ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOSOLAR ÇATI UYGULAMALARININ PEYZAJ MİMARLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Derya TÖRE

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

ANKARA
2020

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİYOSOLAR ÇATI UYGULAMALARININ PEYZAJ MİMARLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Derya TÖRE

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mükerrem ARSLAN

Artan nüfus ve endüstrileşme faaliyetleri ile insanların enerji gereksinimleri artmıştır. Artan enerji gereksinimleri enerji kaynak çeşitliliğimizi çoğaltmamızı ve enerji üretirken de çevreye verilen zararların azaltılmasını zorunlu kılmaktadır. Yenilebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin kullanımı çevreye verilen zararların en aza indirilmesi açısından önemlidir. Türkiye coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisinden verimli olarak yararlanabilecek bir konumdadır. Yeşil çatılar ile fotovoltaik (PV) panelleri bir araya getiren çatılar "Biyosolar Çatılar" olarak adlandırılmaktadır. Biyosolar çatıların özellikle, enerji gereksinimi çok olan, yeşil alanların az olduğu ve CO_2 yoğunluğu yüksek olan büyük kentlerde kullanılmalarının olumlu etkileri vardır. Biyosolar çatılar, sadece yeşil çatıların ve PV panellerin faydalarını taşımakta aynı zamanda, beraber kullanımları ile karşılıklı faydalar da sağlamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, biyosolar çatı örnekleri ve biyosolar çatıların faydaları incelenerek, peyzaj mimarlığı açısından Türkiye'de kullanımlarına yönelik olarak öneriler geliştirilmiştir.

Eylül 2020, 161 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyosolar Çatılar, Yeşil Çatılar, Güneş Enerjisi, Fotovoltaik (PV) Teknolojisi

ABSTRACT

Master Thesis

EVALUATION OF BIOSOLAR ROOF APPLICATIONS IN TERMS OF LANDSCAPE ARCHITECTURE

Derya TÖRE

Ankara University
Institute of Science
Department of Landscape Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Mükerrem ARSLAN

Energy needs of people has increased due to increasing population and industrialization activities. Increasing energy needs requires increasing our energy resource diversity and reducing environmental damage while producing energy. The use of solar energy, one of the renewable energy sources, is important in terms of minimizing environmental damage. Turkey's geographical location is convenient for benefitting from solar energy efficiently. Roofs that combine green roofs and photovoltaic (PV) panels are called "Biosolar Roofs". The use of biosolar roofs has positive effects especially in large cities with high energy need, few green areas and high CO_2 intensity. Biosolar roofs not only carry the benefits of green roofs and PV panels, but also provide mutual benefits for these by using them together as well. Within the scope of the thesis study, examples of biosolar roofs and their benefits were examined and suggestions were developed for their use in Turkey in terms of Landscape Architecture perspective.

September 2020, 161 Pages

Key Words: Biosolar Roofs, Green Roofs, Solar Energy, Photovoltaic (PV) Technology

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve okul hayatımda varlığıyla bana destek olan, araştırmalarımda bilgileri ve önerileriyle katkıda bulunan, ayrıca her daim göstermiş olduğu hoşgörüsü ile Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Mükerrem ARSLAN'a (Ankara Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı) en içten duygularımla teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam kapsamında, beni yeniden yazmaya teşvik eden ve destek olan dostlarıma; tez konumu seçmeme yardımcı olan, bilgileriyle çalışmamı geliştiren, yeni kaynaklar öneren amirlerim ile iş arkadaşlarıma ve hayatım boyunca attığım her adımda her an maddi ve manevi desteklerini hissettiğim annem, babam ve kardeşime en derin duygularımla teşekkür ederim.

Derya TÖRE

Ankara, Eylül 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiii**
1. GİRİŞ **1**
2. KURAMSAL TEMELLER **6**
2.1 Enerji Kaynakları **6**
2.1.1 Yenilenemez enerji kaynakları **6**
2.1.2 Yenilenebilir enerji kaynakları **8**
2.2 Güneş Enerjisi Teknolojileri **12**
2.2.1 Güneş sisteminin enerji kaynağı güneş **12**
2.2.2 Güneş enerjisinin tarihi **12**
2.2.3 Güneş enerjisi uygulama alanları **14**
2.2.3.1 Güneş kolektörleri **15**
2.2.3.2 Fotovoltaik (PV) sistemler **17**
2.3 Çatı Yöntemleri **36**
2.3.1 Beton çatılar **38**
2.3.2 Soğuk çatılar **38**
2.3.3 Yalıtımlı çatılar **39**
2.3.4 Yeşil çatılar **39**
2.3.5 Fotovoltaik panel çatılar **40**
2.3.6 Biyosolar çatılar **41**
2.3.7 Çift katlı çatılar **42**
2.3.8 Çatı havuzları **42**
2.3.9 Işıklık (tavan penceresi) çatı **42**
2.3.10 Rüzgâr tutucular **43**
2.4 Yeşil Çatı Sistemleri **45**
2.4.1 Yeşil çatı sistemlerine ilişkin tanımlar **45**
2.4.2 Yeşil çatı sistemlerinin tarihçesi **46**
2.4.3 Yeşil çatı sistemlerinin sınıflandırılması **50**
2.4.4 Yeşil çatı sisteminin katmanları **51**
2.5 Biyosolar Çatı Sistemleri **55**
2.5.1 Biyosolar çatı sistemlerine ilişkin tanımlamalar **55**
2.5.2 Biyosolar çatıların temel tasarım özellikleri **57**
2.5.3 Biyosolar çatı sisteminin katmanları **59**
2.5.4 Biyosolar çatı projesi **63**

3. MATERYAL VE YÖNTEM 65
3.1 Materyal 65
3.2 Yöntem 66
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 71
4.1 Yeşil Çatı Örnekleri 71
4.1.1 Zorlu Center 72
4.1.2 VanDusen Botanik Bahçesi 75
4.1.3 Gallie Craig Kahve Evi 78
4.1.4 Nanyang Teknoloji Üniversitesi 79
4.1.5 Zoku Metropol Binası 81
4.1.6 High Line Park 83
4.1.7 Royal Tower 87
4.1.8 Wenchuan Deprem Anıtı Müzesi 88
4.1.9 New Providence Wharf 90
4.1.10 Victoria Desalinasyon Projesi 92
4.2 Biyosolar Çatı Örnekleri 94
4.2.1 Nevşehir Yurt Binası 95
4.2.2 Schiphol Havaalanı 97
4.2.3 Chartered Bank Genel Merkezi 98
4.2.4 Münih Teknoloji Merkezi 100
4.2.5 Clapham Park 102
4.2.6 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü 104
4.2.7 Geliştirme ve Veri Bilimi Ulusal İnovasyon Merkezi - National Innovation Centre for Ageing and Data Science Central (NICAD) 106
4.2.8 Basel Ana Sergi Salonu 108
4.2.9 One Angel Lane 110
4.2.10 Londra Olimpiyat Parkı (Queen Elizabeth Olympic Park) Medya Merkezi 112
4.3 Yeşil Çatıların Faydaları 114
4.3.1 Yeşil çatıların çevresel ve ekolojik faydaları 114
4.3.2 Yeşil çatıların sosyal faydaları 115
4.3.3 Yeşil çatıların ekonomik faydaları 115
4.4 Biyosolar Çatıların Faydaları 116
4.4.1 Biyosolar çatıların PV paneller açısından faydaları 117
4.4.2 Biyosolar çatıların yeşil çatılar açısından faydaları 120
4.5 Biyosolar Çatılar Kapsamında Yapılan Araştırmalara Ait Sonuçlar 122
4.5.1 Biyosolar çatılarda biyoçeşitliliği izleyen bir araştırma 122
4.5.2 Biyosolar çatılardaki panel yüksekliğine ilişkin bir araştırma 122
4.5.3 Biyosolar çatılarda *Gazania rigens* ve *Sedum clavatum* yeşil çatıları ile PV-çakıl çatı karşılaştırmasına ilişkin bir araştırma 124
4.5.4 Biyosolar çatı ile siyah çatı-PV karşılaştırmasına ilişkin bir araştırma 125

4.5.5 PV panellerinin biyosolar çatılar üzerindeki etkilerine ilişkin bir araştırma 127
4.5.6 PV panellerin domates ve biber üretimi üzerindeki etkilerine ilişkin bir araştırma 128
4.6 Biyosolar Çatılarda Kullanılabilecek Bitki Türleri 130
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 142
KAYNAKLAR 152
ÖZGEÇMİŞ 161

KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım (Alternating Current)
AVM	Alışveriş Merkezi
BK	Birleşik Krallık
BREEAM	Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)
CSP	Odaklanmış Güneş Enerjisi (Concentrated Solar Power)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
EPS	Genleştirilmiş Polistren Sert Köpük (Expanded Polystyren Foam)
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
LDH	Düşük Diferansiyel Yükseklik (Low Differential Height)
LEED	Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (Leadership in Energy and Environmental Design)
HDH	Yüksek Diferansiyel Yükseklik (High Differential Height)
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology)
MÖ	Milattan Önce
MS	Milattan Sonra
NICAD	Geliştirme ve Veri Bilimi Ulusal İnovasyon Merkezi (National Innovation Center for Ageing and Data Science Central)
PCM	Faz Değişim Materyali (Phase Change Material)
PSM	Performans Sanatları Merkezi
PV	Fotovoltaik

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Düz kolektörden su ısıtan sistem 16
Şekil 2.2 Vakumlu kolektör kesiti 16
Şekil 2.3 Vakumlu kolektörden su ısıtan sistem 17
Şekil 2.4 Yoğunlaştırılmış kolektör 17
Şekil 2.5 Kuvars kumunun elementel silisyuma indirgenmesi 18
Şekil 2.6 Silikon ve silikon devre levhası üretim süreci 19
Şekil 2.7 Monokristal güneş paneli 20
Şekil 2.8 Monokristal hücrenin kaynağı olan monokristal ingot (külçe) 20
Şekil 2.9 Polikristal güneş paneli 21
Şekil 2.10 İnce film güneş paneli 21
Şekil 2.11 Şebekeye bağlı PV sistem şeması 22
Şekil 2.12 Doğrudan bağlı PV sistem şeması 22
Şekil 2.13 Kendinden düzenleyici PV sistem şeması 23
Şekil 2.14 Tam PV sistem şeması 23
Şekil 2.15 PV/Hibrit sistem şeması 24
Şekil 2.16 PV ve rüzgâr hibrit sistemi 24
Şekil 2.17 PV panel kesit görünümü 25
Şekil 2.18 PV yüzey eğim grafiği (Göreceli Çıktı/Ay) 27
Şekil 2.19 Pik güneş saati (Yatay Işınım/Saatler) 27
Şekil 2.20 Kötü yapılan bağlantıların neden olduğu PV sistemindeki zararlar 28
Şekil 2.21 Paneller arası mesafe hesaplaması 28
Şekil 2.22 Güneş takip sistemleri 29
Şekil 2.23 PV destekleme sistemi örnekleri 30
Şekil 2.24 Panel yüzeyindeki engelleyici faktörler 31
Şekil 2.25 Panellerin temizlenmesi 31
Şekil 2.26 PV destekli TV istasyonu, Tibet, 1990 32
Şekil 2.27 Rüzgâr/PV hibrid elektrik sistemi 32
Şekil 2.28 Petrol boru hattı koruma sistemi PV istasyonu, 1996 33
Şekil 2.29 Diğer PV sistemli gereçler 33
Şekil 2.30 PV destekli aydınlatma lambaları 33
Şekil 2.31 Rüzgar/PV hibrid sokak lambaları 33
Şekil 2.32 30 MW PV güç santrali, Gansu 33
Şekil 2.33 20 MW PV güç santrali, Qinghai 33
Şekil 2.34 Çatı PV uygulama örnekleri 34
Şekil 2.35 Tarım ve hayvancılıkta PV uygulamaları 35
Şekil 2.36 Tarım ve hayvancılıkta PV uygulamaları 36
Şekil 2.37 Çatı yöntemleri 37
Şekil 2.38 Ziggurat çizimi 46
Şekil 2.39 Babil'in Asma Bahçeleri 47
Şekil 2.40 Yeşil çatı sisteminin katmanları 51
Şekil 2.41 Biyosolar çatıdaki bitki mesafeleri 57
Şekil 2.42 İsviçre, Winterthur'daki "Werkhof Scheidegg"in biyosolar çatısı 58

Şekil 2.43 Biyosolar çatı sisteminin katmanları 60
Şekil 2.44 Biyosolar çatı sistemi katmanlarının fotoğrafları 60
Şekil 2.45 Bitkilendirme ve panel uygulama öncesi PV çerçevelerinin uygulanması 61
Şekil 2.46 Yeşil çatı ve PV panel entegre sistemi 63
Şekil 3.1 Biyosolar çatıları oluşturan kavramlar 67
Şekil 3.2 Yöntem akış şeması 70
Şekil 4.1 Zorlu Center genel görünüm 72
Şekil 4.2 Zorlu Center bitkisel detaylar 73
Şekil 4.3 Zorlu Center kuşbakışı görünüm 73
Şekil 4.4 Zorlu Center yeşil çatısı 75
Şekil 4.5 Zorlu Center 75
Şekil 4.6 Zorlu Center vaziyet planı 75
Şekil 4.7 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı genel görünümü 75
Şekil 4.8 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı 76
Şekil 4.9 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı 76
Şekil 4.10 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı yapım aşamaları 76
Şekil 4.11 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı yapım aşamaları 76
Şekil 4.12 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatı bitkilendirme planı 77
Şekil 4.13 VanDusen Botanik Bahçesi ziyaretçi merkezi kesiti 77
Şekil 4.14 Gallie Craig Kahve Evi yeşil çatısı 78
Şekil 4.15 Gallie Craig Kahve Evi yeşil çatısı genel görünüm 78
Şekil 4.16 Gallie Craig Kahve Evi yeşil çatısı genel görünüm 78
Şekil 4.17 Nanyang Teknoloji Üniversitesi yeşil çatısı genel görünüm 79
Şekil 4.18 Nanyang Teknoloji Üniversitesi gece görünümü 80
Şekil 4.19 Nanyang Teknoloji Üniversitesi genel görünüm 80
Şekil 4.20 Nanyang Teknoloji Üniversitesi genel görünüm 80
Şekil 4.21 Nanyang Teknoloji Üniversitesi proje modeli 80
Şekil 4.22 Nanyang Teknoloji Üniversitesi plan çizimi 80
Şekil 4.23 Zoku Metropol Binası yeşil çatısı 81
Şekil 4.24 Zoku Metropol Binası gece görünümü 82
Şekil 4.25 Zoku Metropol Binası seraları 82
Şekil 4.26 Zoku Metropol Binası yeşil çatısı genel görünümü 82
Şekil 4.27 Zoku Metropol Binası yeşil çatısı kullanımı 82
Şekil 4.28 Zoku Metropol Binası genel perspektifi 82
Şekil 4.29 Zoku Metropol Binası 82
Şekil 4.30 High Line Park 83
Şekil 4.31 High Line Parkı düzenleme öncesi görünümü 85
Şekil 4.32 High Line eski görünümü 85
Şekil 4.33 High Line Parkı genel görünüm 85
Şekil 4.34 High Line Parkında korunan orijinal raylar 85
Şekil 4.35 High Line oturma alanları 85
Şekil 4.36 High Line doğal bitki görünümü 85
Şekil 4.37 High Line Parkı genel görünüm 86
Şekil 4.38 High Line Parkı manzara noktaları 86
Şekil 4.39 High Line Park oturma alanları 86

Şekil 4.40 High Line Parkı genel görünüm....86
Şekil 4.41 High Line Parkı genel görünüm....86
Şekil 4.42 High Line Parkı sulama ve bakım çalışmaları....86
Şekil 4.43 Royal Tower yeşil çatısı....87
Şekil 4.44 Royal Tower yeşil çatısı....87
Şekil 4.45 Royal Tower genel görünüm....87
Şekil 4.46 Wenchuan Deprem Müzesi genel görünüm....88
Şekil 4.47 Wenchuan Deprem Müzesi genel görünüm....89
Şekil 4.48 Müze girişindeki küçük kule ve kamusal meydan....89
Şekil 4.49 Müze içinde erişimi sağlayan boşluklar....89
Şekil 4.50 Siper çeliğinden yapılan açılı duvarlar....89
Şekil 4.51 Wenchuan Deprem Müzesi plan görünümü....89
Şekil 4.52 Wenchuan Deprem Müzesi genel görünüm....89
Şekil 4.53 Wenchuan Deprem Müzesi'ndeki oturma bankları....89
Şekil 4.54 Her katta çim bitki örtüsü ve küçük yüzme havuzu içeren New Providence Wharf....90
Şekil 4.55 New Providence Wharf 'ın plan görünümü....91
Şekil 4.56 New Providence Wharf binasından Milenyum Kubbesinin görünümü....91
Şekil 4.57 New Providence Wharf genel mekânlar....91
Şekil 4.58 Suyun merdivenlerden akmasıyla şelale etkisi oluşturulması....91
Şekil 4.59 Yapay su havuzları üzerinde yer alan zemin kat daire balkonları....91
Şekil 4.60 Yeraltı garajının üstünde park bankları ile merkez avlu....91
Şekil 4.61 Victoria Desalinasyon Projesi genel görünümü....92
Şekil 4.62 Victoria Desalinasyon Projesi yeşil çatısı....93
Şekil 4.63 Tesisten yeşil çatının görünümü....93
Şekil 4.64 Victoria Desalinasyon Projesi plan gürünümü....93
Şekil 4.65 Victoria Desalinasyon Projesi tesisi genel görünümü....93
Şekil 4.66 Tesisteki yaya parkurları....93
Şekil 4.67 Nevşehir Yurt Binası biyosolar çatısı....95
Şekil 4.68 Eğimli çatıda fotovoltaik güneş paneli uygulaması....96
Şekil 4.69 Nevşehir Yurt Binası projesi....96
Şekil 4.70 Eğimli çatıda fotovoltaik güneş paneli uygulaması....96
Şekil 4.71 Eğimli çatıda fotovoltaik güneş paneli uygulaması....96
Şekil 4.72 Schiphol Havaalanı genel görünüm....97
Şekil 4.73 Havalanından biyosolar çatı görünümü....97
Şekil 4.74 Biyosolar çatı yapım aşaması....97
Şekil 4.75 Chartered Bank biyosolar çatısı....98
Şekil 4.76 Chartered Bank biyosolar çatısı genel görünüm....99
Şekil 4.77 Chartered Bank biyosolar çatısı....99
Şekil 4.78 Chartered Bank biyosolar çatısı genel görünüm....99
Şekil 4.79 Chartered Bank biyosolar çatısı....99
Şekil 4.80 Chartered Bank biyosolar çatısı....99
Şekil 4.81 Chartered Bank biyosolar çatısı....99
Şekil 4.82 Münih Teknoloji Merkezi biyosolar çatısı....100
Şekil 4.83 Münih Teknoloji Merkezi binası....101

Şekil 4.84 Münih Teknoloji Merkezindeki PV paneller 101
Şekil 4.85 Münih Teknoloji Merkezi biyosolar çatısı genel görünümü 101
Şekil 4.86 Münih Teknoloji Merkezindeki PV panellerin monte edilmesi 101
Şekil 4.87 Münih Teknoloji Merkezindeki PV panellerin çevresine döşenen ray sistemi 101
Şekil 4.88 Clapham Park biyosolar çatısı genel görünümü 102
Şekil 4.89 Clapham Park biyosolar çatısındaki PV panelleri genel görünümü 103
Şekil 4.90 Clapham Park biyosolar çatısındaki bitki varlığı 103
Şekil 4.91 Biyosolar çatı yapım aşamaları 103
Şekil 4.92 Biyosolar çatı yapım aşamaları 103
Şekil 4.93 Biyosolar çatı PV panel ve bitki varlığı genel görünüm 103
Şekil 4.94 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümü biyosolar çatısı 104
Şekil 4.95 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği binası 105
Şekil 4.96 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği binası biyosolar çatısı 105
Şekil 4.97 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği binası biyosolar çatısı 105
Şekil 4.98 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği binası biyosolar çatısındaki drenaj sistemi ile bitkiler arasındaki çakıl bariyer 105
Şekil 4.99 NICAD biyosolar çatısı 106
Şekil 4.100 NICAD biyosolar çatısı 107
Şekil 4.101 NICAD binası gece görünümü 107
Şekil 4.102 NICAD binası 107
Şekil 4.103 Basel Ana Sergi Salonu biyosolar çatısı 108
Şekil 4.104 Basel Ana Sergi Salonu çatısının 2008 yılı öncesi görünümü 109
Şekil 4.105 Basel Ana Sergi Salonundaki PV paneller ile yeşil çatı 109
Şekil 4.106 Basel Ana Sergi Salonu biyosolar çatısı genel görünümü 109
Şekil 4.107 Basel Ana Sergi Salonu biyosolar çatısı genel görünümü 109
Şekil 4.108 Biyolojik çeşitlilik işlevlerinin geliştirilmesi için çatıya eklenen organik madde ve odunsu birikintiler ile PV paneller 109
Şekil 4.109 Biyolojik çeşitlilik işlevlerinin geliştirilmesi için çatıya eklenen organik madde ve odunsu birikintiler ile bitkiler 109
Şekil 4.110 One Angel Lane biyosolar çatısı 110
Şekil 4.111 One Angel Lane biyosolar çatısı 111
Şekil 4.112 One Angel Lane yeşil çatısı 111
Şekil 4.113 One Angel Lane ofis binası 111
Şekil 4.114 Londra Olimpiyat Medya Merkezi biyosolar çatısı 112
Şekil 4.115 London Olimpiyat Medya Merkezi biyosolar çatısı 113
Şekil 4.116 Yanlış tasarlanan bir biyosolar çatı örneği 119
Şekil 4.117 Londra'da bulunan kötü tasarlanmış biyosolar çatı örneği 120
Şekil 4.118 Biyosolar çatı sistemi deneysel bölgesi saha görünümü 123
Şekil 4.119 Biyosolar çatı sistemi deneysel bölgesi kesit görünümü 123
Şekil 4.120 Gün boyu çatıda farklı yerlerde PV panellerinin gölgesi (solda üç kutu), çatının farklı alanlarında farklı gölgeleme süreleriyle heterojen bir gölge ortamı yaratacaktır (sağdaki kutu) 127
Şekil 4.121 Güney Arizona'daki Biyosfer 2'deki agrivoltaik sistemin görünümü 129
Şekil 5.1 Kentsel yeşil altyapının ekosistem hizmetleri 143

Şekil 5.2 Güneş enerjisi potansiyel atlası.....144
Şekil 5.3 Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı bölümü biyosolar çatı proje alanı.....150
Şekil 5.4 Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı bölümü biyosolar çatı peyzaj projesi.....151

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Örnek yeşil çatı ve biyosolar çatı inceleme çizelgesi 68
Çizelge 3.2 Biyosolar çatılarda kullanılabilecek bitkileri inceleme çizelgesi..... 69
Çizelge 4.1 Zorlu Center yeşil çatı proje bilgileri..... 72
Çizelge 4.2 Van Dusen Botanik Bahçesi yeşil çatı proje bilgileri 75
Çizelge 4.3 Gallie Craig Kahve Evi yeşil çatı proje bilgileri..... 78
Çizelge 4.4 Nanyang Teknoloji Üniversitesi yeşil çatı proje bilgileri 79
Çizelge 4.5 Zoku Metropol Binası yeşil çatı proje bilgileri..... 81
Çizelge 4.6 High Line Park yeşil çatı proje bilgileri..... 83
Çizelge 4.7 Royal Tower yeşil çatı proje bilgileri 87
Çizelge 4.8 Wenchuan Deprem Anıtı Müzesi yeşil çatı proje bilgileri 88
Çizelge 4.9 New Providence Wharf yeşil çatı proje bilgileri..... 90
Çizelge 4.10 Victoria Desalinasyon Projesi yeşil çatı proje bilgileri..... 92
Çizelge 4.11 Nevşehir Yurt Binası biyosolar çatı proje bilgileri 95
Çizelge 4.12 Schiphol Havalanı biyosolar çatı proje bilgileri 97
Çizelge 4.13 Chartered Bank Genel Merkezi biyosolar çatı proje bilgileri..... 98
Çizelge 4.14 Münih Teknoloji Merkezi biyosolar çatı proje bilgileri 100
Çizelge 4.15 Clapham Park biyosolar çatı proje bilgileri 102
Çizelge 4.16 Cambridge Üniversites, İnşaat Mühendisliği bölümü biyosolar çatı proje bilgileri..... 104
Çizelge 4.17 NICAD biyosolar çatı proje bilgileri 106
Çizelge 4.18 Basel Ana Sergi Salonu biyosolar çatı proje bilgileri..... 108
Çizelge 4.19 One Angel Lane biyosolar çatı proje bilgileri..... 110
Çizelge 4.20 Londra Olimpiyat Parkı Medya Merkezi biyosolar çatı proje bilgileri ... 112
Çizelge 4.21 Biyosolar çatılarda kullanılabilecek bitki listesi..... 132
Çizelge 5.1 Biyosolar çatıların geliştirilmesi için eylem planı 148

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artışı ve endüstrileşme ile birlikte, dünya çapında bir kentsel büyüme yaşanmaktadır. Birleşmiş Milletler, Nüfus Bölümü çalışmalarına göre; 2050 yılına kadar, küresel insan nüfusunun neredeyse 10 milyara ulaşacağı ve Avrupa nüfusunun %80'inden fazlasının kentlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, ABD Enerji Bilgi İdaresi Uluslararası Enerji Görünümüne (U.S. Energy Information Administration) göre, tek başına konut sektörünün enerji tüketiminin 2040'da yaklaşık %48 artması beklenmektedir (Catalano ve Baumann 2017). Nüfus artışı, endüstrileşme ve kentleşme faaliyetleri ile enerji gereksinimi de artış göstermektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına göre, 2040 yılına kadar, fosil yakıtların payları azalmasına rağmen bu yakıtlar baskın kaynaklar olmaya devam edecektir. Nükleer enerjinin birincil enerji kaynakları içindeki payının artacağı öngörülmekte, yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040 yılındaki payının %16,1 olacağı ve küresel elektrik talebinin 2040 yılına kadar yıllık ortalama %2,3 olmak üzere %80 oranında artacağı beklenmektedir (Anonim 2017).

Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak, temiz ve tükenmeyen enerji kaynaklarını kullanmak için güneş enerjisi uygun bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Güneş enerjisinden yararlanıldığında, fosil kaynakların kullanımı azalacak ve yenilenebilir enerjilerin tercih edilmesi ile gelecek kuşaklara daha yaşanabilecek bir çevre bırakılabilecektir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m^2.yıl (günlük ortalama 4,18 kWH/m^2.gün) olduğu tespit edilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019).

Türkiye'nin, bulunduğu coğrafi konum itibariyle güneş enerjisi potansiyeli yüksektir. Bina ölçeğinde güneş enerjisinden elektrik üretimi ve ısı elde edilmesi sağlanabilmektedir.

Güneş hücreleri ya da diğer adı ile Fotovoltaik (PV) güneş elektriği sistemleri, yarı iletken malzemelerden yapılmış olup, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine

çevirmektedir. Güneş enerjisinden ısı elde edilen, Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş enerjisi (CSP) sistemlerinde ısı doğrudan kullanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019).

Hem sosyo-ekonomik faktörler hem de ekolojik faktörler, oluşturulan çevredeki biyoçeşitliliği ve doğal kaynakları koruma gereksinimini vurgulamaktadır. Ancak, kentlerimizin kendine özgü doğaları bu amacı yerine getirmek için tasarlanmamıştır. Sürekli büyüyen ve talepkâr bir nüfusun gereksinimlerini göz önünde bulundurmak için kent planlaması ile kent yapısı incelenmelidir. Kentler, sosyal, ekonomik ve ekolojik yaklaşımlar arasındaki boşluğu doldurmayı amaçlayan, ancak kentsel metabolizma kavramı tarafından yönlendirilen bir perspektif olan biyofiziksel sistemler olarak düşünülmelidir (Catalano ve Baumann 2017).

Sağlıklı işleyen bir kent ekosistemi için, doğal ekosistemlerdeki gibi durmadan işleyen bir çarkın varlığı sağlanmalıdır. Doğal ekosistemlerde, canlıların yaşamsal faaliyetlerini yürütmek için dışarı bıraktıkları atık maddeler, herhangi bir sorun oluşturmaz; çünkü doğal ekosistemlerde, belirli bir canlı türü için "atık madde" olarak atılan "çıktı", orada yaşayan başka bir canlı türü için bir "girdi" olarak, onu alan canlı için bir "enerji kaynağı" vazifesi görmektedir. Üretici-tüketici-ayrıştırıcıdan meydana gelen ve yaşam destek sisteminin temelini oluşturan durmadan işleyen bu çark, doğal ekosistemlerde olduğu gibi, kent ekosistemleri için de sürekli işler halde tutulmalıdır. Kentlerde mümkün olduğunca üretici (bitki) sayısı çoğaltılmalı, yeşil alanlar arttırılmalı, doğa kurallarına uygun plan ve mimarilerin uygulanması sağlanmalıdır (Işık 2014).

Artan nüfusun getirisi olarak yoğun kentleşme sonucu yeşil alanların azalması ve toprak alanların maliyetinin artması, buna karşılık yeşil alanlar; konutlar, fabrikalar ya da gri altyapıya kıyasla ekonomik anlamda daha az kazanç sağladığı için, konu ekonomik olarak da bir çatışmaya sebep olmaktadır (Catalano ve Baumann 2017). Kentlerdeki alanlara olan taleplerin yanı sıra sosyal alanlar açısından duyulan eksiklik, çevremizdeki uygun olan her türlü alanın değerlendirilmesinin gerekliliği düşüncesi ile binaların çatılarının önem kazanmasına yol açmaktadır.

Bina çatılarının, hem kullanım amacına göre ek bir alan sağlaması (sosyal alan, fotovoltaik paneller ile güneşten enerji üretimi, tarım uygulamaları vb.) hem de kent ekosistemine kattığı olumlu getirilerinin yanı sıra enerji verimliliği açısından da önemli

rol oynadığı bilinmektedir. Hem sıcak iklim hem de soğuk iklim koşullarında, amaca uygun yalıtım ile binaların çatı yüzeylerinin değerlendirilmesi, bina enerji verimliliğini arttırmak için uygun bir yöntem olarak düşünülebilir.

Sürdürülebilir mimarinin ana elemanlarından ve kentsel yeşil altyapıdan biri olan yeşil çatılar, yoğun kentleşmelerde, koruma ve bağlantı/habitat talebine cevap verebilir. Sığ bir toprak örtüsü ve çok çeşitli bitki örtüsü varlığına sahip olan yeşil çatılar, kentlerin istikrarlı büyümesinin neden olduğu yeşil alan kaybını azaltmak için olası bir önlem olarak önerilmektedir (Braaker vd. 2014).

Yeşil çatılar, binaların enerji verimliliği, yağmur suyu drenajı, hava kirliliğini, gürültüyü ve elektromanyetik radyasyonu azaltıcı etkisi, rekreasyon alan temini, yerel mikro iklimin düzenlenmesi ve kentsel ısı adasının etkisinin azaltılması, flora ve fauna için habitat sağlanması, kentsel ekolojik ağın uygulanması, havadan gelen partiküllerin filtrelenmesi, çatı membranının korunması gibi ekolojik, teknik, ekonomik ve sosyal bir çok işleve sahiptir.

Kentler aslında, yeşil çatılar yardımıyla, doğal döngüleri ve kayıp ekosistem hizmetlerini yeniden tesis etmek için habitatlar sağlarken bir yandan da Fotovoltaik (PV) paneller ile enerji üretebilmektedir (Catalano ve Baumann 2017).

İki ayrı çatı uygulaması olarak yeşil çatı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten Fotovoltaik (PV) sistemlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan, yeni bir yaklaşım türü olan, bu çatılar "Biyosolar Çatılar" olarak adlandırılmaktadır. Biyosolar çatılardan "Yeşil Çatı + Fotovoltaik Panel", "Yeşil Çatı-PV", "Yeşil Çatıya Entegre Fotovoltaik" ya da "Fotovoltaik Yeşil Çatılar" olarak da bahsedildiği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, "Biyosolar Çatı" ifadesi kullanılacaktır.

Biyosolar çatı kavramı, bir yeşil çatı ve ekim alanı üzerine sabitlenen fotovoltaik (PV) panelleri birleştirmektedir. Çatıdaki bitkiler, PV altında sıcaklığın düşmesine yardımcı olarak PV performansında iyileştirme sağlamıştır (PV paneller ısındıkça verimlilikleri düşmektedir). Bitkiler sayesinde, PV panellerin aşırı ısınması önlenmiş, bu da PV'lerin elektrik üretimini %1,2-5,3 oranında arttırmıştır (Nagengast vd. 2013, Chemisana ve Lamnatou 2014).

Buna ilaveten, havadan gelen toz gibi parçacıkların PV paneller üzerinde toplanarak birikmesi de panel verimini düşürmektedir. Yeşil çatılar polen ve alt katman aşınmasından kaynaklı bir miktar parçacık kirliliği yaratsa da, yeşil çatıların etkisi dışarıdan gelen parçacıkların emilerek panel üzerinde birikebilecek parçacıkların azalmasını sağlamaktadır (Tan ve Sia 2005). Yeşil çatıdaki bitkilerin, toz ve parçacıkların tutulmasını sağlamaları ile PV panellerin kirlenme süreci gecikecek ve bu da PV panellerin verimini arttıracak aynı zamanda daha geç temizlik gerekeceğinden bakım maliyetini düşürecektir. Yapılan araştırmalar, bitkilerin PV verimliliğini arttırmasının yanı sıra, PV panellerin de bitkiler üzerinde olumlu etkileri olduğunu değerlendirmektedir.

PV panelleri, gölge sağlayarak toprak nemini artırmaktadır. Ayrıca panellerde toplanan çiy, paneli çevreleyen yoğun alanlarda damlayarak nem heterojenitesini arttırmakta ve çeşitli bitkilere uygun mikro habitatlar oluşturmaktadır. PV panelleri ayrıca bitkileri rüzgârdan koruyacak ve potansiyel olarak bitki büyümesini artıracaktır. Paneller rüzgâra karşı korunak oluşturarak, tohumların çatıdan dağılmasını engelleyerek yıllık bitki popülasyonlarının bir çatı üzerinde yıldan yıla korunmasını teşvik edebilmektedir (Schindler vd. 2016).

PV panellerinin yeşil çatıdaki bitkilere faydalı olduğu, yeşil çatıların ise PV panellerinin verimliliğini arttırdığı bu karşılıklı fayda sağlayan biyosolar çatılar, çevre dostu teknolojinin yeni gelişimlere entegre edildiği başarılı bir uygulamadır. Biyosolar çatıların hem kentlerin kalitesinin arttırılmasında ve kent ortamında mikro habitatlar oluşturulabilmesinde, hem de PV panellerinin verimliliklerinin arttırılarak enerji üretimi ile binaların yalıtımlarının arttırılarak enerji verimliliğinin sağlanmasında katkı sunacakları değerlendirilmektedir.

Bu tez incelemesi kapsamında, biyosolar çatı kavramı ile binaların kendi kendine yeterli enerji sağlama olanağının yanı sıra çevreye duyarlı bir tasarım oluşturulması amaçlanmaktadır.

Biyosolar Çatı uygulamalarının peyzaj mimarlığı açısından değerlendirildiği bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır.

Giriş bölümünde, kısaca artan nüfus ve enerji tüketiminden bahsedilerek, yeşil çatı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten Fotovoltaik (PV) sistemlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan biyosolar çatıların, iki ayrı çatı uygulaması olarak karşılıklı faydalarına değinilmiştir.

Kuramsal temellerden oluşan ikinci bölümde konuyla ilgili hem enerji alanındaki hem de yeşil çatı konusundaki temel kavramlar ile biyosolar çatı kavramı incelenmiştir. Biyosolar çatıyı oluşturan güneş enerjisi ile yeşil çatıya ilişkin kavramların incelenmesi biyosolar çatının daha iyi anlaşılmasını sağlayacağı için bu kavramların üzerinde detaylı bir şekilde durulmuştur. Üçüncü bölümde araştırmanın materyal ve yöntemi anlatılmış, dördüncü bölümde hem yeşil çatıların hem de biyosolar çatıların örnekleri ve faydaları incelenmiş, biyosolar çatılar üzerinde yapılan araştırmaların sonuçlarına değinilmiş ve Ankara koşullarında, biyosolar çatılarda kullanılabilecek bitkiler listelenmiştir. Araştırma sonuçlarının verildiği 5.bölümde ülkemizde biyosolar çatıların kullanımlarına yönelik öneriler ile kısa, orta ve uzun vadede neler yapılabileceğine ilişkin görüşlere ilişkin bir çizelge oluşturulmuş, ayrıca Ankara'da örnek bir biyosolar çatı peyzaj projesi geliştirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Yeni bir yaklaşım türü olan, "Biyosolar Çatılar"a ilişkin, öncelikle güneş enerjisi, PV teknolojisi açıklanarak, çatı yöntemlerine değinilecek ve yeşil çatı sistemleri ile biyosolar çatı sistemleri detaylandırılacaktır.

2.1 Enerji Kaynakları

Enerji, modern insanın gündelik yaşantısını sürdürebilmesi için en temel gereksinimlerinden biridir. Endüstrileşme öncesi çağlarda, enerji gereksinimleri doğada mevcut olan odun, rüzgâr, su gibi temel kaynaklar ile insan ve hayvanların kas gücünden karşılanmıştır. Kömürle çalışan buhar makinelerinin bulunuşu ile enerji kaynakları da değişiklik göstermiştir. Günümüz çağında ise kömür, petrol, doğal gaz, hidroelektrik santralleri ile nükleer santraller başlıca enerji kaynaklarıdır (Soylu ve Türkay 2005).

Enerji, uygarlığımızın temelidir, üretim ve tüketim ile kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini gösteren en geçerli göstergedir (DEK-TMK 2009). Bunun yanı sıra, enerji, siyasetin de yönünü belirleyen bir girdi olup, ülkelerin ekonomik gelişmelerinde de önemli bir rol üstlenmektedir. Enerji kaynakları, yenilemez ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.1.1 Yenilenemez enerji kaynakları

Petrol, doğal gaz ve kömür en temel enerji kaynakları olup çoğunlukla karbon temellidir ve yenilenmeleri çok uzun bir süre aldığından yenilenemez enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır.

- **Petrol**

Petrol, hidrojen ve karbondan oluşan ve içerisinde az miktarda nitrojen, oksijen ve kükürt bulunan çok karmaşık bir bileşim olup, normal koşullarda gaz, sıvı ve katı halde

bulunur. Gaz halindeki petrol, imal edilmiş gazdan ayırt edilmesi için çoğunlukla doğal gaz olarak adlandırılır. Ham petrol ve doğal gazın ana bileşen elementleri hidrojen ile karbon olduğu için bunlara "hidrokarbon" da denmektedir. 2018 yılı dünya ispatlanmış petrol rezervi 1.729,7 milyar varil olarak tespit edilmiş olup, 2018 yılında dünya petrol üretimi 94,7 milyon varil/gün 'e ulaşmıştır. Ham petrol, birincil enerji kaynakları arasında stratejik konuma sahiptir ve 2018 yılı itibarıyla dünya birincil enerji talebinin %31,4'ünü karşılamıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2020a).

- **Doğal gaz**

Doğal gaz bir petrol türevi olup; yanıcı, havadan hafif, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Başta metan (CH_4) ve etan (C_2H_6) olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Doğal gaz, kaynağından çıkarıldığı haliyle herhangi bir işlemden geçirilmeksizin kullanılabilmekte olup, boru hatları ile ya da sıvılaştırılarak tankerlerle taşınabilmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2020b)

- **Kömür**

Kömür yanabilen ve daha önceden oluşmuş kayaçların parçalanması, taşınması, çökelme ortamlarında biriktirilmesi ve taşlaşmasıyla ya da geçmişte yaşamış organizma parçalarından oluşan organik bir kayadır. Linyit, ısıl değeri düşük, barındırdığı kül ve nem miktarı fazla olduğu için genellikle termik santrallerde yakıt olarak kullanılan bir kömür çeşididir. Taşkömürü ise yüksek kalorili kömürler grubunda yer almaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2020c).

Endüstriyel faaliyetlerin artması ile yukarıda sayılan petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıt bağımlılığı artmakta ve bunların kullanımı sonucu da atmosferde başta karbondioksit olmak üzere, sera etkisi oluşturan gazların miktarı da artmaktadır. Sera etkisi de dünyanın ortalama sıcaklığını tehlikeli bir biçimde etkilediğinden, enerji sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen öncelik artmıştır.

Bunun yanı sıra, ülkemiz petrol ve doğal gaz kaynakları açısından büyük ölçüde dışa bağımlıdır. Yerli enerji kaynakları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılmasıyla ülkemizin dışa bağımlılığı azaltılabilir. Ülkemiz güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal kaynakları açısından büyük potansiyele sahiptir.

2.1.2 Yenilenebilir enerji kaynakları

Doğada sürekli var olan ve yenilenebilir kaynaklardır. Bu kaynaklara; güneş, rüzgâr, hidroelektrik, hidrojen, dalga, jeotermal kaynaklar ile biyokütle örnek verilebilir.

- **Güneş enerjisi**

Güneş enerjisi, kurulum ve kullanım kolaylığı olmasının yanı sıra çevre dostu olması ve zararlı atık oluşturmaması gibi özelliklere sahip bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ülkemiz, coğrafi konumu sayesinde yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2020d).

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ışıma enerjisidir. Çok yüksek sıcaklıklarda, hafif elementlerin birleşmesiyle büyük ısı çıkaran nükleer reaksiyon anlamına gelen termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında enerji yayılmakta olup, güneşin tüm yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Dünyaya güneşten, 150 milyon km kat ederek gelen enerji, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır (DEK-TMK 2009).

Güneş enerjisinin; çevre dostu olmasının yanında potansiyeli ve kolay kullanım sağlaması açısından, daha kolay bir şekilde yaygınlaşabileceği değerlendirilmektedir.

Tez çalışması kapsamında, bu bölüm içinde (Bölüm 2.20), güneş enerjisine ilişkin detay bilgilere de yer verilecektir.

- **Rüzgâr enerjisi**

Rüzgâr, güneş kaynaklı radyasyonun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Daha önceden de belirtildiği gibi; yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığı, nemi ile basıncının farklı olmasına sebep olmakta, bu farklılıklar da havanın hareketine neden olmaktadır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si kadarı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik göstermektedir. Rüzgâr hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilmekte olup, rüzgâr hızı yükseklikle artmaktadır. Çevre dostu temiz bir enerji kaynağı olması, tükenme ve zamanla fiyatının artma riskinin olmaması, maliyetinin günümüzdeki güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye gelmesi, bakım ve işletme maliyetlerinin düşük olması ile işletmeye alınmasının kısa sürede gerçekleşmesi gibi üstünlükleri de bulunmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2020e).

- **Hidrolik enerji**

Hidroelektrik Santraller (HES) akan suyun gücünü elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış ya da düşüş hızı tayin etmektedir. Büyük bir nehirde akan su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Ya da su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilmektedir. Her iki yolla da kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akmakta ve elektrik üretimi için pervane gibi kolları olan türbinlerin dönmesini sağlamaktadır. Türbinler jeneratörlere bağlı olup, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir (Anonim 2020a).

Hidroelektrik santraller; çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir, verimi yüksek, yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü olan, işletme gideri oldukça düşük ve dışa bağımlı olmayan yerli bir güç kaynağıdır. Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları sebebiyle tercih edilmekte olup, ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyeli içerisinde de en önemli yeri tutmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2020f).

- **Hidrojen enerjisi**

Hidrojen enerjisi, doğada bileşikler halinde bulunan hidrojen gazının işlenmesi ve dönüştürülmesi ile oluşan enerji kaynağıdır. Doğal enerji kaynağı olmamasına rağmen, sürdürülebilir ve alternatif enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Anonim 2020b).

- **Dalga enerjisi**

Okyanus enerjisi ya da deniz dalgası enerjisi olarak da bilinen dalga enerjisi, dalgalar tarafından çekilen güçtür. Dalga enerjisi en temelde ise okyanus su yüzeyinde rüzgârın eylemiyle üretilen yoğunlaşmış bir güneş enerjisidir. Yoğun güneş ışınları atmosfere çarptığında ısınmaktadır. Dünyanın atmosfere çarpan güneş ışınlarının yoğunluğu, dünyanın farklı yerlerinde önemli ölçüde değişmektedir. Dünya genelindeki atmosferik sıcaklığın bu dengesizliği de atmosferik havanın sıcak bölgeden soğuk bölgelere gitmesine ve rüzgârların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Rüzgârlar, deniz yüzeyine çarparak enerjiyi dalgalara aktarmaktadır. Enerji çıkışı dalga hızı ve boyu ile su yoğunluğuyla ölçülmektedir. Dalgalar ne kadar güçlü olursa, güç üretme yeteneği de o kadar yüksek olacaktır. Yakalanan bu enerji, sonrasında elektrik üretimi, tesislere güç sağlanması ya da su pompalaması için kullanılabilmektedir. Dalga enerjisi, atmosfere sera gazları vermeyen ve çevre kirliliğine yol açmayan temiz bir enerji kaynağıdır (Anonim 2020c).

- **Jeotermal enerji**

Jeotermal enerji, yerkabuğunun derinliklerinde biriken ısı sonucu oluşan sıcaklıkların, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan ve çevresinde bulunan yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineral, çeşitli tuzlar ve gaz içerebilen basınç altındaki sıcak su ve buhar yolu ile yüzeye taşınan ısıdır (Anonim 2020d).

