile birlikte gürültü kirliliği de artmıştır [2]. Yeşil çatılar gürültüyü 40-50 desibel aralığında azaltmaktadır [2]. Buna ilaveten yeşil çatılar rüzgar izolasyonu da sağlamaktadır [2]. Rüzgarın önlenmesiyle ısıtma ve soğutma giderlerinde tasarruf sağlanmaktadır.

Çevre kalitesi göstergelerine bakılarak yeşil çatıların ortam sıcaklığını azalttığı, bitkilerin yaprakları ile tozları tutup yayılmasını önlediği, bitkilerin fotosentez yapmasıyla havadaki oksijen oranını artırıp karbondioksiti azaltarak hava kirliliğini engellediği, yağmur sularını emip toprağa fazla su gönderimini azaltarak sel ve erozyon risklerini düşürüp doğal afetlere dayanıklı şehirlerin oluşmasına katkıda bulunduğu ve daha yaşanabilir kentler oluşturduğu görülmektedir.

Ülkemizde iklim değişikliği ve etkileri önemli konulardandır. Geçmişe yönelik yapılan araştırmalarda, Türkiye'nin batı bölgelerinde kentsel ısı adası etkisi olduğu ortaya çıkmış; geleceğe yönelik senaryolarda ise batı bölgeleri başta olarak yaz mevsiminde, kentsel ısı adası etkisine ilaveten, sıcaklıkların artacağı düşünülmektedir. Bu sebeple Türkiye'de, iklim değişikliğine uyumlu yapı teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Uluslararası çalışmalar sonucunda yeşil çatı sistemlerinin iklim değişikliğine uyumlu yapı teknolojilerinden biri olduğu

görülmüştür. Ülkemizde yeşil çatı sistemlerinin performansı yaygın olarak bilinmediği için uygulamaları sınırlıdır. Temel amacı çevreyle uyum sağlayan yeşil çatı sistemleri tasarlamak olan bir proje yürütülmelidir. Projenin amaçlarından biri de geleneksel çatı sisteminin yeşil çatı sistemine dönüştürülmesi sonucunda oluşan sistem ile geleneksel çatı sisteminin performanslarını deneysel ölçümlerle kanıtlamak ve karşılaştırmak olmalıdır.

Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü kazan dairesi binasının çatısına inşa edilen yeşil çatı sisteminin 14 Aralık 2020 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasında araştırma alanının bulunduğu bölgeye düşen yağış miktarları incelendiğinde en fazla yağışın 81,6 mm ile 1 – 7 Temmuz 2021 tarihleri arasında, en az yağışın 1 mm ile 1 – 15 Mayıs 2021 tarihleri arasında olduğu görülmüştür. Yeşil çatıya düşen yağış miktarları incelendiğinde, yeşil çatıya düşen en fazla yağış miktarı 88,128 litre ile 1-7 Temmuz 2021 tarihleri arasında, en az yağış miktarı 1,08 litre ile 1 – 15 Mayıs 2021 tarihleri arasında gözlenmiştir. Yeşil çatının su deposunda biriken yağmur suyu miktarı 87,128 litre ile en fazla 1 – 7 Temmuz 2021 tarihleri arasında, 0,08 litre ile en az 1 – 15 Mayıs 2021 tarihleri arasında gözlenmiştir. Yeşil çatıdaki çimleri, bitkileri ve bahçeyi suladıktan sonra depoda kalan yağmur suyu miktarı 139,968 litre ile en fazla 1 – 7 Temmuz 2021 tarihleri arasında, 20,376 litre ile en az 14 – 31 Aralık 2020 tarihleri arasında gözlenmiştir. En fazla depolanan güneş enerjisi miktarı 24.000 watt ile 1- 14 Şubat 2021 tarihleri arası, en az depolanan güneş enerjisi miktarı 990 watt ile 16 – 31 Mart 2021 tarihleri arasındadır. En fazla elektrik üretim miktarı, hesaplanan gün sayısının fazla olmasından ve kış mevsimi olduğu için gecelerin gündüzlerden uzun olmasından dolayı 705,6 watt ile 14 – 31 Aralık 2020 tarihleri arasında gözlenmiştir. Bir haftalık veriler alındığından en az elektrik üretim miktarı 176,4 watt ile 1 – 7 Temmuz 2021 ve 8 – 14 Temmuz 2021 tarihleri arasında gözlenmiştir.