Ülkemizde elde edilen jeotermal enerjiden elektrik üretimi, sera ve konutların ısıtılması, termal ve sağlık turizmi, endüstriyel mineral eldesi, balıkçılık ve meyve sebze

kurutulması gibi alanlarda yararlanılmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2020g).

- **Biyokütle enerjisi**

Biyokütle, bir tür ya da çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip oldukları toplam kütle olarak tanımlanmaktadır. Biyokütle, organik karbon olarak da kabul edilmektedir. Başlıca bitkisel biyokütle kaynaklar; kanola, ayçiçek, soya gibi yağlı tohumlu bitkiler; patates, buğday, mısır, şekerpancarı gibi şeker ve nişasta bitkileri; keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus gibi elyaf bitkileri; bezelye ve fasulye gibi protein bitkileri; dal, sap, saman, kök ve kabuk gibi bitkisel ve tarımsal artıklardır. Enerji ormanları ve enerji bitkileri ile çeşitli ağaçlar gibi odun ve orman atıkları da orman ürünlerinden elde edilen biyokütle kaynaklarıdır. Hayvansal biyokütle kaynaklarına ise; sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar örnek verilebilir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2020h).

Artan nüfus ve endüstrileşme faaliyetleri ile paralel olarak artan enerji gereksinimi sonucunda doğadaki mevcut enerji kaynaklarının azalması, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesini gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, petrol, doğal gaz, kömür gibi karbon temelli kaynakların azalması sonucu fiyatlarının artması ile bu kaynakların kullanımı sonucu ortaya çıkan gazların çevreyi tehdit etmesi de bizleri çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Yenilebilir enerji kaynakları, çevreci şekilde enerji sağlayarak karbon salınımını azalttığı için günümüzde oldukça önem kazanmıştır.

Biyosolar Çatıyı oluşturan temel elemanlardan birisi de güneş enerjisi ile çalışan PV paneller olduğundan güneş enerjisi teknolojileri ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten fotovoltaik (PV) enerji sistemlerine ayrıntılı olarak değinilecektir.

2.2 Güneş Enerjisi Teknolojileri

2.2.1 Güneş sisteminin enerji kaynağı güneş

Geçmişte ve günümüzde kullanılan tüm enerjilerin kaynağı güneştir. Güneş, milyarlarca yıldır dünyanın ısı ve ışık kaynağıdır. Yarıçapı 6.9555x105 km olup dünyanın çapının 109 katıdır. Güneşin Dünya'ya uzaklığı ortalama 149.600.000 km uzaktadır (Yaklaşık 150 milyon kilometre) (Özgün 2015).

Evrimsel evrenbilimsel süreçte karbon atomunun oluşması ile başlayan organik maddeler, güneş ışınlarından soğurduğu enerjiyi fotosentez yaparak gövdelerinde, dallarında ve yapraklarında depolamıştır. Jeolojik devirlerde tüm organik yapılanmalar yani canlılar, çeşitli fiziksel, kimyasal ve jeolojik değişimler sonucu yerküreyi meydana getiren katmanların altında kalarak fosil yakıtlar olarak da bilinen kömür, petrol ve doğalgazı oluşturmuştur. Yani, kömür, petrol ve doğal gaz güneş enerjisinin şekil değiştirmiş halleridir. Fosil yakıtların yanı sıra rüzgârı meydana getiren de güneştir. Karaların ısınma ısısı denizlerin ısınma ısısından yüksektir. Bunun sonucunda da karalar denizlere göre daha hızlı ısınmaktadır. Karaların üzerindeki hava ısındıkça yükselirken yoğunluğu düşmekte ve boşluk oluşturmaktadır. Denizler karalara göre daha geç ısındığı için, denizin üzerindeki hava, kara üzerinde oluşan boşluğu doldurmak amacıyla karalara doğru hareket etmekte ve bu hareketin sonucunda da rüzgâr oluşmaktadır (DEK-TMK 2009).

2.2.2 Güneş enerjisinin tarihi

İnsanlar, güneş enerjisini eski çağlardan beri kullanmaktadır. İlk olarak M.Ö.400'lü yıllarda Sokrates evlerin cephelerinin güneşe bakmasını teşvik ederek, ısı ve ışıktan yararlanma yoluna gitmiştir. 1600'lü yıllara gelindiğinde ise Galileo Galilei'nin merceği bulmasıyla güneşin kullanımında farklı bir noktaya gelinmiştir. 1725 yılında ise, hidrolik ve balistik biliminin gelişiminde önemli bir mühendis olan Bernard Forest de Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası icat edilmiş, bu sayede güneş enerjisine bağlı olarak bir araç üretilmiştir (Anonim 2020e).

İsviçreli bilim adamı Horace de Saussure, 1767 yılında dünyanın ilk güneş kolektörünü yapmıştır. Güneş kolektörleri, güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran aygıtlardır. Sonrasında ise bu kolektör, 1830 yılında Sir John Herschel tarafından Güney Afrika'da yemek pişirmek için kullanılmıştır. İskoç bilim adamı Robert Stirling 27 Eylül 1816'da icat ettiği makine, sonraki zamanlarda Çanak/Stirling sistemi adı verilen güneşin ısıl enerjisini elektrik üretmek için yoğunlaştıran güneş ısıl elektrik teknolojisinde kullanılmıştır. 1839'da Fransız fizikçi Alexandre-Edmund Becquerel iki metal plaka arasındaki elektrik akımı şiddetini gözlemleme yoluyla ışık şiddetini ölçebilen bir cihaz ile fotovoltaik etkiyi keşfetmiştir (DEK-TMK 2009).

Fransız bilim adamı Mohuckok, güneş enerjisi ile su pompası çalıştıran Belidor'dan esinlenerek, 1860 yılında parabolik aynaların yardımı ile güneş ışınımını odaklayarak küçük bir buhar makinesi icat etmiş, ayrıca güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde de çalışmalar yapmıştır. Eski saraylarda çok sayıda ayna kullanımı da güneş enerjisinden yararlanmanın örneğidir (Anonim 2020e).

Işığın (fotonlar), elektriğe (gerilim) dönüştüğü süreç olan fotovoltaik (fotoelektrik) etkiyi keşfeden Becquerel'in bu dönüşüm süreci güneş ışığının ancak %1'ini elektriğe çevirebilmekte, yani verimi %1'di. 1873 yılında İngiliz bilim adamı Willoughby Smith selenyumun fotoiletken olduğunu bulmuş, 1877 yılında yine İngiliz bilim adamları W.G. Adams ve R.E. Day katı selenyumdaki fotovoltaik etkiyi gözlemleyerek bu konuda bir makale yazmışlardır. Adams, 1878 yılı sonlarında, düz aynaların güneşin hareketini izlemek için bir grup olarak dönme hareketi yaparak, sabit bir kazana güneş ışınlarını yoğunlaştıracakları sistemi önermiş ve bunu uygulamaya geçirmiştir. Bu sistem tasarımı, güneş ışınlarını bir kuleye odaklayarak enerji üreten sistemler olan güneş kulesi kavramının temelini oluşturmaktadır. 1884 yılında Amerikalı Charles Fritts, verimi %1 olan ilk güneş pilini yapmıştır. Güneş pilleri alanındaki çalışmalar sürmüş ve 1888 yılında Aleksandr Stoletov, fotoelektrik etkiye dayalı ilk güneş pilini yapmıştır (DEK-TMK 2009).

1885'de, Fransız mühendis Charles Tellier evinin çatısında bugün kullanılanlara benzeyen, 10 adet levhadan oluşan düz levha kolektörler yerleştirmiş, oluşturduğu bu

sistem sonrasında, güneş-su pompasının, güneye bakan çatıya sahip evlerde uygulanabilir olduğunu ve levhaların sayısının arttırılarak sistemin büyütülüp, endüstriyel uygulamaların da mümkün olacağını vurgulamıştır. Tellier, 1889 yılında ise kolektörlerin üst kısmını camla kaplayarak ve altını yalıtarak verimlerini arttırmıştır. İsveç doğumlu olan ancak hayatının büyük bir kısmını Amerika Birleşik Devletleri'nde geçirmiş John Ericson, 1869 yılından itibaren yenilenebilir enerji konusunda çalışmaya başlamış, 1872 yılında da konik/çanak reflektör kullanarak güneş ışınlarını, kapalı bir haznenin dışardan ısıtılmasıyla oluşan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren makina olan Stirling moturuna yoğunlaştıran sistemi, 1883 yılında ise parabolik oluğu keşfetmiştir. Parabolik oluğun tasarımındaki avantajı güneşi doğrusal olarak izleyebilmesidir. Bu parabolik oluk sayesinde, 1912 yılında Frank Shuman, 45 kW gücünde bir güneş makinesini Mısır'da tesis etmiştir (DEK-TMK 2009).

1892'de Boston'lu Aubrey Eneas güneş makinesi deneylerine başlamış, 1900 yılında da dünyanın ilk güneş enerjisi şirketini (The Solar Motor Co.) kurmuştur. ABD'li girişimci Henry E.Willsie ise, çalışmalarının sonucunda, gündüz toplanan ısı ile gece çalışabilen, dünyanın ilk güneş makinesini yapmıştır. Albert Einstein'ın 1905 yılında yayımlanan Fotoelektrik Etki hakkında yazdığı makale, Einstein'a 1921 Nobel Fizik Ödülünü kazandırmıştır. 1920 ve 1930'lu yıllarda düz levha kolektörler kullanan güneş enerjili ısıtma sistemleri Florida ve Kaliforniya gibi ABD'nin güneşli eyaletlerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. 1946 yılında Russel Ohl'un çalışmasından sonra Pearson, Fuller ve Chapin 1954 yılında verimliliği %4,5-6 civarında olan ilk silikon güneş pilini yapmışlardır. Bunun yanı sıra, kömür ve petrol şirketleri, başarılı olduğundan, 1914 yılından sonra güneş enerjisiyle ilgili çalışmalar yaklaşık elli yıl duraklama yaşamıştır. 1970'li yıllarda küresel ısınma ve CO_2 emisyonlarının azaltılması konusunun gündeme gelmesinin akabinde temiz ve yenilenebilir enerji yeniden gündeme taşınmıştır. Bu gelişmelere ek olarak, güneş enerjisi teknolojisindeki düşen maliyetler ve artan verim sonucunda bu konudaki çalışmalar yeniden hız kazanmıştır. 1984 yılında Los Angeles'ta Luz Co. tarafından ilk endüstriyel tip enerji üretimi yapılmıştır. Kurulan parabolik aynalı sistem ile 354 MW'lık enerji üretimi sağlanarak 1990'lı yıllarda 10 MW'lık Kaliforniya'da ve 30 MW'lık Ürdün'de iki adet güneş kulesi sistemi kurulmuştur. 2000'li yılların başında güneş enerjisi konusundaki çalışmalar ve

yatırımlar artarak sürmüş, özellikle fotovoltaik üretimi büyük gelişme göstermiştir (DEK-TMK 2009).

2.2.3 Güneş enerjisi uygulama alanları

Güneş enerjisinden, termal enerji ve elektrik enerjisi olmak üzere iki değişik formda yararlanılmakta, güneş enerjisi uygulamaları ise fotovoltaik ve termal sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.2.3.1 Güneş kolektörleri

Ülkemizin güney bölgelerinde yaygın olarak kullanılan güneş enerjisi ile su ısıtma sistemleri konutların, otellerin ve sosyal tesislerin sıcak su gereksinimini karşılamak için kullanılan sistemlerdir. Ayrıca, üretilen ısıdan elektrik üretimi de mümkündür.

Güneş kolektörleri de güneş enerjisi kullanım sisteminin en önemli bileşenidir. Güneş Kolektör çeşitleri düz, vakumlu ve yoğunlaştırılmış kolektörlerdir.

- **Düz kolektörler**

Düz güneş kolektörleri belirli maliyet ve performans avantajları nedeniyle, uzun yıllar boyunca yaygın ve başarılı bir şekilde kullanılmış, ancak son dönemlerde daha etkin malzeme kullanan gelişmiş teknolojili kolektörler ön plana çıkmıştır. Düz güneş kolektörleri çok basit bir yapıya ve kolay anlaşılır bir sisteme sahiptir. Düz bir kolektör üzerine gelen direkt ve yayılı güneş ışınlarını, basit bir kutu içerisinde ısıya dönüştürür. Güneş ışınları, kapak camından geçerek emici yüzeye gelir ve burada emici yüzey tarafından emilerek içindeki akışkanı (su, silikon ya da hava) ısıtarak ısıya dönüştürülür. Akışkan olarak genellikle uygun maliyeti ve yüksek ısı kapasitesi nedeniyle su kullanılmaktadır ve kolektör çatıya, balkona ya da bahçeye yerleştirilebilir. Güneş ışınlarını izleme mekanizmaları gerektirmez. Kullanım alanları, güneş enerjili su ısıtma, kapalı alan ısıtma, endüstriyel süreçlerdeki ısı kaynağı, büyük ölçekli termal tesisler, apartmanlar, hastaneler, oteller, halka açık yüzme havuzları ve şirketlerdir. Güneş takibi

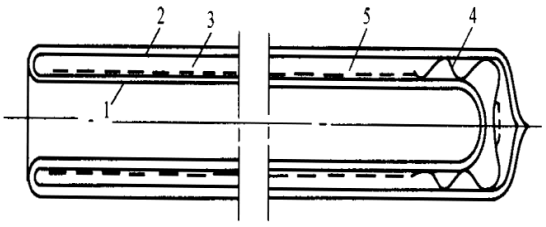
gerektirmemesi, bakım-onarım maliyetinin az olması ve mekanik yapısının diğer kolektörlere göre basit olması gibi avantajlara sahiptir (Lanying 2018) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Düz kolektörden su ısıtan sistem (Lanying 2018)

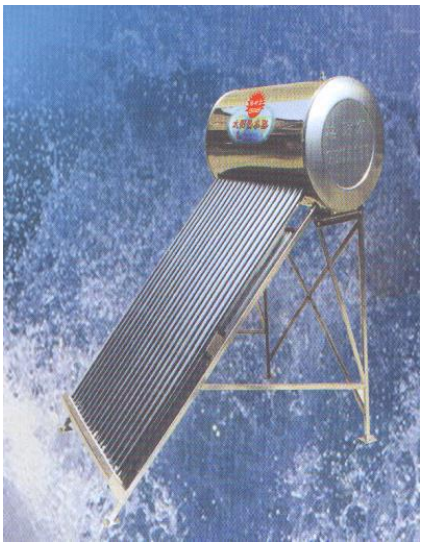
- **<u>Vakum tüplü kolektörler</u>**

Cam (vakum tüp) ve emici yüzey (alüminyum nitrür) arasındaki boşluğun vakumlanması ısı ile iletim (konveksiyon) kayıplarını azaltmak için etkilidir. En uygun vakumlama ve yalıtım ile ısı kaybı sıfıra indirilebilmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun kolektör tipi olup düşük sıcaklık uygulamalarında tercih edilmemektedir. Dış boru, çapı 25 mm'ye kadar olan darbeye karşı dirence dayanabilen son derece güçlü şeffaf borosilikat camdan yapılmıştır. İç boru da borosilikat camdan yapılmış ancak mükemmel güneş ısısı emilimi ve minimum ısı yansıma özelliklerine sahip olan özel bir seçici kaplama ile kaplanmış, iki borunun üst kısmı birbirine kaynaştırılmıştır. Hava, bir vakum oluşturmak üzere iki cam tüp arasındaki boşluktan çekilmektedir. Vakum iyi bir yalıtıcıdır ve dış ve iç boru arasındaki havanın boşaltılması konveksiyon kayıplarını azaltmak için etkilidir (Lanying 2018) (Şekil 2.2).



1-İç Tüp
2- Dış tüp
3- Vakum
4- Vakum Teli
5- Seçici Yüzey

Şekil 2.2 Vakumlu kolektör kesiti (Lanying 2018)



Şekil 2.3 Vakumlu kolektörden su ısıtan sistem (Lanying 2018)

- **Yoğunlaştırılmış kolektör**

Yoğunlaştırıcı güneş kolektörünün birincil avantajı, ısı kaybı alanının, yalıtım toplama alanından daha küçük olmasıdır. Bu, belirli bir faydalı çıkış sıcaklığı için daha yüksek verime ya da düz plaka güneş kolektörüyle elde edilen aynı verimlilik için daha yüksek bir sıcaklığa izin vermektedir (Lanying 2018) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Yoğunlaştırılmış kolektör (Lanying 2018)

2.2.3.2 Fotovoltaik (PV) sistemler

Fotovoltaik (PV) paneller, fotovoltaik hücrelerin seri ve paralel bağlanması ve dış etkenlere karşı korumalı bir çerçeve içine yerleştirilmesi ile oluşturulur. Fotovoltaik hücreler güneşten gelen değişik dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgalar olan

enerji yüklü fotonların yarı iletken içindeki elektronları uyarması ile elektrik üretimi sağlayan yapılardır (Özgün 2015).

Fotovoltaik; çeşitlendirilmiş teknolojisi ile yeni ürün ve teknoloji sunmaktadır. Üretim sürecinin olgunlaşması ile daha verimli güç üretimi sağlamakta, gelişen teknoloji sayesinde gün geçtikçe daha ucuz maliyetli olmaktadır. Daha kapsamlı uygulama özellikleri ile temiz güç elde etmenin en iyi yollarından biridir.

Fotovoltaik teknolojinin temeli silikondur. Silikonun hammaddesi SiO_2 (Silikondioksit) içeren kuvars taşıdır. Ham silikon ilk önce kumdan çıkarılır. Endüstriyel silikonun saflık oranı %95-99 arasında değişir ve demir, alüminyum gibi metaller içerebilmektedir (Shimin 2018) (Şekil 2.5).



$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO$$

Şekil 2.5 Kuvars kumunun elementel silisyuma indirgenmesi (Shimin 2018)

Güneş panellerinde kullanılan silikon %99,9999 oranında saflık gerektirdiğinden, bu saflık seviyesine ulaşılana kadar bir dizi kimyasal kademe ile silikon rafine edilmektedir. Silikon külçeler daha sonra saflaştırılmış erimiş silisyumdan büyütülmekte ve 150 - 200 mm çapındaki ve bir kredi kartının kalınlığındaki kalınlıktaki yuvarlaklara dilimlenmektedir (Shimin 2018).

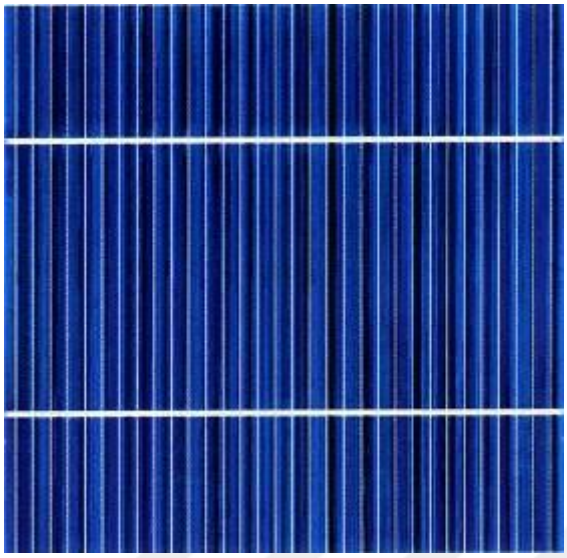


Şekil 2.6 Silikon ve silikon devre levhası üretim süreci (Shimin 2018)

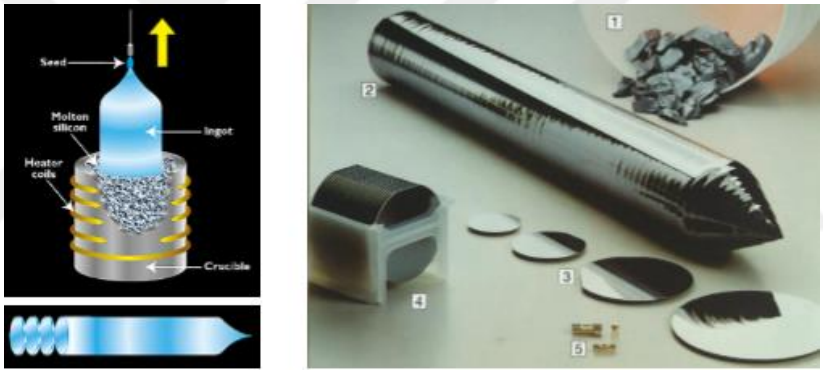
- **<u>Fotovoltaik (PV) panellerde kullanılan silikon türleri</u>**

- **Tek kristalli silikonlu (monokristal) güneş paneli**

Tek kristalli silikon yapımında en çok kullanılan teknik Czochralski Tekniği (tek kristalli malzeme üretme yöntemi) olup, tek kristal silikonun çekirdeği erimiş silisyumun tepesine temas etmektedir. Çekirdek yavaşça yükseltildiğinde, erimiş silikonun atomları, çekirdek modelinde katılaşmakta ve tek kristalli yapıyı genişletmektedir. Silikon külçe büyüdükten sonra ince dilimler halinde kesilmektedir. Laboratuvar verimi %20-23'dür. Avantajları; iyi kurulmuş ve test edilmiş teknoloji, kararlı sistem, kare şeklinde hücrelerde yapılabilmesi ve daha iyi güç yoğunluğudur. Dezavantajları ise; pahalı malzeme kullanımı ile silikon dilimleme atıklarıdır (Shimin 2018) (Şekil 2.7 ve 2.8).



Şekil 2.7 Monokristal güneş paneli (Shimin 2018)



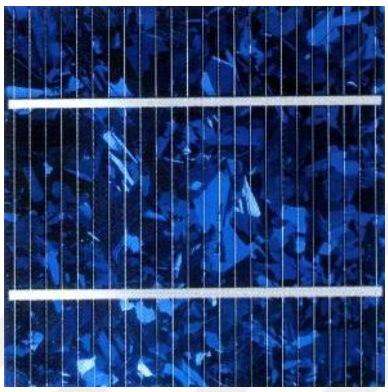
Şekil 2.8 Monokristal hücrenin kaynağı olan monokristal ingot (külçe) (Shimin 2018)

- **Çok kristalli silikonlu (polikristal) güneş paneli**

Çok kristalli silikonlu güneş panelleri, daha ekonomik olduğu için özellikle hane kullanımları için uygun bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Bunlar, birlikte eritilen ve daha sonra yeniden kristalize edilen bir dizi küçük silikon kristalinden yapılmaktadır. Laboratuvar Verimliliği, %18-23'dür. Avantajları; iyi kurulmuş ve test edilmiş teknoloji, istikrarlı verimlilik olup tek kristalli silikondan daha ucuzdur. Ayrıca, kare hücreler verimli paketlemeye izin vermektedir. Dezavantajları ise; pahalı malzeme

kullanımı ile dilimleme atıklarının yanı sıra, tek kristalli güneş panelinden biraz daha az verimli olmasıdır (Shimin 2018).

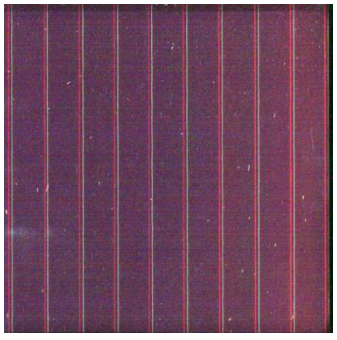
Monokristal hücreler, polikristal hücrelere göre daha koyu renktedir ve köşeleri kesik olup tek blok halinde üretilmiştir. Tek blok olduğundan kristal yapısı polikristal hücreye göre daha homojendir. Polikristal hücreler de daha kırçıllı bir görünüme sahiptir (Özgün 2015).



Şekil 2.9 Polikristal güneş paneli (Shimin 2018)

- **İnce film ya da amorf hücreli güneş panelleri**

Laboratuvar Verimliliği: % 13,5'tir. İnce film güneş panelleri piyasadaki en az verimli panellerdendir, ancak en ucuz seçenektir. Düşük ışıkta, hatta ay ışığında iyi çalışır ve ince bir filmde cam gibi başka bir malzemeye aktarılabilen kristal olmayan silikondan yapılmaktadır. Avantajları; düşük malzeme kullanımı, otomatik üretim potansiyeli, düşük maliyet için potansiyel barındırması ve gölgeden daha az etkilenmesidir. Dezavantajları ise; güç çıkışında belirgin bozulma, düşük verimlilik ve geniş alanlarda filmin bütünlüğünü korumanın zor olmasıdır (Shimin 2018).



Şekil 2.10 İnce Film güneş paneli (Shimin 2018)

- **Fotovoltaik sistemlerin çeşitleri**

- **Şebeke bağlantılı sistemler**

Güneşten gelen enerji fotovoltaik (PV) panellerde DC (doğru akım) elektrik akımına çevrilerek buradan invertere (dönüştürücü) gelir. Inverter DC akımı AC (alternatif akım) akıma çeviren elektronik bir cihaz olup, ayrıca şebeke koşullarını denetleyen merkezdir. Şebeke koşulları voltaj ve frekansın ülke standartlarına göre istenen limitler içerisinde olmasıdır. Şebeke bağlantılı inverterin çıkışından elde edilen AC akım yüklerin beslenmesinde kullanıldığı gibi fazla olan enerji mahsuplaşma yöntemi ile enterkonnekte şebekeye verilmektedir (Şekil 2.11). Bu sistemler, küçük evsel kurulumlardan santral tipi kurulumlara kadar çok geniş bir ölçekte değerlendirilmelidir (Özgün 2015).



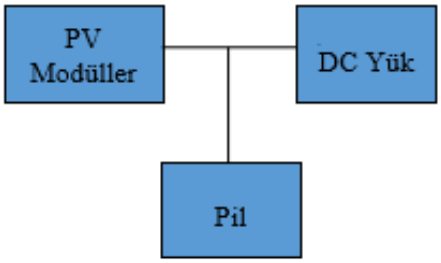
Şekil 2.11 Şebekeye bağlı PV sistem şeması (Shimin 2018)

- **Şebekeden ayrık sistemler**

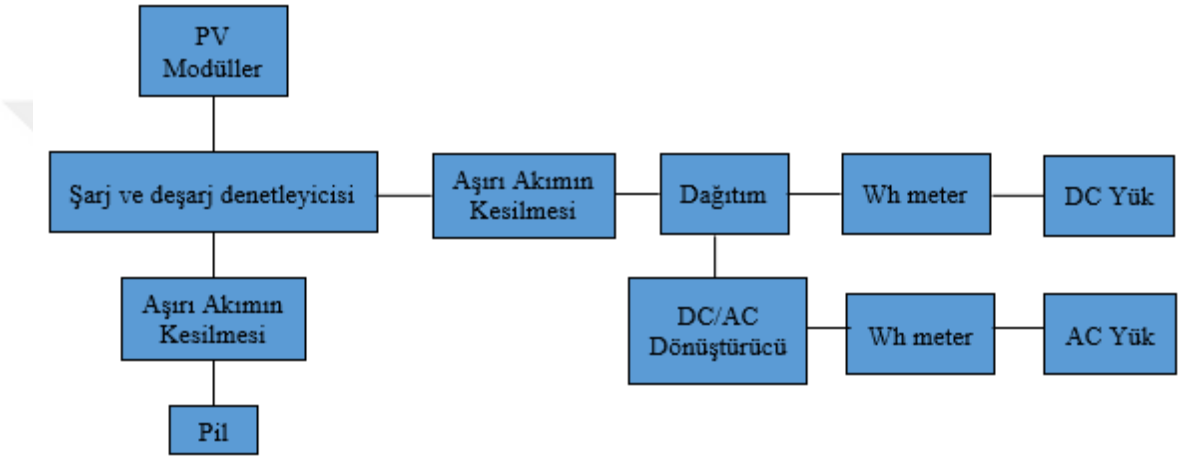
Şebekeden ayrık sistemler, şebekenin olmadığı bölgelerde enerji üretimi, depolanması ve kullanımı için tasarlanan sistemlerdir. (Şekil 2.12). Kullanım alanlarına ve enerji gereksinimlerine göre farklı teknolojiler geliştirilmişlerdir. Enerji üretimi talebinin olmadığı zamanlarda depolanarak, aküler/piller aracılığıyla daha sonraki kullanımlar için hazır bekletilebilirler (Özgün 2015) (Şekil 2.13 ve 2.14).



Şekil 2.12 Doğrudan bağlı PV sistem şeması (Shimin 2018)



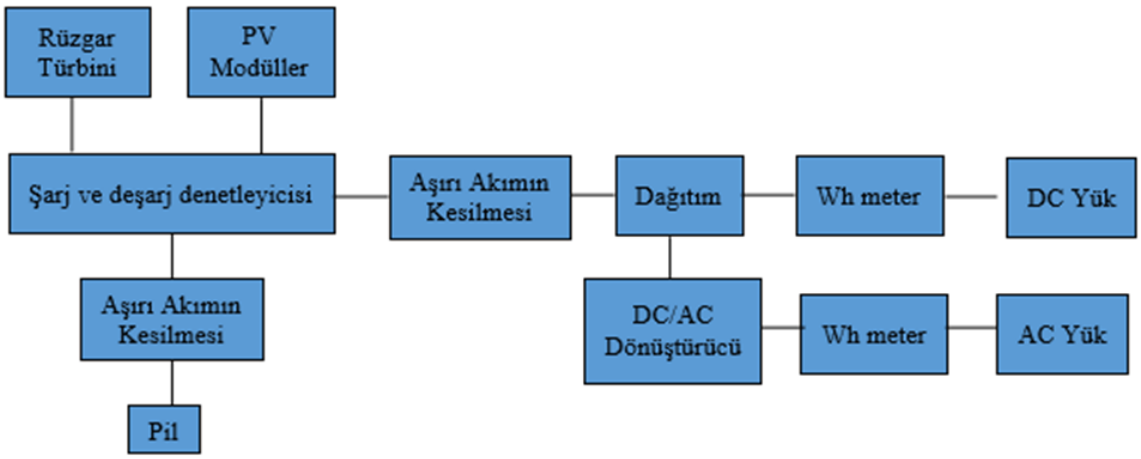
Şekil 2.13 Kendinden düzenleyici PV sistem şeması (Shimin 2018)



Şekil 2.14 Tam PV sistem şeması (Shimin 2018)

- **Hibrit sistemler**

Hibrit sistemler, enerji üretiminde güneş, rüzgâr, dizel jeneratör, hidroelektrik ve hidrojen enerjisi gibi farklı teknolojilerin bir arada kullanıldığı sistemlerdir ve tek bir enerji kaynağına bağlı olmadıkları için enerji güvenliği yönünden daha etkindir (Özgün 2015) (Şekil 2.15 ve 2.16).



Şekil 2.15 PV/Hibrit sistem şeması (Shimin 2018)



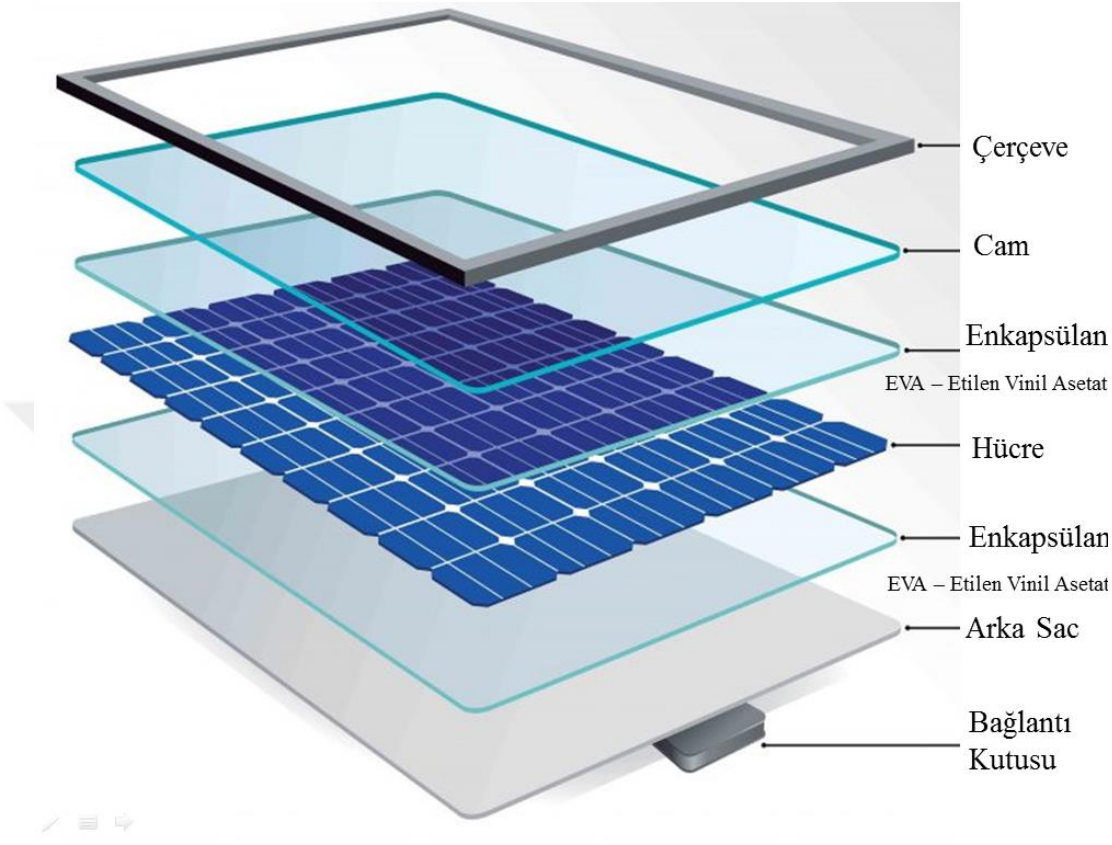
Şekil 2.16 PV ve rüzgâr hibrit sistemi (Shimin 2018)

- **<u>Fotovoltaik sistemin bileşenleri</u>**

- **Fotovoltaik panel**

Fotovoltaik hücrelerin seri ve paralel bağlanması ve dış etkenlere karşı korumalı bir çerçeve içine yerleştirilmesi ile PV paneller oluşturulmaktadır (Özgün 2015). PV paneller, uzun süre dış mekanda bulunacakları için fiziksel etkilere dayanımlı, su

geçirmeyecek ve korozyona uğramayacak özelliklerde üretilmeleri gerekmektedir. Şekil 2.17'de PV panel kesiti görülmektedir.



Şekil 2.17 PV panel kesit görünümü (The Renewable Energy Hub UK 2018)

- **Dönüştürücü (Inverter)**

Dönüştürücü, üretilen Doğru akımı (DC) Alternatif akıma (AC) çeviren ve fotovoltaik sistemin şebeke ile uyumlu çalışmasını sağlayan elektronik kontrol cihazıdır (Özgün 2015).

- **Sistemi koruyan elektriksel ekipmanlar**

Fotovoltaik sistemlerin güvenli çalışabilmesi, can ve mal kayıplarının önlenebilmesi için koruma ekipmanları kullanılmalıdır. Fotovoltaik sistemde kullanılacak olan elektrik koruma ekipmanları DC sigortalar, DC otomatik sigortalar, DC anahtarlı ayırıcılar, DC

Parafudr, AC Parafudr, AC otomatik sigorta, AC bıçaklı tip sigorta, artık akım anahtarı, şebeke besleme izleme rölesidir (Özgün 2015).

- **Kablolar ve elektriksel bağlantı elemanları**

Güneş enerjisi sistemleri için kullanılan kablolar, farklı dış ortam koşullarına dayanacak şekilde geliştirilmektedir. PV sistemlerin kurulumunda kullanılan kablolar, güç kabloları ve iletişim kablolarıdır. Ayrıca, PV sistemlerinde toprak elektrotları ve kabloları ile topraklama da yapılmalıdır (Özgün 2015).

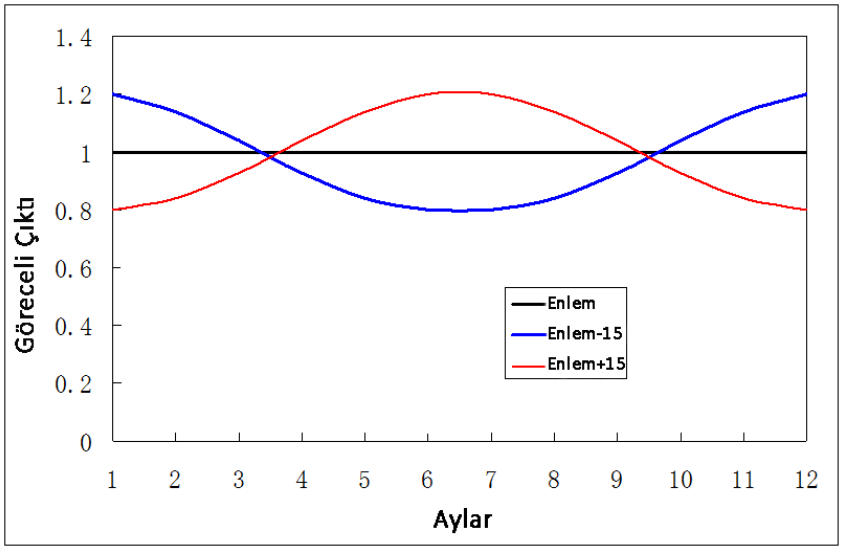
- **Enerjinin izlenmesi ve sayaçlar**

Enerjinin izlenmesi ve kontrolünün yapılması sistem performansını olumlu etkiler. PV sisteminin 25 boyunca yüksek verimle çalışması için izlenmesinin yanı sıra, enerji satışı ve mahsuplaşma koşulları için dağıtım şirketi ile yapılacak anlaşmada üretilen ve tüketilen enerjinin kesin olarak bilinmesi gereklidir. Dönüştürücüler üzerinden; toplam kWh cinsinden elektrik enerjisi üretimi, toplam çalışma süresi, saatlik, aylık ve yıllık enerji üretimi, hata mesajları, dönüştürücü çalışma sıcaklığı, karbon salınımında yaratılan azalma gibi birçok verileri okuyabiliriz (Özgün 2015).

- **<u>Fotovoltaik sistemlerin tasarımı</u>**

- **Yüzey eğimi**

Güneş enerjisinden maksimum yıllık enerji üretimi sağlamak için bulunulan konumun enlem açısı önem taşımaktadır. Kış aylarında güneş ışınları, enlem açısından 15 derece fazla daha yatay geldiği için yüzey alanının dikleştirilmesi, yaz aylarında ise güneş ışınları enlem açısından 15 derece az daha yatay geldiği için yüzey alanının yataylaştırılması faydalı değerlendirilmektedir (Shimin 2018) (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 PV yüzey eğim grafiği (Göreceli Çıktı/Ay) (Shimin 2018)

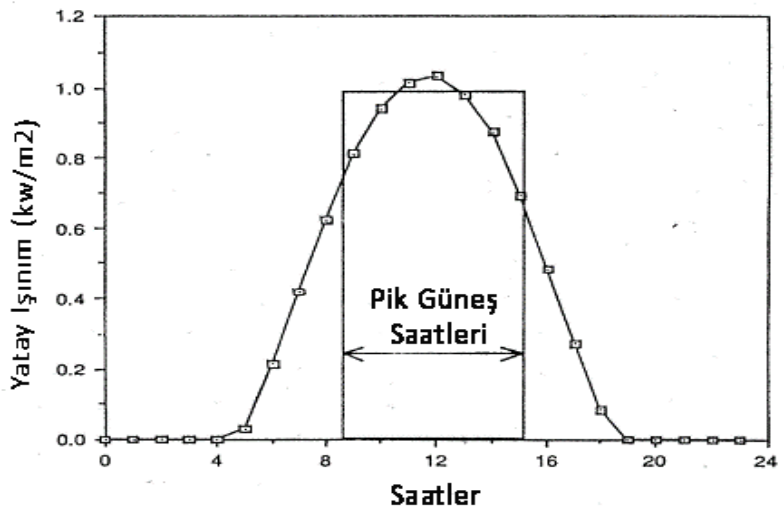
- **Pik güneş saatlerinin hesaplanması**

Güneş ışınlarının en dik açıyla geldiği saatlerin hesaplanması gerekmektedir (Shimin 2018) (Şekil 2.19).

H= I/1000

I: Günlük ortalama toplam güneş radyasyonu (W H/m^2)

H: Pik güneş saatleri (H)



Şekil 2.19 Pik güneş saati (Yatay Işınım/Saatler) (Shimin 2018)

- **Sistem boyutlandırma**

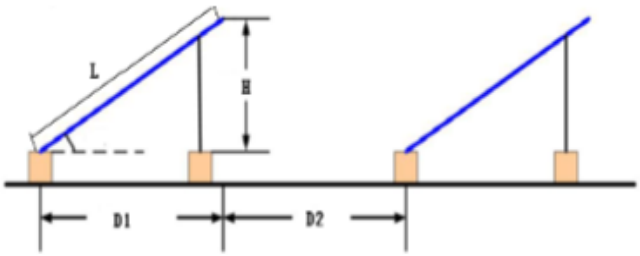
Elektrik mühendisleri tarafından PV dizisinin çıkış gerilimi, PV pik çıkış gücü, pil grubu voltajı, pil grubunun kapasitesi, pil şarj denetleyicisi boyutlandırmaları yapılmaktadır. Kötü bağlantılar yangın, çatlama, elektrik kaçağı gibi durumlara neden olabilmektedir (Shimin 2018) (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Kötü yapılan bağlantıların neden olduğu PV sistemindeki zararlar (Shimin 2018)

- **Paneller arası mesafe**

Güneş panelleri arasındaki mesafe, birbirlerine gölge düşürmeyecek şekilde optimum mesafe ve sırada dizilmelidir (Shimin 2018) (Şekil 2.21).



$$D = L\cos\beta + \frac{L\sin\beta\cos\gamma}{\tan\left[\arcsin\left(\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\omega\right)\right]}$$

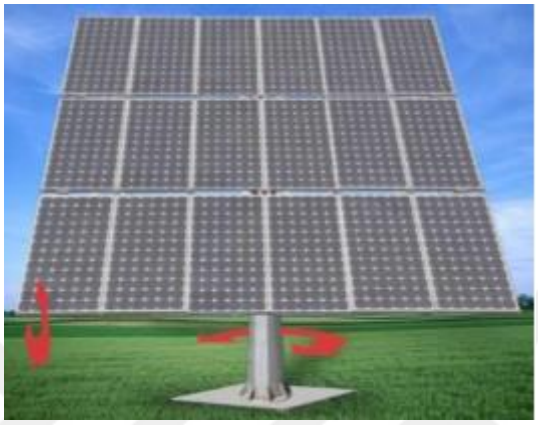
$$\delta = 23.45\sin\frac{2\pi d}{365}$$

Şekil 2.21 Paneller arası mesafe hesaplaması

Φ Enlem Açısı
Δ Güneş Sapma Açısı（Kış Gündönümü：-23.5°）
β Panel Eğim Açısı
ω Zaman Açısı: 15°/h （9:00-15:00 45°）
α Güneş Açısı
γ Panel yönelim açısı

- **Güneş takip sistemleri**

Bazı güneş panellerinde güneşin açısına göre tek yönlü ya da çift yönlü güneş takibi el ile ya da otomatik sistemler kullanılarak yapılabilmektedir. Güneş takip sistemleri ile güneş açısından en iyi şekilde yararlanılabilmektedir (Shimin 2018) (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Güneş takip sistemleri (Shimin 2018)

- **Kablo ve teller**

PV kablosu, anti-ultraviyole, yüksek ve düşük sıcaklık direnci, korozyon direnci ve alev önleyici performans gereksinimleri olmalıdır (Shimin 2018).

- **Devre kayıpları**

Bir PV güç istasyonu içindeki devre kaybı %5'ten daha az olmalıdır (Shimin 2018).

- **Topraklama**

PV modülü çerçevesi ve destekçisi yıldırımdan korunma için iyi topraklanmış olmalıdır (Shimin 2018).

- **Enerji üretimi**

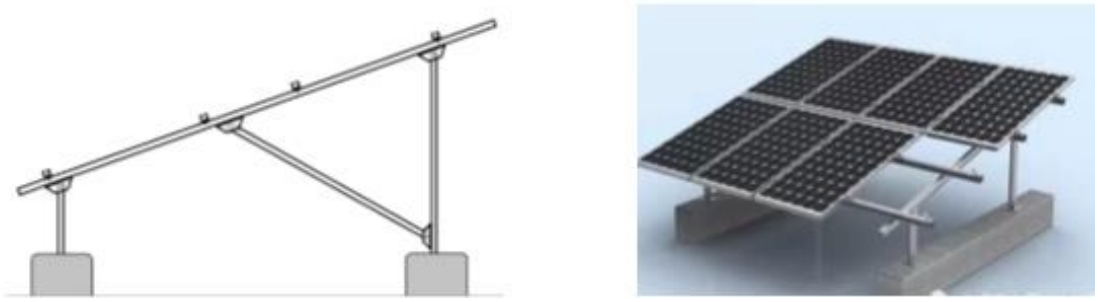
Büyük şebeke fotovoltaik enerji projeleri sistem tasarımı verimliliği yaklaşık %80'dir. (Toz ve kar örtüsü kaybı yaklaşık %4, düşük ışık kaybı yaklaşık %5, diğer kayıplar %5 civarındadır) (Shimin 2018).

$$Ep = H \times Pe \times K$$

H - Toplam güneş ışınım miktarı (kWh/m^2)
Ep - şebekeye bağlı olarak üretilen güç çıkışı (kWh)
Pe - Modüller Kurulu kapasite (kWp)
K - Genel verimlilik katsayısı

- **Destekleme sistemi**

Güneş panellerinin altında dengede durmasını sağlayan destekleme sistemleridir (Şekil 2.23). Beton, metal ayak vb. olabilir (Shimin 2018).



Şekil 2.23 PV destekleme sistemi örnekleri (Shimin 2018)

- **Bakım ve onarım**

Panellerin bakımında dikkat edilmesi gereken hususlar kısaca aşağıda belirtilmektedir (Shimin 2018).