8 aylık deney süresi boyunca tasarruf edilen su miktarı 560 litre, SASKİ şebeke suyu fiyatı 4,89 TL olduğundan tasarruf edilen su tutarı 2,7384 TL'dir. Bu süre zarfında tasarruf edilen elektrik enerjisi miktarı 6801,2 watt, tasarruf edilen elektrik tutarı 3,2258 TL'dir.

Yeşil çatı, yağmur suyu ve güneş enerjisi sistemleri 9117,96 TL'ye mal oldu. 1,5 m² alanındaki bu pilot tesis 2690 TL, yağmur suyu toplama ve depolama sistemi 3750 TL, güneş enerjisi sistemi 2677,96 TL'ye mal olmuştur. Kazan dairesi binasının 273 m² alanındaki çatısının tamamına yeşil çatı sistemi uygulanmış olsaydı $273m^2 \times 300 \text{ dolar} = 81,900 \text{ TL}$ 'ye mal olacaktı. Yağmur suyu sistemi 24.000 TL, güneş enerjisi sistemi 230.000 TL'ye mal olacaktı. Toplamda 335.900 TL'ye mal olacaktı.

Bursa'da yapılan benzer bir çalışmada, 1926-2016 yılları arasındaki yağmur suyu ortalama verileri alınarak 200 m² alana sahip çatıda yağmur suyu hasadı yapılmıştır. Çatıya düşen yağış miktarı 101,880 litre olarak hesaplanmıştır. Toplanan su; bahçe sulamada, kümes hayvanlarının su ihtiyacını karşılamada, süs havuzunu doldurmada ve araba yıkamada kullanılmıştır. Her bahçe sulamada 5 L m⁻² su harcanmaktadır. 400 m²'lik bahçeyi sulamak için 2000 litre su harcanmaktadır. 15 günde bir sulama yapıldığında $2 m^3 \text{ gün}^{-1} \times 365/15 \text{ gün} = 48,66 m^3 \text{ yıl}^{-1}$ su harcanmıştır. Yılda 102 m³ su tasarrufu yapılmıştır. BUSKİ şebeke suyu fiyatı 3,28 TL'dir. Yıllık tasarruf edilen su tutarı $102 m^3 \times 3.28 \text{ TL} = 335 \text{ TL}$ 'dir. Yağmur suyu toplama sisteminin maliyeti 3463 TL olarak hesaplanmıştır.

Tez çalışmasının sonucunda yeşil çatıların Sakarya'nın Serdivan ilçesinin iklim şartlarında su ve enerji verimliliği yönünden değerlendirilmesi yapılmıştır. Tezin kapsamında; enerji ve su tasarrufu sağlanarak betonlaşmadan dolayı azalmaya başlayan yeşil alanların geri kazanılması hedeflenmiştir.