- PV modüllerinin yüzeyindeki toz, güneş ışığını ve dolayısıyla fotovoltaik enerji üretimini doğrudan etkileyecektir (Şekil 2.24). Panellerin yüzeyi düzenli olarak tozdan, kuş pisliğinden vb. güneş ışığını engelleyenlerden arındırılmalı (Şekil 2.25),
- Dayanaklı ve sağlam temelleri olan destekleme sistemleri kullanılmalı ve paslanma önlenmeli,
- Topraklama sistemi denetlenerek panel sistemi bağlantıları gözlemlenmeli,
- Devre voltajlarının normal değerde olduğu kontrol edilmeli ve
- Elektrik üretim değerleri ile elektriksel aksamın çalışması izlenmelidir.



Şekil 2.24 Panel yüzeyindeki engelleyici faktörler (Shimin 2018)



Şekil 2.25 Panellerin temizlenmesi (Shimin 2018)

- **Panel kullanım ömürleri**

Genel olarak, kristalin silikon fotovoltaik panellerin kullanım ömrü 25-30 yıldır. Amorf silikon modülü ise 15-20 yıldan fazla olacaktır. Laboratuvar testlerine göre; kristalin silikon PV modülleri kurulumdan 50-100 gün sonra %2-3 civarında verimlilik kaybına uğramakta, sonrasında da yavaş yavaş her yıl % 0,5-0,8'lik bir düşüş izlenmektedir. Sonuç olarak, 20 yılda toplam verimlilik kaybı yaklaşık %10-20'dir (Shimin 2018).

- **Çeşitli fotovoltaik uygulamalar**

Kırsal bölgelerde yer alan hastaneler, okullar ve postaneler için PV güç istasyonu tasarımı ve yapımı, tek kristal silikon ve amorf silikon PV modülleri, piller, dönüştürücüler (invertörler), kontrolörler ve enerji tasarruflu ışıklar, 10W – 3.000W yerli PV güç sistemi ve eşleşen cihazlar, rüzgâr - PV hibrit güç sistemi, TV ve mikro dalga iletişimi için PV güç sistemi ve denetleyici, PV su pompalama sisteminin tasarımı ve kurulumu, sinyal lambası ve PV sokak lambası (Şekil 2.30), PV saatler, güneş fanlarına sahip şapkalar, PV radyolar, hesap makineleri vb. kullanımları ile güneş PV teknolojisi popülerleşmektedir. Fotovoltaik temel uygulamaları; elektrik üretimi (Şekil 2.27), telekomünikasyon (uydu alıcılar, TV istasyonları vb.) (Şekil 2.26), aydınlatma (ev içi, sokak, bahçe vb.), PV ile çalışan tulumba ve su pompası ile bazı araç ve gereçler (PV saati, radyolar, şarj cihazları vb.) (Şekil 2.29) gibi geniş bir kullanım alanını kapsamaktadır (Shimin 2018).

Aşağıdaki fotoğraflarda PV teknolojisinden çeşitli uygulamalar görülmektedir.



Şekil 2.26 PV destekli TV istasyonu, Tibet, 1990 (Shimin 2018)



Şekil 2.27 Rüzgâr/PV hibrid elektrik sistemi (Shimin 2018)



Şekil 2.28 Petrol boru hattı koruma sistemi PV istasyonu, 1996 (Shimin 2018)



Şekil 2.29 Diğer PV sistemli gereçler (Shimin 2018)



Şekil 2.30 PV destekli aydınlatma lambaları (Shimin 2018)



Şekil 2.31 Rüzgâr-PV hibrit sokak lambaları



Şekil 2.32 30 MW PV güç santrali, Gansu (Shimin 2018)



Şekil 2.33 20 MW PV güç santrali, Qinghai (Shimin 2018)

- **Çatı PV uygulamaları**

Çatı üzeri Güneş Enerji Sistemleri (GES), çatı üzerinde enerji üreterek maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Şekil 2.34). Çatı üzerindeki PV panellerde üretilen elektrik tüm tesisin elektrik gereksinimini karşılayabilmekte ve yenilenebilir enerji kullanımı sayesinde çevrenin korunmasını katkı sağlamaktadır (Shimin 2018).



Şekil 2.34 Çatı PV uygulama örnekleri (Shimin 2018)

- **Tarım ve hayvancılıkta PV uygulamaları**

Agrivoltaikler (APV) olarak da bilinen tarım ve hayvancılıktaki PV uygulamaları, hem güneş fotovoltaik gücü hem de tarım için aynı araziyi birlikte geliştirmektedir (Dinesh ve Pearce 2016) (Şekil 2.35 ve 2.36). Bu teknik ilk olarak 1981 yılında Adolf Goetzberger ve Armin Zastrow tarafından tasarlanmıştır (Goetzberger ve Zastrow 1982).

Agrivoltaikler, bazı ürünlerin sıcak ve kurak iklimlerde gelişmesine yardımcı olabilmektedir. Agrivoltaik sistemlerde, bitkiler ile güneş panelleri sadece toprak ve güneş ışığını paylaşmakla kalmayıp, aynı zamanda birbirlerinin daha verimli çalışmasına yardımcı olmaktadır (Mclendon 2019).



Şekil 2.35 Tarım ve hayvancılıkta PV uygulamaları (Shimin 2018)



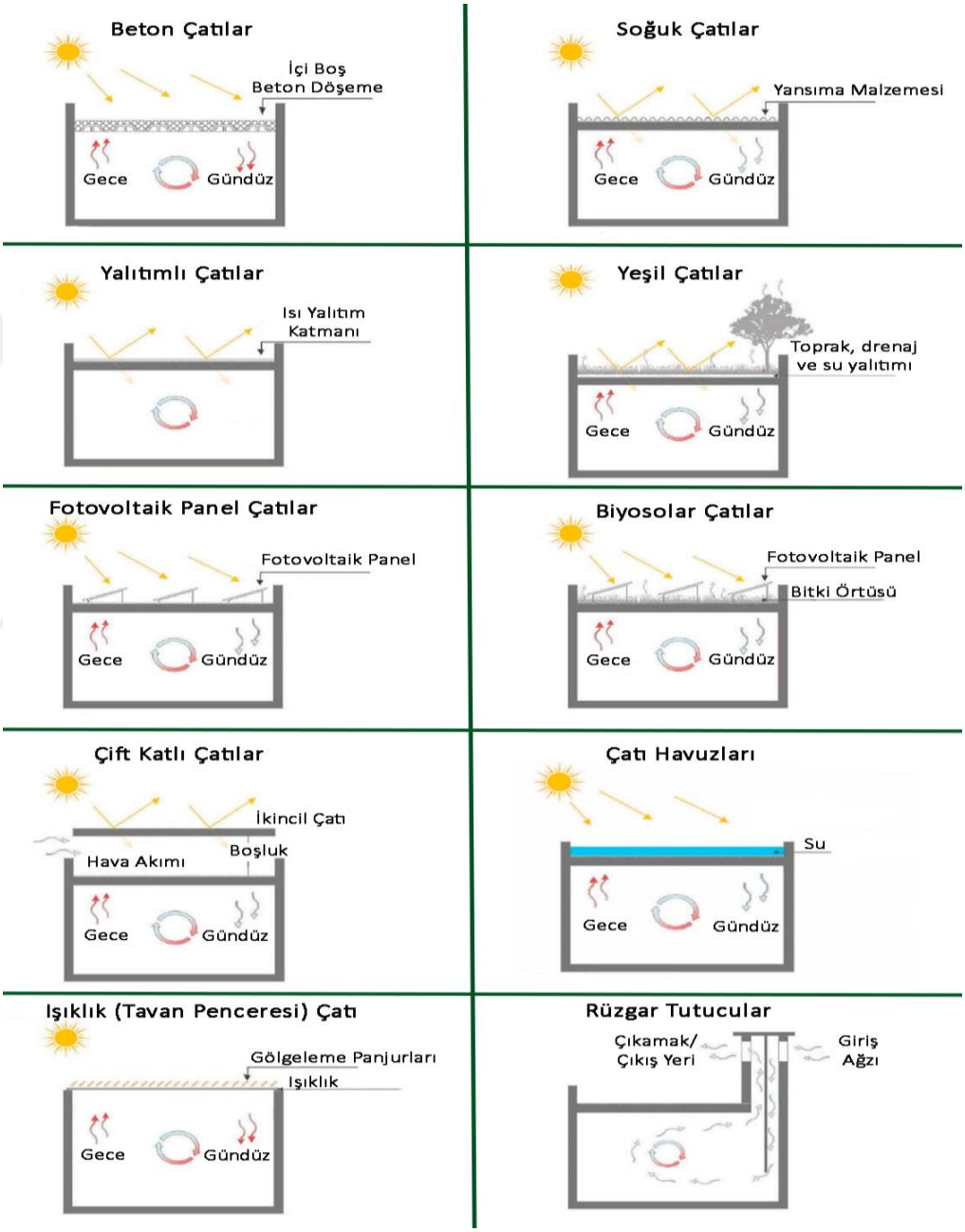
Şekil 2.36 Tarım ve hayvancılıkta PV uygulamaları (Shimin 2018)

2.3 Çatı Yöntemleri

Bina çatıları, binaların şekli, konumu, malzemeleri ve tasarım unsurları kadar, binaların enerji verimliliğinde önemli rol oynamaktadır. Sıcak iklimlerde çatılar ısıyı emerken soğuk iklimlerde de ısı enerjisi çatılardan kaybedilebilmektedir. Çatılar özelliklerine göre enerji açısından, hem avantaj hem de dezavantaj sağlayabilmektedir. Bu açıdan binalar tasarlanırken çatı yönteminin iklime ve amaca göre uygun olarak seçilmesi enerji verimliliğinin sağlanmasına fayda sağlayacaktır.

Geçtiğimiz yıllarda, termal konforu geliştirmek, binalardaki enerji performansını iyileştirmek ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak için bina çatılarıyla baş etmenin farklı yolları hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Birçok araştırmacı, binalardaki enerji performansını iyileştirmek amacıyla, çatıları inşa etmek için farklı sürdürülebilir yöntem ve uygulamalara değinmiştir. Bu yöntemlerden bazıları geleneksel, bazıları ise yalnızca son birkaç yılda tanıtılmıştır. Mevcut inşaat

tekniklerinin gözden geçirilmesine dayanarak, “beton çatılar”, “soğuk çatılar”, “yalıtımlı çatılar”, “yeşil çatı”, “fotovoltaik panelli çatı”, “biyosolar çatı”, “çift katlı çatı”, “çatı havuzları”, “ışıklık tavan” ve “rüzgâr tutucular” olmak üzere on çatı yöntemi tespit edilmiştir (Abuseif ve Gou 2018) (Şekil 2.37).



Şekil 2.37 Çatı yöntemleri (Abuseif ve Gou 2018)

2.3.1 Beton çatılar

Beton çatılar, geleneksel çatı tabakasıdır. En önemli çatılama yöntemlerinden olmasına karşın, yaz aylarında dış ısıyı emmekte kışın ise termal kayıplar oluşturabilmektedir (Abuseif ve Gou 2018). Beton karışımlarına plastik atık ve lastik eklenmesi beton sıcaklığının performansını etkilemeden ısıyı %10-19 azaltabilmektedir (Yeşilata vd. 2009).

Bazı araştırmacılar, iç kısımlara ulaşmadan önce bir eritme işlemi ile ısıtmanın etkisini azaltan, böylece ısıyı %40'a kadar düşürebilen faz değişim materyali kullanımını (PCM- Phase Change Material) getirmiştir. PCM'in ısıyı %15,9-17,3 oranında düşürdüğü bilinmektedir (Alawadhi ve Alqallaf 2011). Akdeniz ikliminde yapılan çalışmaya göre ise; PCM'in ısıyı %100'e kadar düşüreceği tahmin edilmektedir (Thiele vd. 2015).

2.3.2 Soğuk çatılar

Soğuk çatılar, çatı levhası üzerine yansıtıcı bir tabaka ya da kaplama malzemelerinin uygulanarak, güneş ışınımının yansıtılması ile oluşturulur. Genellikle bu katman beyazdır, renkler koyulaştıkça yansıma azalacak ve yüzey sıcaklığı artacaktır (Han vd. 2009). Bir başka tanıma göre ise soğuk çatılar, ısı yalıtım tabakası çatı boşluğunun üzerinde olan çatı sistemidir (Hasol 2002).

Soğuk çatılar, genellikle pasif soğutma için kullanılmakta olup, kurak ve tropik iklimler gibi sıcak iklimlerde tercih edilmektedir. Öte yandan, bu yöntem soğuk günlerde ya da kış mevsiminde binanın çatısında pasif ısıtmayı engellediğinden enerji kaybına neden olur. Bu yöntem ısı akısını (ısı enerjisinin iletim yoluyla düşey hareket etmesi) %33'e kadar azaltabilir (Oleson vd. 2010).

Soğuk çatılar, fotovoltaik panel çatılara ve yeşil çatılara kıyasla gece boyunca pasif soğutmayı artırabilen daha düşük bir yüzey sıcaklığı sağlamaktadır (Scherba vd. 2011).

2.3.3 Yalıtımlı çatılar

Yalıtımlı çatılar, çatı plakasına yalıtım malzemesi eklenmesi ile oluşturulur. Yalıtım, en sık kullanılan çatı yöntemidir ve birçok ülkede yalıtım zorunludur. Bununla birlikte, bazı durumlarda diğer pasif soğutma/ısıtma yöntemleri daha etkili olabilir. Yalıtım performansı, malzemenin termal iletkenliğine ve yalıtım katman kalınlığına bağlıdır (Abuseif ve Gou 2018).

Farklı malzemelerle yapılan testler sonucunda, Akdeniz iklimlerinde, polistiren, taş yünü ve ince beyaz kum malzemeleri test edilmiş ve ısı azaltma sonuçları sırasıyla %58,5, %38,01 ve %62 olarak bulunmuştur (Pisello vd. 2014).

2.3.4 Yeşil çatılar

Yeşil Çatılar, plantasyon, toprak, su yalıtımı ve drenaj gibi farklı katmanları içerebilecek bir döşeme levhası üzerine bir bahçe eklenmesidir (Abuseif ve Gou 2018). Bitki örtüsünü bina çatılarına yerleştirmek, binaya yalıtım, yazın pasif soğutma ile kışın pasif ısıtma, gün içinde çevre ortamdan CO_2 absorpsiyonu, O_2 ve hava debisi üreterek hava kalitesinin iyileştirilmesi ile yağmur sularının tutularak kentte kısmen doğal döngüsünün sağlanması gibi birçok faydası bulunmaktadır. Bunlara ek olarak, yeşil çatılar, kentsel ısı adasının azaltılmasını, yenilebilir bahçeler ile flora ve fauna için yeni yaşam ortamlarının oluşturulmasını sağlamaktadır (Baojie ve Jin 2018).

Yeşil çatılar, diğer yalıtım malzemeleriyle karşılaştırıldığında fiyat ve verimlilik açısından tercih edilen sonuçlar ortaya koymaktadır. Sıcak iklimler için, yeşil çatılar iyi bir seçenek olup, ısı akısını (ısı enerjisinin iletim yoluyla düşey hareket etmesi) %31-37 oranında azaltabilmektedir (D'Orazio vd. 2012).

Yeşil çatılar, oluşturulurken ortaya çıkabilecek ilk tesis harcamaları, uzun vadedeki enerji tüketimi, bakım ve tamir masraflarından yapılacak tasarruflarla dengelenebilir. Su yalıtımının yapılmış olması, ultraviyole ışınlarından daha etkin bir korumanın sağlanması, yüksek sıcaklık ve mekanik tehlikelere karşı alınan çeşitli önlemler sayesinde yeşil çatıların yer aldığı çatıların ömrü klasik çatı yüzeylerine oranla çok daha

fazladır. Yeşil çatılarda yer alan bitki örtüsü ve toprak tabakası binanın ısı yalıtımına katkı sağlamaktadır. Yapılan araştırmalar, yeşil çatıların yüksek ve düşük sıcaklıklara karşı tampon görevi yaparak yeşil çatıların ömrünü uzattığını, bunun yanı sıra binanın enerji dengesini iyileştirdiğini göstermiştir. Bu konuda yapılan araştırmalarda, çakıl içermeyen siyah renkli düz çatılarda yaz aylarında sıcaklığın 80 °C'ye ulaştığı, çakıl ile kaplanmış bir çatıda 30 °C, çim ve otsu bitkilerden oluşan ekstansif bir yeşil çatıdaki sıcaklığın ise 25 °C olduğu saptanmıştır. Kışın yapılan ölçümlerde ise, çakıl ile kaplanmış bir çatıda -12 °C, yeşil çatıda ise -5 °C sıcaklık kaydedilmiştir. Çatıda yapılan bitkilendirme yoluyla kış aylarında ısıtma enerjisinden tasarruf, yaz aylarında ise doğal bir soğutma etkisi elde edilmekle birlikte çatının ömrü uzatılmaktadır (Barış vd. 2003).

4.502 m^2 alana sahip olan Singapur'daki ilk sıfır enerji binasında, enerji simülasyonu kullanılarak, binaya yeşil çatı eklenmesi ile tasarruf edilen enerji miktarı 70,2 (kWh/m^2/yıl) olarak ölçülmüştür (Sun vd. 2018). Ayrıca, ortamın hava sıcaklığı yeşil çatılar nedeniyle 7 °C azalırken, çatının yüzey sıcaklığı mevcut durumla karşılaştırıldığında 24,5 °C azalmıştır (Hien vd. 2012). Yeşil çatılar, yalıtımla bütünleştirildiğinde daha fazla enerji verimliliği elde edilebilecektir (Abuseif ve Gou 2018).

2.3.5 Fotovoltaik panel çatılar

Fotovoltaik panel çatılar; çatı üzerine güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan fotovoltaik panellerin eklenmesi ile oluşmaktadır.

Fotovoltaik (PV) paneller yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Binaların elektriğini sağlayabilmeleri ve fosil yakıt enerji tüketimine bağlılığı azaltmak için binaların çatılarında kullanılmaktadır. Ayrıca, paneller altında gölgeleme sağlayarak ve çatılardaki ısı kazanımlarının azaltılmasına katkıda bulunan güneş ışınımını emerek binanın enerji performansı üzerinde dolaylı bir etkiye de sahiptir (Dominguez vd. 2011).

Binaların konumu ve yönlendirilmesi binalarda PV üretiminde ve enerji verimliliğinde önemli rol oynamaktadır (Kylili ve Fokaides 2014).

Sıcak iklimlerde, fotovoltaik çatılar yatırım yapma konusunda daha fazla potansiyele sahiptir (Emziane ve Ali 2015).

Fotovoltaik çatılar, tropikal bölgelerde kullanıldığında %6-7 civarında enerji tasarrufu sağlamaktadır (Chenvidhya vd. 2015).

2.3.6 Biyosolar çatılar

Tezin ana konusunu da oluşturan biyosolar çatılar, yeşil çatı ile fotovoltaik panellerin (PV) birleşimidir.

Yeni bir yaklaşım olan biyosolar çatı kavramı, bir yeşil çatıyı ve ekim alanı üzerine sabitlenmesi gereken PV panellerini birleştirmektedir. Bu yöntemde, bitkilerin PV performansında iyileşme sağlandığı görülmüştür (Nagengast vd. 2013). PV altında yer alan bitkilerin, sıcaklığın düşmesine yardımcı olduğu ve bitkilerin varlığının PV'lerin elektrik üretimini %1,2–5,3 oranında arttırdığı gözlenmiştir (Chemisana ve Lamnatou 2014).

Diğer taraftan ise, PV panellerinin bitkiler için rahat bir ortam sağladığı görülmüştür. Bu yöntemin başarılı uygulamalarından biri, 92 tür ile çatıdaki bitkilerin biyolojik çeşitliliğini geliştiren Londra Olimpiyat Parkı (Queen Elizabeth Olympic Park)'dır (Nash vd. 2016). Londra Olimpiyat Parkı biyosolar çatı örneği, tezin dördüncü bölümünde incelenecektir (Bölüm 4.2.10).

PV panelleri üzerindeki gölgelenme etkilerini önlemek için bitki türlerinin ve yer örtücülerin özenle seçilmesi ve yerleştirilmesi gerekmektedir (Abuseif ve Gou 2018).

2.3.7 Çift katlı çatılar

Çift katlı çatılar; ana çatı üzerine ikincil bir döşeme eklenmesi ile oluşmaktadır. Bu yöntem, bina çatılarındaki ısı kaybını, aralarında boşluk bulunan çift katmanlar kullanarak azaltmayı amaçlamaktadır. İlk katman ısı için bir alıcı/emici olarak çalışmakta ve ikinci katman iç boşlukları kapsamaktadır. Boşluk, katmanlar arasındaki ısı transferini önlemek için bir yalıtım katmanı olarak çalışmaktadır. Çift katlı bir çatı için ısıl direnç, boşluktaki havanın yapısından dolayı dinamiktir (Zingre vd. 2017).

İlk katmana etkili bir malzeme uygulanarak verimliliği artırmak için katmanlar arasına yalıtım malzemeleri eklenmelidir. Çift katlı çatı pasif bir soğutma yöntemi olarak tanımlanmakta olup, sıcak iklimler için uygundur. Bu yöntem, tropikal iklimlerde kaydedilen ısı kazanımlarını %71'e kadar azaltabilmektedir (Zingre vd. 2015).

2.3.8 Çatı havuzları

Çatı havuzları; art arda soğutmayı sağlamak için bir çatı levhası üzerine su ya da ıslak malzemeler ilave edilmesi ile oluşmaktadır.

Farklı pasif soğutma tekniklerinden buharlaşma, iç mekânlarda sıcaklığı azaltmanın en etkili yolu olarak sınıflandırılmıştır (Amer 2006).

Çatı havuzları sisteminde, hava sıcaklığını düşürmek için suyun buharlaştırılması hedeflenir. Doğal olarak su, ortamdaki ısıyı emme eğilimindedir ve onu buhar haline dönüştürür. Bu işlem de ortamdaki hava sıcaklığının azalmasına neden olmaktadır (Chan vd. 2010).

2.3.9 Işıklık (tavan penceresi) çatı

Bu çatının amacı iç konforu artırmak, aydınlatma sağlayarak enerji tüketimini azaltmak ile iç ve dış alanlar arasındaki etkileşimi artırmak için iç mekânlara aydınlatmayı sağlamaktır. Binalarda genellikle, yan camlardan gelen ışığın gün içerisinde yeterli olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Tavan pencerelerinin kullanılması, bir binanın

içindeki termal yüklere doğrudan etki etmektedir. Bu nedenle, bu çatıyı seçerken, binayı olumsuz yönde etkilememesi ve toplam enerji tüketimini arttırmaması için özel işlem gerekmektedir. Çatı pencerelerinin ısıl iletkenliğini azaltmak için, çatıdaki buharlaşmalı soğutmanın bir tavan penceresine entegre edilmesinin oldukça etkili olduğu görülmüştür (Pagliarini ve Rainieri 2011). Ayrıca, PCM malzemelerinin (faz değişim malzemesi) çift camın içerisindeki boşluğa enjekte edilmesi de ısıyı %47,5'e kadar azaltabilmektedir (Li vd. 2018).