Sonuçta yeşil çatılar sürdürülebilirlik için çözüm olacaktır. Maliyet, bakım ve işletme gibi dezavantajları olsa bile; çevre, şehirler ve binalar açısından avantajları daha fazladır. Aynı zamanda uzun vadede ekonomiktir. Bu yüzden tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Kaymak, Y., Çevre odaklı mimari tasarım yaklaşımı kapsamında yeşil çatılar ve Türkiye ölçeğinde uygulanabilirliği üzerine bir araştırma, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Mimari Tasarım Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2015.
- [2] Kobyay, H. B., Düşey yeşil cepheler ve yeşil çatıların ekolojik kriterler bakımından incelenmesi ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2017.
- [3] Sağsöz, S., Yeşil çatıların kent yaşamındaki yeri ve önemi: Yerel ve yabancı örnekler üzerinden incelemeler, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, 2019.
- [4] Erkul, E., Yeşil çatı sistemlerinin yapım açısından irdelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2012.
- [5] Daryaei, A., Yeşil çatı sistemlerinin enerji verimliliğine etkisinin ölçülmesi üzerine bir araştırma: Tahran örneği, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Antalya, 23, 2019.
- [6] Haksever, T., Yeşil çatı sistemlerinin sürdürülebilir kentsel dönüşümprojelerine etkilerinin değerlendirilmesi; Kadıköy uygulama örneği, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yapı Fiziği ve Malzemesi Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- [7] Olgun, Y., Yeşil çatı: Tasarım ve uygulama örnekleri, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2014.
- [8] Koca, A., Yeşil çatı sistemlerinin sürdürülebilir kent yaşamına etkilerinin değerlendirilmesi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 2017.

- [9] Kınalı, M., Farklı iklim bölgelerindeki ofis binalarında yeşil çatıların bina ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkilerinin analizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2013.
- [10] Tohum, N., Sürdürülebilir peyzaj tasarım aracı olarak ‘yeşil çatılar’, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2011.
- [11] Kırşan, S., Yeşil çatılar ve düşey yeşil sistemlerin enerji performanslarının değerlendirilmesi, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2015.
- [12] Aslan, D., Binalar aracılığıyla yağmur suyu toplama stratejilerine biyomimetik bir yaklaşım, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2019.
- [13] Aybuğa, K., Su kaynakları üzerindeki baskıların hafifletilmesi amacıyla konutlarda yağmur suyu ve gri su kullanımı: Ankara örneği, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2018.
- [14] Kurtoğlu, M. E., İstanbul’da sürdürülebilir yağmursuyu yönetimi-yağmursuyu ızgara modeli önerisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı İşletmesi Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2021.
- [15] Kanbur, G. B., Yenilenebilir enerji kaynakları ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye üzerine bir inceleme, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, 2021.
- [16] Altun, İ., Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminin belirleyicileri: Türkiye örneği, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 2019.
- [17] Kerimoğlu, K., Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki bağlamında Türkiye’nin enerji politikalarının değerlendirilmesi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Ana Bilim Dalı, İktisat Bilim Dalı, Doktora Tezi, Konya, 2020.
- [18] Özek, E., Peyzaj mimarisi uygulamalarında güneş enerjisinin kullanımının değerlendirilmesine yönelik bir araştırma ve Yalova-Termal Yolu örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2009.

- [19] Demirci, E. S., Hava kirliliği ve küresel ısınmayı önlemede yeşil çatıların etkileri üzerine kritik bir değerlendirme, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- [20] Aras, B. B., Kentsel sürdürülebilirlik kapsamında yeşil çatı uygulamaları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Ana Bilim Dalı, Kamu Yönetimi Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2017.
- [21] Yılmaz, F. D., Tarihi dokuda yenileme sürecinde yeşil çatılar: Edirne Kaleiçi örneği, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 2020.
- [22] Turan, K. B., Yeşil çatıların bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisinin farklı iklim bölgeleri için analizi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 2019.
- [23] Abuş, M. N., Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı, Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, Bursa, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Esra DEMİRHAN

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği	2018
Lise	Sakarya Üniversitesi Vakfı Özel Anadolu Lisesi	2014

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2017	Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi	Stajyer
2018	Zen Çevre ve İş Güvenliği Danışmanlık TİC. LTD. ŞTİ.	Stajyer

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. The Application Of Rain Water And Solar Energy System On Green Roof One Of The Building İn The Sakarya University (makale)
2. Yeşil Çatılarda Yağmur Suyu ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Sakarya Üniversitesi'ndeki Kazan Dairesi Binasında Uygulanması (BAP LÜTEP Projesi)

HOBİLER

Kitap okumak, resim çizmek, film izlemek, yüzmek, doğa yürüyüşü yapmak