Akdeniz iklimindeki küçük bir alan üzerinde yapılan çalışmada; enerji verimliliğini sağlamak için bir tavan penceresinin oranının çatı alanının %3-14 olması gerektiği, %10 ila %14'ünün ise enerji verimliliğini ve yeterli aydınlatmayı elde etmek için en uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Motamedi ve Liedl 2017).

2.3.10 Rüzgâr tutucular

Rüzgâr tutucular; havayı hapsetmek ve binanın içine yönlendirmek için çatıya bir eleman eklenmesi ile oluşturulmaktadır (Abuseif ve Gou 2018).

Rüzgâr tutucular, uzun yıllar önce Orta Doğu'daki kurak iklim koşullarında geleneksel mimarinin bir parçası olarak, hava akımına izin vererek iç termal ortamı iyileştirmek için geliştirilmiştir. Mekanizma, iç ve dış alanlarda farklı basınçlar arasındaki havanın doğal hareketine bağlıdır. Hava ve soğuk esinti tavanda hapsolmuş ve bir kanaldan binanın iç kısmına yönlendirilmiştir. Genellikle buharlaşma ile hava sıcaklığını ayarlamak ve havayı filtrelemek için bir püskürtme sistemi ya da ıslak gözenekli katmanla birleştirilmektedir. Bu yöntem teorilerden farklıdır ve çatı içerisindeki ısıyla ilişkili değildir, ancak iç konforu arttırmak ve doğal olarak soğutma yüklerini azaltmak için diğer yöntemlerle birleştirilebilmektedir. Ancak, genellikle pasif soğutma için kullanılmaktadır (Suleiman ve Himmo 2012).

Rüzgâr hızı, bu sistemde önemli bir etkiye sahiptir. Rüzgâr hızı 3 m/s'ye ulaşana kadar iyidir; bu hızdan daha fazlası verimliliğini azaltacaktır. Araştırmacılar daha iyi performans elde etmek için hava hızını kontrol etmeyi önermiştir (Noroozi ve Veneris

2018). Sıcak ve nemli iklimlerde, 24,7 °C ila 40 °C arasında değişen sıcaklıktaki değişime bakılmaksızın, iç sıcaklık uygun kalabilmektedir (Priya vd. 2012).

Rüzgâr tutucular, günün en sıcak saatlerinde enerji tüketimini %16–27 azaltabilmektedir (Hedayat vd. 2015). Sıcak ve kuru bir iklimde İran'da rüzgâr tutucuların, iç sıcaklığı 10–20 °C azaltabileceği kaydedilmiştir (Haghighi vd. 2016).

Isı yalıtımı ile iç mekânın termal konforunu arttırmak ve enerji verimliliği sağlama özellikleri ile sıcak iklimlerde, soğuk çatılar, yeşil çatılar, fotovoltaik çatılar, biyosolar çatılar, çift katlı çatılar, çatı havuzları ve rüzgâr tutucular tercih edilmelidir.

Yukarıda bahsedilen çatı türlerinden yeşil çatılar ile tezin asıl konusunu oluşturan biyosolar çatılar tez kapsamında daha detaylı olarak ayrıca ele alınacaktır.

Çatı türlerine göre karşılaştırma yapıldığında; yeşil çatılar ile biyosolar çatılar binaların değerini artırma ve insanlara doğa ile daha fazla zaman geçirmeleri için daha fazla alan sağlama konusunda büyük bir potansiyele sahiptir. Konut, kamu, ticari ve bazı devlet binaları gibi çatıya erişilebilirlik sağlayabilen bu yapılar büyük bir potansiyel olarak değerlendirilmektedir. Yüksek miktarda elektrik tüketen ve çatısında kullanılmayan ya da erişilemeyen kullanışsız bir alana sahip binalar, eğitim binaları ile devlet binalarında, fotovoltaik panel çatı kullanımı düşünülebilir. Yeşil çatılar soğuk günlerde pasif ısıtma ve pasif soğutma ile çevre üzerinde en yüksek etkiye sahiptir. Fotovoltaik panellerin çatısı da, bir binanın fosil yakıt enerji tüketimini azaltmak için uygun ve tercih edilen bir çözümdür ve aynı zamanda %63'e varan bir ısı azaltma özelliğine sahiptir. Fotovoltaik paneller, çift katlı çatılar için ikincil bir tabaka olarak da kullanılabilir (Abuseif ve Gou 2018).

2.4 Yeşil Çatı Sistemleri

2.4.1 Yeşil çatı sistemlerine ilişkin tanımlar

Yeşil çatılar, "çatı bahçeciliği" ya da "bitkilendirilmiş çatı teknolojisi" olarak bilinmekle birlikte, "yaşayan çatılar" ya da "eko çatılar" olarak da tanımlanmaktadır. Yeşil çatılar, basit bir tanıma göre; normalin altındaki ağırlıktaki çevrede yetişen mikroorganizmaların ve bitkilerin yaşayan biyolojik topluluklarıdır (Karaosman 2006).

Yeşil çatı sistemi, en temelde, binanın üzerinde bitki yetiştirilmesi olarak tanımlanmakta olup, bilimsel bir tanımlamaya göre yeşil çatı sistemi, ekolojik çatı, yaşayan çatı, kahverengi çatı ve çatı bahçesi olarak da tanımlanmaktadır. "Ekolojik Çatı" ve "yaşayan çatı" terimleri Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri yazınında sıklıkla kullanılmakta olup, "kahverengi çatılar" terimi ise İngiltere'de sıklıkla kullanılan terimdir. "Yeşil çatı" kavramı; bir açıklamaya göre; özel, ince alt katman ve bitkilendirme ile insanlar için yaşama alanı olarak düşünülmüş, ikinci açıklamaya göre ise; yeşil çatının sadece bitkilendirilmesini içermektedir. Bazı yeşil çatı tanımlamalarında ise "tarımsal yeşil çatı" ve "yeşil çatı bahçesi" gibi kavramların kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle, uluslararası bir terminoloji anlayışı bulunmamaktadır ve terimler birbirlerinin yerlerine de kullanılmaktadır (Erkul ve Sönmez 2014).

Yeşil çatılar, çatı yüzeylerinde bitkiler, yalıtım ve konstrüksiyon elemanlarıyla oluşturulmuş peyzajlardır. Geleneksel çatılara göre, doğal bir yalıtım sağladıklarından enerji maliyetlerini düşürür, huzurlu ortamlar oluşturur ve yağmur sularının drenajını ve depolanmasını, ayrıca yeniden kullanımını sağlarlar. Daha büyük bir ölçekte düşünüldüğünde ise, yeşil çatılar, hava kalitesinin iyileştirilmesine ve kentsel ısı etkisinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Kentlerin gelişimi; ekolojik, ekonomik, estetik ve psikolojik etkileri ile yeşil çatı sistemlerinin uygulamasını gerektirmektedir. Kentleşme sürecinde, hızlı nüfus artışı yapılaşmayı arttırarak, yeşil alanları daraltmakta, kent merkezi ve yerleşim alanlarında

arsa fiyatlarının yüksek oluşu, yeşil alanlara duyulan gereksinim ve konutların standartlarını yükseltme isteği yeşil çatı sistemlerini bir alternatif olarak ortaya çıkarmaktadır. Yeşil çatı sistemleri, yeşil alanlar gibi oksijen üretmekte, nemi ayarlamakta, toz tutma gibi ekolojik etkiler sağlamakta, su depolamakta, bitkiler ve hayvanlar için koruyucu yeni yaşam alanları oluşturmaktadır. Bunların yanı sıra, yeşil alan sistemleri tesis edildikleri binaları aşırı sıcaklık ve gürültü, ultraviyole ışınları, hava etkileri ve mekanik hasarlardan korumaktadır (Hasdemir 1990).

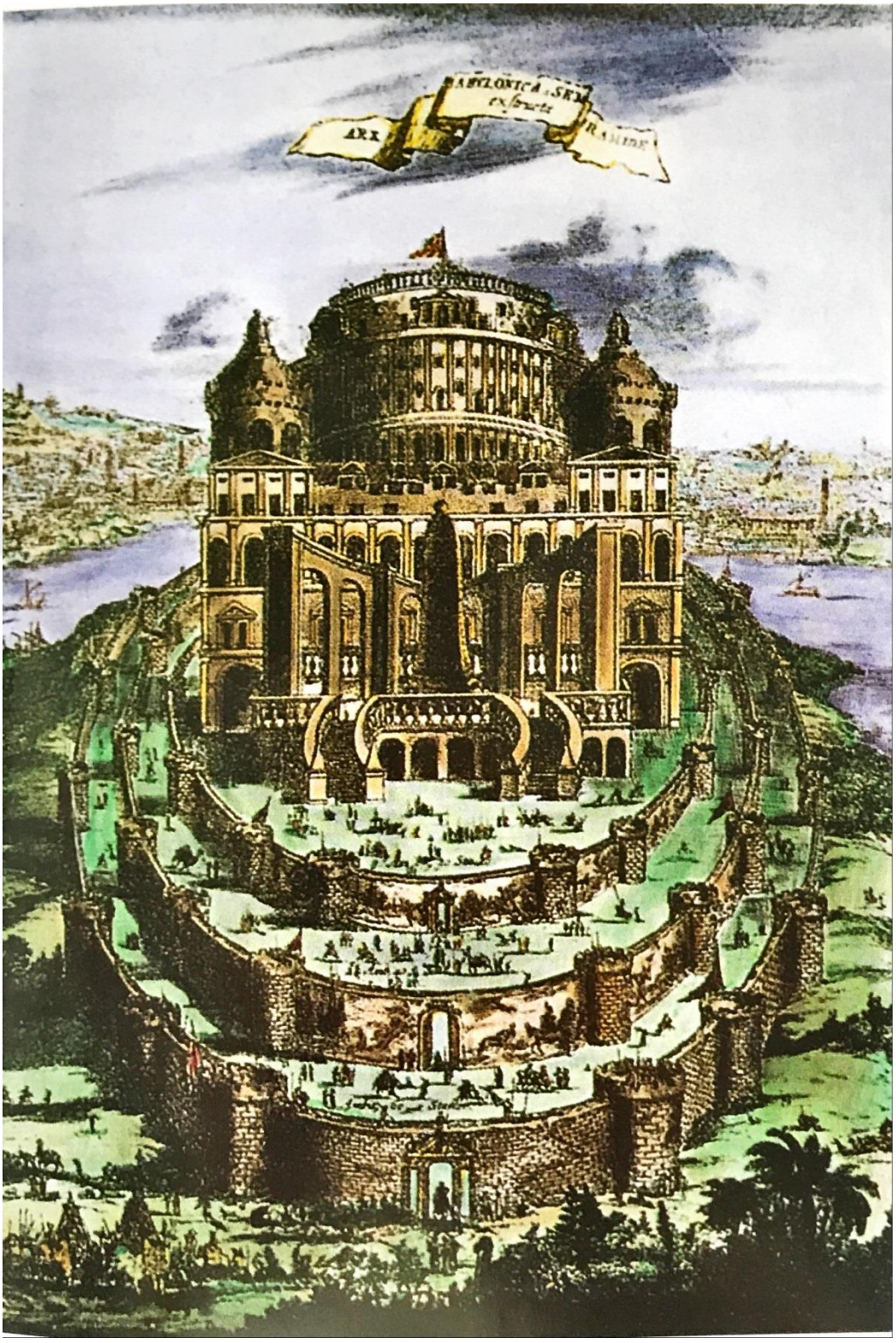
2.4.2 Yeşil çatı sistemlerinin tarihçesi

Sümerler, Babiller ve Asurlar gibi eski Mezopotamya uygarlıkları tarafından M.Ö. 4000'li yıllardan M.Ö. 600'lü yıllara kadar inşa edilen ve "ziggurat" olarak adlandırılan tapınaklar, zemin seviyesinden yüksekte yer alan bahçelerin tarihteki ilk örnekleri olarak kabul edilmektedir (Osmundson 1999) (Şekil 2.38).



Şekil 2.38 Ziggurat çizimi (İnşaport, 2019)

Dünyanın yedi harikasından biri olarak kabul edilen Babil'in Asma Bahçeleri de tarih öncesi döneme ait yeşil çatılara örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.39 Babil'in Asma Bahçeleri (Athanasius Kircher'in renklendirilmiş gravürü) (Fotoğraf: Sanat ve Tarih Arşivi, Almanya) (Sarkowicz 2003)

M.Ö. 1. yüzyılda Yunan bilgini Strabon'un Geographica'sında Babil'in Asma Bahçeleri için şu ifadeleri kullanmıştır: "Babil'deki sur hem de her bir kenarı 4 plethron (yaklaşık 30 metre) uzunluğunda dikdörtgen biçimli asma bahçe, dünyanın yedi harikası arasında sayılıyor. Kemerler tarafından taşınan bir zemin üzerinde duruyor. Birbiri üzerine kat kat yerleştirilmiş kemerler de küp biçiminde sütunlara oturtulmuş, sütunların içi oyuk ve toprakla doldurulmuş, böylece en büyük ağaçların köklerini barındırır ve hem onlar hem de kemerler pişmiş tuğlalardan ve asfalttan yapılmıştır. En üst düzlüğün merdiven biçiminde basamakları ve kenarlarında, görevli kişilerin Fırat'tan suyu durmadan bahçeye çıkardığı salyangozlar bulunuyor. Çünkü bir stadyum genişliğindeki nehir, kentin tam ortasından geçiyor ve bahçe nehrin kenarında yer alıyor". Bizanslı Philon ise, Dünyanın yedi harikasının gezi rehberi olduğunu ileri süren küçük yapıtında şöyle yazar: "Asma bahçe diye anılan bahçede nebatat zeminden yüksekte ve böylece havada ekilip biçiliyor. Bu arada bahçe, ağaçların kökleriyle birlikte bir çatı gibi toprağın üstünü kaplıyor. Aşağıda taş sütunlar dizili, öyle ki, tüm zemin sütunlar nedeniyle yerin altında kalmış gibi. Sütunların üstünde yatay kiriş olarak birbirinden bağımsız palmiyeler kullanılmış ve ancak çok küçük boşluklar kalmış. Bu ağaç, tüm ağaçlar arasında tek çürümeyeni; nemlendiğinde ve yük altında kaldığında yukarı doğru bükülüyor ve diğer bitkilerin köklerini kendi tomurcuk deliklerine alarak onları besliyor. Bu yatay kirişlerin üzerine çok derin bir toprak tabakası dökülmüş. En üstte geniş yapraklı ve özellikle bahçe ağaçları dikilmiş, aynı zamanda çeşitli çiçekler var" (Sarkowicz 2003).

Babil'in Asma Bahçeleri'nin o günkü kullanım amacının doğaya duyulan özlem olduğu kadar, tanrının gökyüzündeki katına yaklaşma ve ona yakın olma felsefesine dayanan dinsel etkidir. Belki de yöresel sel taşkınlarından korunmayı amaçlayan bir yaklaşımla teraslar üzerinde tasarlanan bahçe, yapısal malzemeyle de bütünlük oluşturan özgün bir uygulama şeklinde kendini göstermektedir. Bahçe tasarımında kullanılan ziggurat formu dünya ile cennet arasındaki bağlantıyı sembolize etmekte olup, ana karakterdeki bahçe en üst terasta bulunmaktaydı. Bu bahçenin su geçirmezliği asfalt benzeri bir madde ile sıvanmış hasırla sağlanmış, üzerine de harca oturtulmuş iki sıralı tuğla tabaka yer almaktaydı. En üst kısma kurşundan yapılmış bir tabaka yayılarak üzerine bitkisel toprak serilerek, büyük ağaçlar için yeterli derinlikte toprak serilen çatıların ağır yükünü

taşıyabilmek için yapılara bazı konstrüktif elemanlar eklenmişti. Taşıyıcı tuğla sütunların içerisi, büyük ağaçların köklerinin gelişmesi için oyuk bırakılmıştı. Teraslarda Phoenix (hurma), Larix (melez), Cupressus (servi), Cedrus (sedir), Accacia (akasya), Betula (huş) ve Populus (kavak) gibi büyük ağaçlara yer verilmişti (Barış vd. 2003).

Babil gibi, Roma ve Yunan mimarisi de bu sistemleri kendi dönemlerinde kullanmıştır. Akdeniz bölgesinde, yaz aylarında bina dış cephesinin aşırı güneş ışığından korunmasını önlemek ve daha serin ve konforlu iç mekân koşulları sağlamak için bitkilerden yararlanılmıştır (Cascone 2019).

Roma Döneminde (M.S. I.yüzyıl) sivil mimarlık örneklerinde ve özellikle villa yapılarında (Pompeii) üst düzey kişilere ait villalarda yeşil çatı uygulamalarına rastlanmaktadır. O dönemlerde giderek kalabalıklaşan Roma kentlerinde inşa edilen apartman karakterindeki yapıların balkon ve teraslarında bahçe düzenlemelerine rastlanmaktadır. Bizans dönemi (V.- XIII. yüzyıllar) saray yapılarında da Roma dönemi örnekleri ile benzer nitelikte, avlu-yeşil çatı tipi uygulamalar görülmektedir (Barış vd. 2003).

Ülkemizde yeşil çatı uygulamalarının en önemli örnekleri Topkapı Sarayı'ndadır. Bu örnekler, sarayın Haliç cephesinin gelişmesi ve genişlemesi ile ayrı ayrı yerlerde, bazen de birbirlerinin önünde uygulanmıştır. İlk örnek IV.Murat zamanında Revan ve Bağdat köşkleriyle birlikte yapılan terastır. Teras, büyük ayaklar ve tonozlar üzerine oturtularak lale bahçesi olarak bilinen Safa-i Hümayun ile İncirlik'ten daha yüksek bir konumda yapılmıştır. Bütünüyle asma olarak inşa edilen bir bahçe de, III.Osman'ın asma bahçesidir. Bu bahçe XVIII. Yüzyıl ortalarında, Hünkâr Sofası önüne taş ve tuğla ayak ile kemerler üzerinde düzenlenmiştir. Bahçede ilk göze çarpan özellik, simetriye dayalı eksenel tasarımdır. Bahçenin ortasında küçük bir havuz ve iki tarafında dörder çiçek parteri vardır (Barış vd. 2003).

Modern çağda yeşil çatılar, yirminci yüzyılda onları modern mimarinin beş noktasına dâhil eden İsviçre asıllı Fransız mimar Le Corbusier tarafından yeniden keşfedilmiştir

(Eisenman 2006). Le Corbusier, yüksek binaların düz çatılarının bahçe gibi kullanılmasını önermiş, böylece estetik ve işlevsel yönlerden çatı peyzajının geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Le Corbusier'ın düzenlediği bazı yeşil çatılarda su yüzeyi zemine çok yakın bir havuz olarak düşünülmüş, bu yaklaşım sonucunda bulutların havuza yansıdığı geniş bir mekan görüntüsü yaratılmış, mekanda dördüncü boyut kavramı ortaya konmuştur (Barış vd. 2003).

Avrupa'da ısı yalıtımını arttırmak için binalarda tırmanıcı bitkiler kullanılırken, rüzgâr ve yağmurdan korunmak için de yeşil çatılar tercih edilmektedir. Son dönemlerde ise, Avusturya, Almanya, İngiltere ve İsviçre'de yeşil çatılar yoğun olarak görülmektedir.

2.4.3 Yeşil çatı sistemlerinin sınıflandırılması

Yeşil çatılar; intensif olarak da adlandırılan yoğun bitkilendirilmiş çatı sistemleri ve ekstansif olarak da bilinen seyrek yeşil çatı sistemleri olarak iki grupta incelenmektedir (Liu 2004).

- **Yoğun (İntensif) yeşil çatılar**

Yoğun (intensif) yeşil çatılarda, seyrek (ekstansif) yeşil çatılara göre, çiçekli çalılar, sebzeler ve ağaçlar gibi daha geniş çeşitliliğe sahip bitkiler kullanılabilir. Çünkü çatının desteklediği yük derecesinde çatı alt katmanı 15 cm ile 4,50 m arasındaki bir derinlikte yapılabilmektedir (Velazquez 2005).

Yoğun (intensif) yeşil çatıların; bitki çeşitliliği sağlamaları, iyi yalıtımlı olmaları, görsel açıdan güzel peyzajlar yaratmaları, çatıların bitki üretimi ya da rekreasyon alanı oluşturmaları gibi avantajları vardır. Bunun yanı sıra; 15 cm'den daha fazla derinliğe sahip olduğu için oldukça ağır yük oluşturması, sulama ve drenaj sistemi gerektirmesi sonucu yüksek maliyetli olmaları gibi dezavantajlara sahiptir.

- **Seyrek (Ekstansif) yeşil çatılar**

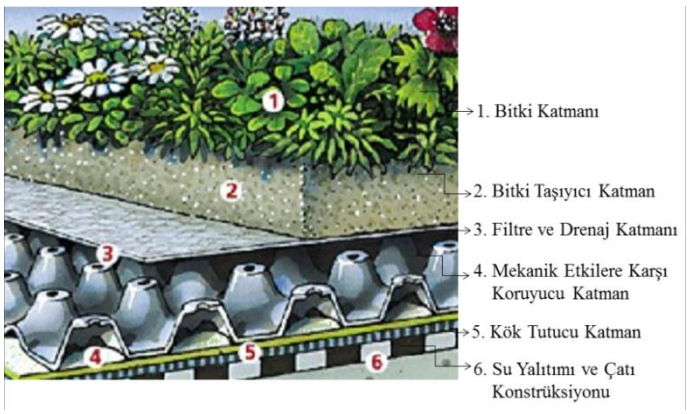
Seyrek (ekstansif) yeşil çatılarda, kendi kendine varlığını sürdürerek üreyebilen bitkiler tercih edilmektedir. Seyrek (ekstansif) yeşil çatılarda bitki taşıyıcı katman kalınlığı 2-15 cm arasında değişmekte olup, çatıya verilen toplam yük ortalama 100 kg/m^2'dir. Ayrıca, %1,5-2 gibi az bir eğim bu çatılarda doğal drenajı sağlamak için uygun değerlendirilmektedir. Seyrek (ekstansif) yeşil çatı sistemlerinde rekreasyon kullanımından ziyade, görsel ve işlevsel amaçlı kullanım söz konusudur (Velazquez 2005).

Seyrek (ekstansif) yeşil çatılarda; ortamına göre genellikle, kuraklığa ya da su içinde kalmaya dayanıklı, küçük boylu ve az verimli topraklarda yaşayabilen bitkiler seçildiği için, sık sulama ve drenaj sistemi gerektirmeme, yükleri hafif olduğu için çatıların ayrıca bir güçlendirmeye gereksinimlerinin olmaması ve diğer sisteme göre daha az teknik uzmanlık gerektirmesi gibi avantajları vardır. Seyrek (ekstansif) yeşil çatıların dezavantajları ise, bitki seçimlerinin daha sınırlı olması, rekreasyon alanı için tercih edilmemeleri ve genelde erişimlerinin olmamasıdır. Seyrek (ekstansif) yeşil çatılar genellikle, büyük alanlarda ve eğimli çatılarda tercih edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında, yeşil çatı (Bölüm 4.1) ve biyosolar çatı (Bölüm 4.2) örnekleri incelenirken intensif ve ekstansif özellikleri de değerlendirilmiştir.

2.4.4 Yeşil çatı sisteminin katmanları

Yeşil çatı sistemleri aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 6 temel katmandan oluşmaktadır.



Şekil 2.40 Yeşil çatı sisteminin katmanları (Tohum 2011)

Gerek çatının yapısal işlevi, gerekse yapıların üzerinin bitkilendirilmesi için hazırlanacak yetişme ortamının özellikleri nedenleriyle çatı örtüsünde belirli nitelikler aranmaktadır. Bu niteliklerin tamamı tek bir katmanda bulunamayacağı için genellikle katmanlar halinde bir örtüleme yöntemi uygulanmaktadır. Bu örtülemede, katmanlar taşıyıcı, buhar dengeleyici, sıcaklığı ve suyu yalıtıcı, köklerin salgıladığı asitlerden koruyucu, drene edici fonksiyonları üstlenirler. Planlama ve uygulamalarda yapının gereksinimi ve getirilecek bitki materyalinin özelliğine göre katmanların karakterleri farklılık kazanabilir. Katmanlar için seçilen materyallerin özellikleri, uzun ömürlü ve işlevsel bir bitki örtüsünün varlığını garanti etmelidir. Bu materyallerde, çeşitli atmosfer koşullarına dayanıklılık, hafiflik, yük taşıma özelliği, su tutma ya da su geçirgenliği gibi özellikler, sağlamlık, bitkilendirme tekniği yönünden besin maddesi içeriği, kimyasal reaksiyonları gibi özellikler aranır (Aslanboğa 1988).

- **Bitki katmanı**

Yoğun (intensif) yeşil çatılarda, çatının bulunduğu bölgenin iklimsel koşullarına ve çatının yük taşıma kapasitesine göre çok fazla bakım istemeyen, dayanıklı bol çiçekli, güzel renkli ve hoş kokulu, tercihen doğal bitki türlerinden yaprağını döken ve herdem yeşil bitkilerin bir arada kullanıldığı estetik bitkisel tasarımlar yaparak binaya bir değer sağlamak önemlidir.

Seyrek (ekstansif) yeşil çatılarda ise, bulunduğu bölgenin iklimsel koşullarına göre en az bakım ile kendi kendilerine yetebilen ve üreyebilen, eğimli çatılarda tutunması için sağlam köklenebilen ve hafif olan yosunlar, çimler, etli yapraklı bitki türleri ve dayanıklı otsu çalılar kullanılarak ekolojik fayda sağlanabilir.

- **Bitki taşıyıcı katman**

Bu katman fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri nedeniyle bitki yetişmesi için gerekli ortamı oluşturur, yağmur sularının ve sulama suyunun bir kısmını bitkinin kullanabileceği biçimde biriktirir ve suyun fazlasını drenaj tabakasına iletir. Bitki yetişme ortamı, bitkiye zararlı olmayan ve zaman içinde bitki için zararlı olabilecek maddeler üretmeyen materyallerden oluşmalıdır. Bu materyal değişmeyen bir strüktüre

sahip olmalı fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Karışımı oluşturan katı materyal, su depolanması ve hava geçirgenliğini sağlayacak oranda boşluk hacmine sahip olmalıdır (Aslanboğa 1988).

Yeşil çatılar için seçilecek bitkisel toprak; yüksek su tutma ve havalanma kapasitesine sahip, ancak kolay drene olabilen, besin maddesi bakımından fakir, ancak yeterli besin mübadele kapasitesi bulunan, kolay eriyebilir kireç içeriği düşük olan, 5,5-7 arasında PH değerine sahip, yaşayan bitki artıkları ve yabancı ot tohumlarından arınmış, zaman içinde bitkilere zararlı olabilecek maddeler üretmeyen niteliklerde olmalıdır (Barış vd. 2003).

Yeşil çatı sisteminin bitki taşıyıcı katmanında kullanılan yapılar, bitkilerin besin gereksinimlerini karşılayarak, bitkilerin yıllarca canlı ve güzel kalmasını sağlamaktadır (Tohum 2011).

- **Filtre ve drenaj katmanı**

Filtre ve drenaj katmanlarının temel fonksiyonu, küçük toprak parçaları ve çürümüş bitki parçacıkları gibi maddeleri tutmak ve yağmur ya da sulama sularının fazlasını drene ederek ortamdan uzaklaştırmaktır. Drenaj özellikle bitkilerin bulunduğu ortamlarda köklerin oksijen gereksinimi için yeterli hava boşluk hacminin elde edilmesi için önemlidir (Barış vd. 2003).

Yoğun (intensif) yeşil çatılarda kullanılan ağacın dikim çukurunun boyutları belirlendikten sonra, çukurunun tabanına drenaj kanallarına doğru eğim verilmelidir. Drenajı kolaylaştırmak amacıyla, tabanına 7-12 cm kalınlığında kaba çakıl serilmelidir (Koç ve Güneş 2011).

- **Mekanik etkilere karşı koruyucu katman**

Çatı yalıtımı için kullanılan malzemelerle kök koruma amacıyla kullanılan katmanlar genellikle kimyasal yolla birbirlerine zarar vermektedirler. Bu zararı önlemek amacıyla arada sentetik keçelerden oluşan bir ayırım tabakası kullanılmaktadır (Aslanboğa 1988).

Kök koruma katmanının su yalıtım işlevini de üstlendiği çatılarda zemine döşenen keçe, drenaj sistemi ya da bitkilendirme katmanlarının üzerinde olumsuz etkiler (bahçe araç gereçleri, düşey konumlu sivri objeler, alttaki pürüzlü yüzey vb.) nedeniyle oluşabilecek zararlara karşı kök koruma tabakasının mekanik olarak korunmasını sağlamaktadır. Düz çatılarda genellikle plastik örgü hasır koruma elemanı kullanılırken, eğimli çatılarda keçe türü bir malzeme yeterlidir (Barış vd. 2003).

- **Kök tutucu katman**

Çatı yalıtım katmanlarına bitki kökleri tarafından zarar verilmesini önlemek amacıyla serilmektedir. Bitki köklerinin salgıladıkları asitlere karşı dayanıklı bir maddeden yapılmış olması gerekir. Yapılan araştırmalar, örtü materyalinin köklere karşı direncinin, yapıldığı madde özelliğine ve örtünün kalınlığına bağlı olduğunu ancak bağlantı yerlerinin de sağlam olması gerektiğini kanıtlamıştır. Bugüne kadar kullanılan ve kullanılmakta olan bitümlü örtü malzemeleri kökler için bir engel değildir. Bu amaçla özel plastik örtü materyalleri üretilmektedir. Ancak bunların döşenmesi sırasında da azami dikkatin gösterilmesi, örtünün herhangi bir şekilde delinmemesine özen gösterilmesi gerekmektedir (Aslanboğa 1988).

Bitki köklerinin su yalıtım katmanlarına zarar vermesi önlenmeli, bu amaçla ya özel kök tutucu katmanlar ya da kendini köklere karşı koruyan su yalıtımları kullanılmalıdır (Tohum 2011).

- **Su yalıtımı ve çatı konstrüksiyonu**

Çatının suya karşı yalıtımında kullanılacak materyalin döşenmesi sırasında mekanik yolla zarar görmemesine özen gösterilmelidir. Örneğin keskin kenarlı yapı araç ve

gereçlerinin sertçe bırakılması, söndürülmeden atılmış izmaritler, nokta yükler, bitki kapları, sert topuklu ayakkabı ile yalıtım malzemesi üzerinde yürünmesi yalıtım malzemesini delebilir. Bu nedenle yalıtım örtüsünün üzerine koruyucu bir tabaka serilmesi gerekmektedir (Aslanboğa 1988).

Başarılı bir yeşil çatının en önemli şartı, sağlam bir çatı konstrüksiyonudur (Tohum 2011). Her kullanım çatıya ek bir yük getirir. Çatının konstrüksiyonu bu ek yükü kaldıracak güçte olmalıdır (Aslanboğa 1988).

2.5 Biyosolar Çatı Sistemleri

Çatı yöntemlerinden fotovoltaik (PV) panel çatılar ile yeşil çatı kavramlarından sonra, bu çatı türlerinin birleştirilmesi ile oluşan biyosolar çatı kavramına değinilecektir.

Biyosolar Çatılar, yeşil çatılar ile fotovoltaik (PV) panellerin avantajları birleştirilerek oluşturulmakta, bu çatıların avantajları da ayrıca biyosolar sistemi içinde karşılıklı fayda sağlamaktadır. Gölge toleranslı bitkiler, PV paneller altında gelişerek, daha çeşitli bir fauna ve flora varlığı yaratmaktadır. Yeşil çatı sistemi içerisinde yaşayan bitki örtüsü ve bitkilerin terlemesi sonucu oluşan soğutma etkisi PV panellerdeki aşırı ısınmayı engelleyerek ortam sıcaklığını korumakta ve PV panellerin verimi arttırmaktadır. Yeşil çatılar ile PV panellerin birlikteliği kazan-kazan bir ortaklık olarak değerlendirilebilir.

2.5.1 Biyosolar çatı sistemlerine ilişkin tanımlamalar

Biyosolar çatılar, biyolojik olarak çeşitlendirilmiş yeşil çatılar ve güneşten yenilenebilir enerji üreten fotovoltaik (PV) ve termal PV panellerin birleşimidir (Catalano ve Baumann 2017).

Yeşil çatı ve güneş enerjisini bir araya getiren çatılar genellikle biyosolar çatılar olarak adlandırılmaktadır (Anonymous 2018a).

Bir başka tanımda ise, biyosolar çatı, PV panellerini doğrudan vejetatif bir ortamın üzerine inşa ederek güneş enerjisini birleştiren yeşil bir çatı olarak tanımlamaktadır. Tasarımda kullanılan bitki türleri, panellerin aralıkları ve diğer faktörlerin dikkatli bir şekilde düşünülerek oluşturulduğu biyosolar çatılar, hem güneş enerjisi üretiminin hem de çatıdaki bitki örtüsünün faydalarını en üst düzeye çıkarabilmektedir (Opatowski 2018).

Literatür taraması esnasında, yeni bir yaklaşım türü olan biyosolar çatıların, "Yeşil Çatı + Fotovoltaik Panel", "Yeşil Çatı-PV", "Yeşil Çatıya Entegre Fotovoltaik" ya da "Fotovoltaik Yeşil Çatılar" olarak da adlandırıldığı görülmektedir.

Yeşil çatı ve PV panellerin entegrasyonu olan biyosolar çatılar; yeşil çatıdaki bitkilerin PV verimliliğine olan olumlu etkileri ve yeşil çatının mevcut faydaları ile çatılar için kazan-kazan çözümdür (Hui ve Chan 2011). Diğer yandan, panellerin gölgesi buharlaşma oranlarını ve kuraklık etkisini azaltarak, flora ve fauna çeşitliliğine katkıda bulunmaktadır (Nash vd. 2016). Panellerin meydana getirdiği gölgeler ve toprak nemindeki farklılıklar, yeşil çatıda ışık, nem gibi farklı isteklere sahip bitkilere yaşam ortamı sağlayacak, bitki çeşitliliğinin artması da fauna çeşitliliğini artıracaktır.

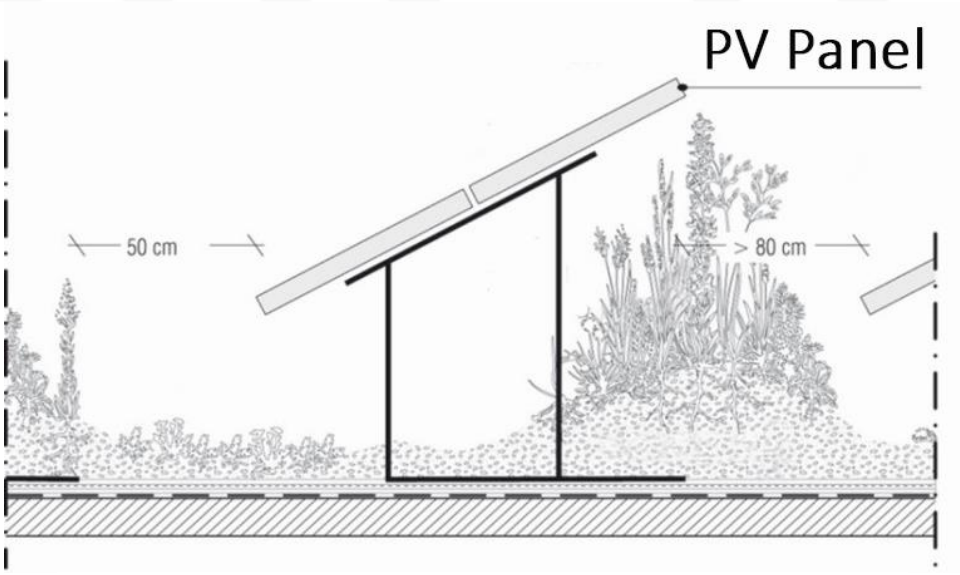
Yeşil Çatı ve PV sistemlerin her ikisi de sürdürülebilir çatı teknolojileridir. Her iki sistem de farklı mekanizmalar olmasına rağmen binaların çevresel etkilerini azalttıklarından, bu teknolojiler çoğu zaman doğrudan rakipler olarak görülmektedir. Toronto 583-2009 No'lu Yönetmeliğe göre; Kanada, Toronto'da, 2.000 $m^{2'}$den daha büyük çatı alanları olan tüm yeni ve yeniden geliştirme projeleri kısmen bir yeşil çatı ya da PV sistemi ile kaplanmalıdır. Her iki sistemin de kullanımı dünya çapında büyüdükçe, yeşil çatı ve PV panel üreticileri ve dağıtıcıları, endüstriyel, ticari ve yüksek yoğunluklu konut çatılarına bu teknolojileri kurmak için rekabet etmektedir. Ancak, nadiren çatı tasarımcıları, her iki teknolojiyi de tek bir çatı alanı üzerinde uygulamaktadırlar. Birkaç çalışma, bir yeşil çatının PV ile birleştirildiğini ve birleştirilen bu sistemlerde, yeşil çatıların buharlaştırıcı soğutma etkilerinin bir sonucu olarak yerel ortam sıcaklıklarının düştüğünü göstermiştir. PV panellerinin çalışma sıcaklığının düşürülmesi; PV verimliliğini arttırmakta ve PV panellerinin kullanım

ömrünü uzatmaktadır. Literatür çalışmaları, bir dizi geleneksel çatı yüzeyine kıyasla yeşil çatı üzerindeki PV panel sistemlerinin %1-6 daha yüksek verimli olduğunu göstermektedir. Yalnız PV sistemleri ile karşılaştırıldığında, PV sistemlerinin yeşil çatılar üzerindeki daha yüksek verimlidir çünkü yeşil çatılarda buharlaşmalı soğutması sayesinde, PV panel yüzey sıcaklıkları 1-20 °C düşmektedir (Jahanfar vd. 2019).

2.5.2 Biyosolar çatıların temel tasarım özellikleri

- **Yerel benzemezlik**

Biyosolar yeşil çatılar, değişen alt katman kalınlıkları sayesinde farklılıklar sağlamaktadır. PV panellerin önünde, alçak boyda ve etli yapraklı bitki türleri tercih edilmekte olup, önerilen bitki parselinin kalınlığı 50 cm, bitki boyu ise 5-7 cm'dir. PV panellerinin bulunmadığı, arkada kalan yerlerde, daha fazla yaşam alanı oluşturmak için PV panelleri arasındaki mesafenin 80 cm'ye kadar genişletilmesi ve alt katman kalınlığının 20 cm'ye kadar yükseltilmesi uygundur (Catalano ve Baumann 2017).



Şekil 2.41 Biyosolar çatıdaki bitki mesafeleri (Catalano ve Baumann 2017)

- **Bitki türleri seçimi**

Alt katman kalınlığının ve PV panellerin oluşturduğu gölge alanlarının değişimi, farklı adaptasyonlara sahip bitki türlerini desteklemektedir. Kuraklık ve basınca dayanıklı türler panellerin önüne dikilebilirken, panellerin arka kısmına gölgeli ve nemli ortam seven, rekabete dayanabilen ve atık alanlarda yetişebilen, ruderal de denilen türlerin dikilmesi önerilmektedir. Bitki türlerinin, metrekare başına 6-10 tür zenginliğine sahip, yerel biyocoğrafyada yetişebilen türlerin olması gerekmektedir. Önemli olan, bitkilerin panelleri gölgelendirmemesi ve böylece enerji üretimini etkilememesidir; bu nedenle yer örtücü bitkiler tercih edilmelidir (Catalano ve Baumann 2017).



Şekil 2.42 İsviçre, Winterthur'daki "Werkhof Scheidegg"in biyosolar çatısı (Catalano ve Baumann 2017)

- **Tasarım özellikleri**

Biyoçeşitli yeşil çatılara benzer şekilde, biyosolar çatılarda da geçici göletler, çakıl taşları ve dallar çatıdaki canlıların kurak dönemlerin üstesinden gelmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, bitki büyümesi için gerekli suyun, kılcal bir hareket ile homojen olarak dağıtılacağı, yapağı gibi bir malzeme katmanı uygulanarak panellerin altındaki alana ulaşması da önemlidir (Catalano ve Baumann 2017).

Tez çalışması kapsamında incelenen örneklerden olan, İsviçre'de bulunan Basel Ana Sergi Salonu biyosolar çatısında (Bölüm 4.2.8) , Doğal Kaynakları Koruma Alanında

Bilim İnsanı olan Stephan Brenneisen, çatıdaki biyoçeşitliliği arttırmak için çatıya organik madde ve odunsu birikintiler eklemiştir. Bunun yanı sıra, Londra Olimpiyat Parkı biyosolar çatısında yapılan bir araştırma kapsamında da (Bölüm 4.5.1), PV paneller, odun ve molozların yakınında fauna türlerinin çeşitliliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

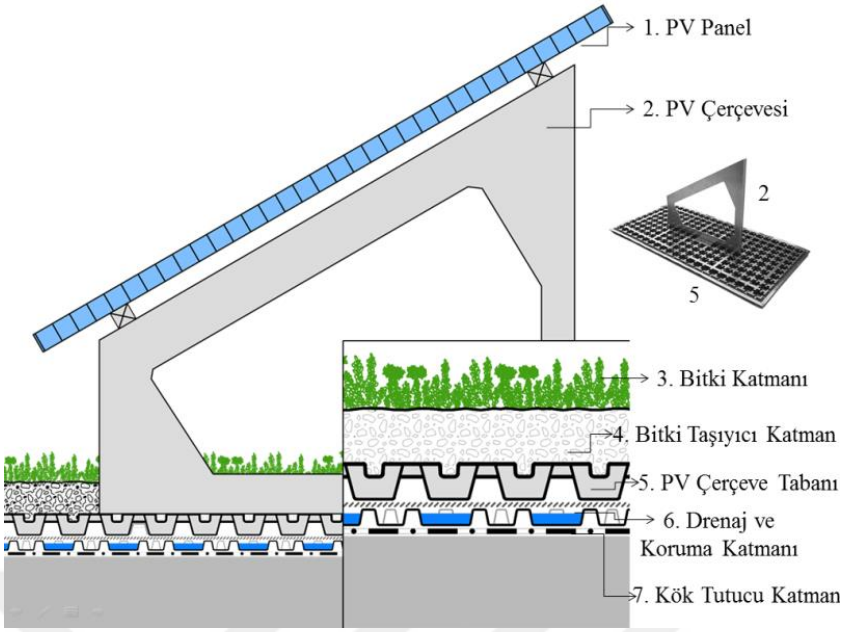
- **Bakım**

Sınırlı bir hacme sahip yetiştirme ortamında yaşamını sürdürmek durumunda olan çatılarda yer alan bitkiler sık sık besin maddesi takviyesine, iyi bakıma ve iyi bir drenaja gereksinim duyarlar. Gerekli sulama ve gübrelemenin yanı sıra yabani ot temizliğine de özen gösterilmelidir. Çünkü özellikle derine kök salan kurakçıl yabani otlar çatı yalıtım ve izolasyon malzemeleri için önemli tehlike oluşturmaktadır (Barış vd. 2003).

Biyosolar çatının bakımı, istilacı yabani otların yok edilmesinin yanı sıra, panellerin arasında ve önünde büyüyen uzun bitkilerin PV panellere gölge yapmaması için budanmasını kapsamaktadır. Uygun bitki türleri seçimi ile budama gerekmeyebilir. Bakım minimal düzeyde olup, yılda yaklaşık bir kere olabilir (Catalano ve Baumann 2017).

2.5.3 Biyosolar çatı sisteminin katmanları

Biyosolar çatı sistemleri, üst katmandan alt katmanlara doğru; PV panel, PV çerçevesi, bitki katmanı, bitki taşıyıcı katman, PV çerçeve tabanı, drenaj ve koruma katmanı ile kök tutucu katman gibi temel katmanlardan oluşmaktadır. Biyosolar çatı sisteminin katmanlarının kesit görünümü Şekil 2.43'te görülmektedir.



Şekil 2.43 Biyosolar çatı sisteminin katmanları (Anonymous 2020p)

Biyosolar çatı sisteminin katmanlarının fotoğrafları da üst katmandan alt katmanlara doğru aşağıda yer alan Şekil 2.44'te gösterilmiştir.

KATMAN NO	KATMAN ADI	FOTOĞRAFI
1	PV Panel	
2	PV Çerçevesi	
3	Bitki Katmanı	
4	Bitki Taşıyıcı Katman	
5	PV Çerçeve Tabanı	
6	Drenaj ve Koruma Katmanı	
7	Kök Tutucu Katman	

Şekil 2.44 Biyosolar çatı sistemi katmanlarının fotoğrafları (Orijinal 2020)

- **PV panel**

PV (fotovoltaik) panellerde yer alan fotovoltaik hücreler, üzerine gelen fotonu (ışığı) elektrik enerjisine dönüştürmektedir.

PV paneller, kullanıcılara ve enerji üreticilerine güvenli, ekonomik, herhangi bir atığı olmayan ve kolay bulunan bir kaynak sağlamaktadır. PV sistemleri, düşük çalışma maliyeti ile düşük bakım maliyeti sağlamaktadır. Ayrıca, PV sistemleri yakıt masrafı olmayan ve çabuk kurulabilen güç kaynaklarıdır. Tipik bir PV sisteminin kullanım süresi yaklaşık 20 yıldır (DEK-TMK 2009).

- **PV çerçevesi**

PV çerçeveleri genellikle alüminyumdan yeşil çatılarda kullanılmak üzere imal edilmektedir. Bitki katmanı ile alt katmanın altında yer alan PV çerçeve tabanının üzerine monte edileceğinden, PV çerçeve tabanı ile uyumlu olmalıdır. PV çerçevelerinin yüksekliği, alt katman ve PV panelleri arasında, bitkilere yeterli güneş ışığı ile yağmur suyu sağlayacak ve uygun bakımın rahatlıkla yapılmasını sağlayacak şekilde olmalıdır.

İlk olarak, yeşil çatı katmanları ile PV çerçeveleri uygulanmalı, sonrasında panellerin montajı ve çatının bitkilendirmesi yapılmalıdır (Gemi 2010) (Şekil 2.45).



Şekil 2.45 Bitkilendirme ve panel uygulama öncesi PV çerçevelerinin uygulanması (Gemi 2010)

- **Bitki katmanı**

Literatür çalışmaları, bir dizi geleneksel çatı yüzeyine kıyasla biyosolar çatılardaki PV panellerin %1-6 daha verimlidir, çünkü yeşil çatılardaki bitki türlerinin varlığının buharlaşmalı soğutması sayesinde, PV panel yüzey sıcaklıkları 1-20 °C düşmektedir. PV panellerin, 1 °C'lik ısınması ile PV panelin elektrik üretiminde %0,5'lik verim kaybı olmakta ve enerji üretimi düşmektedir (Jahanfar vd. 2019, Chemisana ve Lamnatou 2014, Nagengast vd. 2013, Hui ve Chan 2011).

Biyosolar çatı sistemlerinin bitkisel katmanında, seçilen bitki boylarının, PV panellerinin üzerinde gölge yapmaması için, PV panellerin üzerinde olmamasına özellikle dikkat edilmelidir. PV panellerin önünde daha kısa boylu ve yer örtücü formundaki bitkiler kullanılmalıdır. Bunun yanı sıra, arılar ve kelebekler gibi daha çok fauna varlığını çekmek için, bölge iklimine uygun, dayanıklı ve çeşitli bitki türlerinin seçilmesinde fayda vardır.

- **Bitki taşıyıcı katman**

Alt katman, iklim koşullarına ve kullanılan bitki türlerine bağlı olarak 60-200 mm kalınlığa kadar yayılmalıdır. Bitki köklerinin yaşadığı yer olarak, hayatta kalmaları ve gelişmeleri için çok önemlidir. Geri dönüştürülmüş ve doğal malzemeler ile perlit, ponza, volkanik kil, turba ve toprakta çözünebilir liflerin granüllerinin bir karışımıdır. Alt katmanı seçerken en önemli özellik, hacminin %25 ila 40'ı arasında değişebilen su tutma kapasitesi, dengesi ve geçirgenliğidir (Anonymous 2019a).

- **PV çerçeve tabanı**

Alüminyum profil olan PV çerçevenin monte edildiği PV çerçeve tabanı, sert plastikten imal edilmektedir.

- **Drenaj ve koruma katmanı**

Yeşil çatılarda panel montajında ana kural, su yalıtımının hiçbir şekilde delinmemesidir. Bu sebeple, PV panelleri, bitki taşıyıcı tabakaların ağırlığı ile sabitlenmektedir. Bu amaçla su yalıtımı ve koruyucu keçe üzerine hiçbir sabitleme bağlantısı olmadan konacak özel plakalara, PV panelini taşıyan çerçeveler monte edilmektedir. Bu plakalar aynı zamanda su tutma haznelerine ve difüzyon deliklerine sahip olduğu için drenaj vazifesini sürekli olarak sağlamaktadır. Plakaların üzeri de bitki taşıyıcı katmanla kaplanarak sistem tamamlanmaktadır. Oluşturulan sistem, hem PV panellerin montajına olanak vermekte hem de yeşil çatı işlevini yerine getirmektedir (Gemi 2010) (Şekil 2.46).



Şekil 2.46 Yeşil çatı ve PV panel entegre sistemi

- **Kök tutucu katman**

Yeşil çatının altında kök koruması olarak kullanım için çevre dostu polietilenden imal edilmektedir.

2.5.4 Biyosolar çatı projesi

Zürih Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nin (ZHAW, İsviçre) Yeşil Çatı Yeterlilik Merkezi (şu anda Kentsel Ekoloji Araştırma Grubu), diğer ortaklarla birlikte Avusturya (BOKU), İngiltere (Yerinde Eğitim), İsveç (SGRI), Fransa (INIT) İspanya (Link) ve Macaristan'daki (Sound Garden) profesyonellerle güneş enerjisi ve biyolojik

çeşitlilikteki yeşil çatıların birleşimini teşvik etmek için ortak bir strateji geliştirmek amacıyla 2011-2015 arasında işbirliği yapmışlardır. "Biosolarroofs" adlı bu proje, AB-Yaşam Boyu Öğrenme Programı (Leonardo Transfer of Innovation) tarafından toplam 250.000 €'luk fon desteği ile finanse edilmiştir (Catalano ve Baumann 2017).

Biyosolar Çatı Projesi ile yenilenebilir enerji üretimi ve biyoçeşitliliğin ortak yaşamının teşvik edilmesi hedeflenmektedir.

Proje, güneş panelleri (PV ve termal paneller) ile yeşil çatılar arasındaki çatışmanın üstesinden gelmeyi amaçlamış ve her iki çatıyı da hedef almıştır. Biyosolar çatılar, biyolojik olarak çeşitlendirilmiş yeşil çatılar ve güneşten yenilenebilir enerji üreten fotovoltaik ve termal panellerin birleşimidir. Bu birleşimi karakterize eden kazan-kazan durumu, Avrupa Topluluğu'nun Yaşam Boyu Öğrenme Programı (Leonardo Transfer of Innovation) tarafından Biyosolar çatı projesini başarıyla finanse eden itici güçlerden biridir (Catalano ve Baumann 2017).

Biyosolar çatılar, nüfus artışı, endüstrileşme ve kentleşme faaliyetleri sonucunda artan enerji gereksinimini temiz ve tükenmeyen güneş enerjisinden sağlamalarının yanı sıra, kentlerdeki flora ve fauna için habitat oluşturmaları gibi özelliklere sahiptir. Bu cazip özellikleri ile birlikte, biyosolar çatı uygulamaları; rantın yüksek olduğu kent merkezlerinde, bir mekânı birden çok işlevli kullanım sağlamasıyla da kentsel tasarımlarda öne çıkan bir uygulama olacaktır. Biyosolar çatı uygulamalarının başarıya ulaşması ve kent ölçeğinde yaygınlaştırılması için; mimar, peyzaj mimarı, inşaat mühendisi, elektrik elektronik mühendisi ve uygulamacılar gibi birçok meslek disiplininin ortaklaşa yürüteceği konusunda uzman olan bir kadronun beraber çalışması önemlidir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tezin bu bölümünde çalışma kapsamındaki materyal ve yöntem açıklanmıştır.

3.1 Materyal

Biyosolar Çatı Uygulamalarının Peyzaj Mimarlığı Açısından Değerlendirilmesi konulu tez çalışmasında, öncelikle biyosolar çatıyı oluşturan temel kavramlar olan güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi ile yeşil çatı kavramları üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda çalışmanın materyalini kavramlara yönelik yerli ve yabancı yayınlar, makaleler, tezler, internet kaynaklı yayınlar, web ortamından elde edilen yurtdışı örnekleri ile Çin Bilim ve Teknoloji Bakanlığı himayesinde, Gansu Doğal Enerji Araştırma Enstitüsü (GNERI – Gansu Natural Energy Research Institute) tarafından Çin'in Lanzhou şehrinde düzenlenen "Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Uygulaması Uluslararası Eğitimi" ders notları ile bu eğitim sonrasında hazırlanan rapor oluşturmaktadır.

Söz konusu eğitim, 5-24 Eylül 2018 tarihleri arasında düzenlenmiştir. Eğitim kapsamında; Çin Kanunları ve Düzenlemeleri, Çin Ulusal Durumu, Güneş Kolektörü ve Sıcak Su Sistemleri, Solar Yapılar, Fotovoltaik Sistem ve Uygulamaları, Güneş Ocağı (Solar Cooker) ile Rüzgâr Enerjisi Teknolojisi konuları hakkında dersler alınmıştır. Bunun yanı sıra, PV panel üretim fabrikası, güneş enerjisi ile ısıtma teknolojisi şirketi ve güneş enerjisi eğitim merkezi gibi teknik ziyaretler gerçekleştirilmiştir. Eğitim sonucunda, PV teknolojisi hakkında bilgi sahibi olunmuş, PV panellerin üretimi yerinde görülmüştür. Alınan solar yapılar dersi ile güneş enerjisinin mimaride kullanımı hakkında bilgi edinilmiştir. Güneş enerjisinin mimaride kullanımlarının incelenmesi ile başlayan araştırma süreci, yeni bir kavram olan biyosolar çatı kavramını incelemeye yönlendirmiş ve tez çalışması kapsamında biyosolar çatılar peyzaj mimarı gözünden değerlendirilmiştir.

Literatür taraması ile güneş enerjisi ve yeşil çatıya ilişkin olarak yapılan çok sayıda makale ve örnek çalışmalara ulaşılmıştır. Biyosolar çatılar için yeterli Türkçe kaynak olmadığından İngilizce kaynaklardan çeviri yapılmıştır. Anahtar kelimeler kullanılarak, farklı üniversiteler (Zürih Üniversitesi, Toronto Üniversitesi, Lleida Üniversitesi, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Lizbon Üniversitesi, Kansas Üniversitesi, Griffith Üniversitesi, Hayfa Üniversitesi, Carnegie Mellon Üniversitesi) tarafından hazırlanan çalışmalar incelenmiştir. İncelenen bu çalışmalar, Amerika Birleşik Devletleri (Portland, Kansas, Massachusetts, Pittsburgh), Kanada, İspanya, Portekiz, İsviçre, Çin, Singapur, Avustralya ve İsrail üniversitelerinde yapılan araştırmalara ilişkindir. Biyosolar çatılar birçok meslek disiplinini içeren bir konu olduğundan farklı bölümlerce çalışıldığı görülmüştür. Konu hakkında yapılan araştırmaların; Uygulamalı Bilimler, Çevre Bilimleri Uygulamalı Fizik, Yenilik Teknoloji ve Politika Araştırmaları, Yapı Teknolojisi ve Mimarlık, İnşaat ve Çevre Mühendisliği, Peyzaj Tasarımı, Mühendislik ve Çevre, Çevre Biyolojisi, Çöl Ekolojisi, Mimarlık, Sürdürülebilirlik Araştırma Enstitüsü ile Mühendislik ve Kamu Politikası Bölümü gibi farklı bilim dallarını kapsadığı gözlenmiştir.

Biyosolar çatı örnekleri incelenirken, çatı planlarına ilişkin bilgilere ulaşılamamıştır. Biyosolar çatı kullanımının yaygınlaşması ile birlikte, bu alanda yapılacak olan çalışmaların artması öngörülmektedir.

3.2 Yöntem

Tez çalışması kapsamında, literatür ve veri toplama işleminin ardından, biyosolar çatıyı oluşturan ve iki farklı alan olan enerji ve yeşil çatı kavramları ortak bir payda oluşturulmaya çalışılarak belirli bir düzen içerisinde incelenmiş, edinilen bilgiler analiz edilerek biyosolar çatılar Peyzaj Mimarlığı açısından değerlendirilerek sonuca ulaşılmıştır.



Şekil 3.1 Biyosolar çatıları oluşturan kavramlar

Peyzaj tasarımında önemli bir yere sahip olan yeşil çatılar, biyosolar çatıları oluşturan temel kavramlardan olmasının yanında, yeşil çatı uygulamaları biyosolar çatı uygulamalarına göre daha yaygındır. Henüz yeni bir kavram olan biyosolar çatı uygulamalarının başarılı olması için, yeşil çatıya ilişkin kavramların iyi bilinmesi ve mevcut yeşil çatı örneklerinin incelenmesi de faydalı değerlendirilmektedir. Bu sebeplerle, tez çalışması kapsamında, biyosolar çatılarla birlikte yeşil çatılara da yer verilmiştir.

Konuya ilişkin örnekler, mümkün olduğunca farklı ülkelerden ve farklı kullanım amaçlarındaki yeşil çatılar ile biyosolar çatılar arasından seçilmiştir. Örnek araştırmasında, çok sayıda yeşil çatı örneğine karşın, biyosolar çatı örneklerine ve bu örneklere ilişkin bilgilere daha az rastlanmıştır. Bunun yanı sıra biyosolar çatı örnekleri çoğunlukla Londra'da bulunduğundan, biyosolar çatıların örneklerini farklı ülkelerden seçmek mümkün olmamıştır.

Literatürde, yeşil çatılara ilişkin birçok çalışmaya rastlanırken, yeni bir kavram olduğu için biyosolar çatılara ilişkin çalışmalar daha sınırlı olarak gözlemlenmiştir. Biyosolar çatıların kullanımı yaygınlaştıkça, biyosolar çatılara ilişkin çalışmaların da artacağı düşünülmektedir.

Yeşil çatı ve biyosolar çatı örnekleri incelenirken karşılaştırma açısından kolaylık sağlaması için aşağıda yer alan tablo oluşturulmuş ve bütün örnekler bu tablo üzerinde incelenmiştir. Tablo içerisinde açıklamalar ve fotoğraflara yer verilmiş, çatıların

bulunduğu ülke, proje alanı, tamamlanma yılı, proje tipi, mimarisi ve bitkilendirme çeşitlerine de kısaca yer verilmiştir.

Çizelge 3.1 Örnek yeşil çatı ve biyosolar çatı inceleme çizelgesi

PROJE ADI	ÜLKE/ŞEHİR	ÜLKE BAYRAĞI
	Proje Alanı (m^2)	
	Tamamlanış Yılı	
	Proje Tipi	
	Mimari	
	Bitkilendirme	
AÇIKLAMALAR		
FOTOĞRAF VE DETAYLAR		

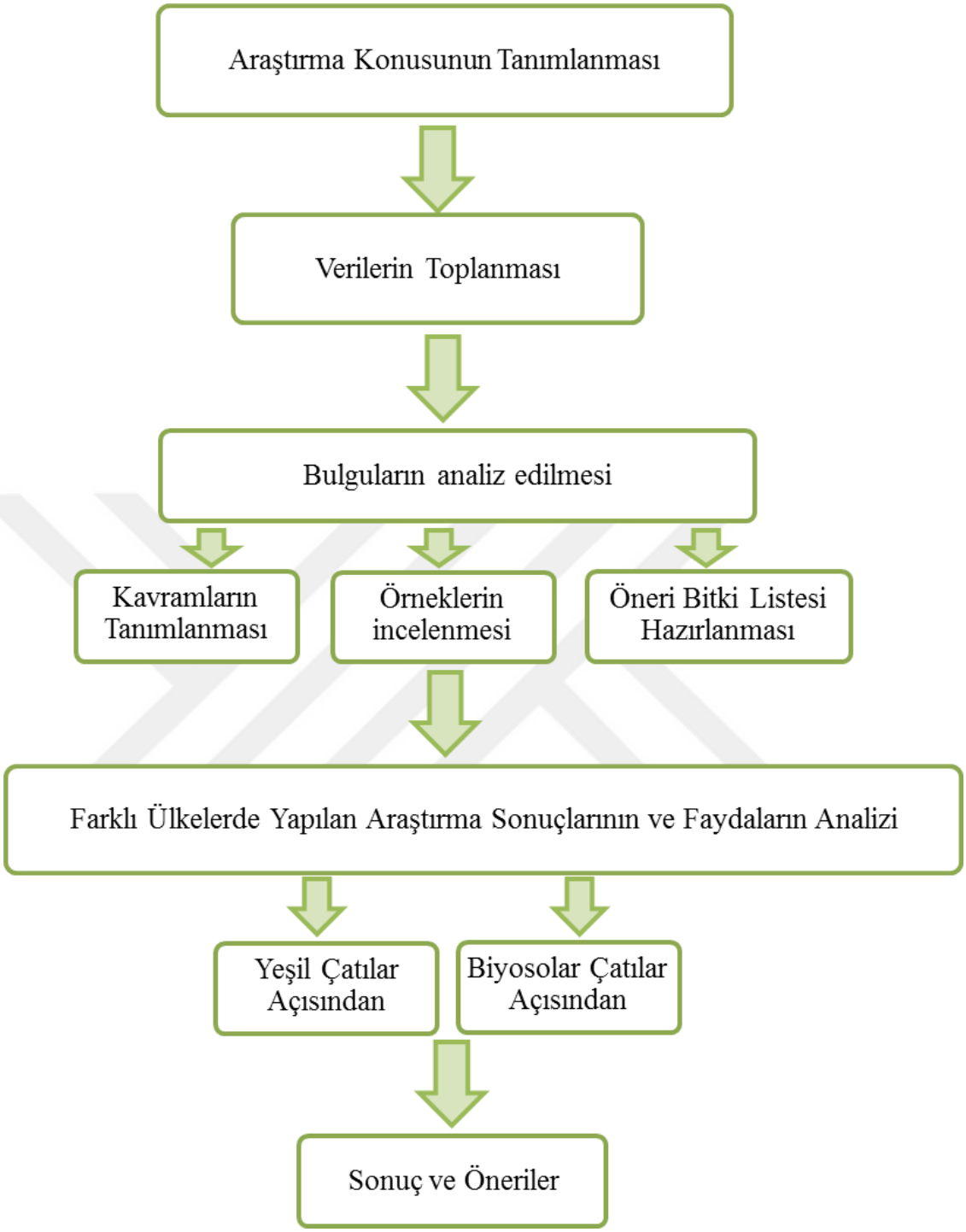
Örneklerin incelenmesinden sonra, hem yeşil çatıların hem de biyosolar çatıların faydalarına ve biyosolar çatılar kapsamında yapılan araştırma sonuçlarına değinilmiştir. Biyosolar çatılar için kullanılabilecek bitki türleri değerlendirme açısından kolaylık oluşturması için aşağıdaki örnek tablo içerisinde incelenmiştir.

Çizelge 3.2 Biyosolar çatılarda kullanılabilecek bitkileri inceleme çizelgesi

	LATİNCE ADI	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	
			BOYU	
1	**FOTOĞRAF**		**ÇİÇEK RENGİ**	
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	
			IŞIK İSTEĞİ	
			EK ÖZELLİK	

Tezin son bölümünde, araştırma ve incelemeler sonucunda edinilen bulgular değerlendirilerek, peyzaj mimarlığı açısından geleceğe yönelik ülkemizde neler yapılabileceğine ilişkin öneriler ortaya konmuştur. Önerilerin daha kalıcı olması amacıyla kısa, orta ve uzun vade olarak hedefler belirlenmiş ve bu hedeflere ilişkin bir tablo oluşturulmuştur. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Çatısı örnek bir uygulama için, teras çatı olarak düşünülerek, biyosolar çatı peyzaj projesi yapılmıştır.

Aşağıda tez çalışmasının nasıl ilerlediğine ilişkin bir Yöntem Akış Şeması görülmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Yöntem akış şeması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Yeşil Çatı Örnekleri

Artan nüfus ve hızlı kentleşme sonucu yeşil alanlara ayrılacak alanların azalması, bizleri uygun olan her türlü alanı kullanmaya, binaların üzerindeki alanları da değerlendirmeye yöneltmiştir. Bu düşünce temelinde, ekolojik, bina yalıtımı, rekreasyon gibi bir çok faydaları olan yeşil çatı kavramı önem kazanmıştır. Çok uzun yıllardır, dünyanın farklı yerlerinde farklı kullanımlarda yeşil çatılar tasarlanmıştır.

Çalışma kapsamında, dünyanın mümkün olduğunca farklı noktalarından, farklı kullanım tiplerindeki ve 2000'li yıllardan sonra inşası tamamlanmış yeşil çatı örnekleri incelenmiştir. İnceleme yapılırken karşılaştırma kolaylığı sağlaması açısından, aynı format altında inceleme yapılmıştır.

Ülkemizden karma kullanım projesi örneği olarak 2013 yılında tamamlanmış Zorlu Center, Kanada'da bulunan ve 2011 yılında tamamlanan eğitim binası olan Vandusen Botanik Bahçesi, 2004 yılında ticari bir kullanım olarak inşa edilen İskoçya'daki Gallie Craig Kahve Evi, 2007 yılında Singapur'da tamamlanan Nanyang Teknoloji Üniversitesi, 2016 yılında tadilatı tamamlanan Hollanda'daki Zoku Metropol Binası, New York'ta bölümler halinde 2009, 2011 ve 2014 tarihlerinde 3 bölüm halinde kent parkı olarak kullanıma açılan High Line Park, 2016 yılında Ukrayna'da tamamlanan Royal Tower, 2013 yılında Çin'de kullanıma açılan Wenchuan Deprem Anıtı Müzesi, 2004 yılında konut projesi olarak tamamlanan Londra'daki New Providence Wharf ve 2012 yılında endüstriyel bir proje olarak Avustralya'da açılan Victoria Desalinasyon Projesi yeşil çatıları incelenmiştir.

4.1.1 Zorlu Center

Çizelge 4.1 Zorlu Center yeşil çatı proje bilgileri

ZORLU CENTER	İSTANBUL/ TÜRKİYE 	
  Şekil 4.1 Zorlu Center genel görünüm (ÇatıveCephe 2015)	**Proje Alanı (m^2)**	72.000 m^2
	Tamamlanış Yılı	2013
	Proje Tipi	Karma Kullanım Projesi (PSM, AVM, otel, rezidans ve ofis)
	Mimari	Zorlu Gayrimenkul, Emre Arolat Mimarlık, DS Mimarlık, Yüksel Proje (Müşavir), Aktürk (Müteahhit), Karaoğlu Peyzaj
	Bitkilendirme	İntensif

Zorlu Center, mimari ve peyzaj detaylarının birlikte çözüldüğü bir proje olduğu için önem taşıyan bir projedir. Projenin yeşil çatılarının en dikkat çekici kısmı, zemin kotundan başlayıp 33 metreye kadar yükselerek, yaklaşık 45 bin m² yeşil alana sahip olan kabuk alanıdır. Bu kot farkının, eğimli ve basamaklı bir kabuk sistemi ile geçildiği alanda, çimden ağaca kadar uzanan bütün bitki gruplarının yer aldığı zengin bir bitkisel düzenlemeye ağırlık verilmiştir. Bu alanlarda, yüzme havuzları, güneşlenme terasları ve sosyal kullanım alanları da yer almaktadır. Yağmur suyu ve su depolarından elde edilen arıtılmış su, yeşil alan sulama sistemine verilerek su gereksiniminin bir bölümü karşılanmaktadır (Bucaklı 2015).

Bitkilendirme: Bitkilendirme yapılırken, tespit edilen ışık düzeyine uygun bitki türleri seçilmiş olup, bitkinin günlük 4-6 saat gün ışığı gereksiniminin karşılanması

planlanmıştır. Peyzaj projesinin bitki seçimi aşamasında, mümkün olduğunca doğal dokuda yer alan, İstanbul Boğazının karakteristiği kabul edilen *Pinus pinea* (fıstık çamı), *Cercis siliquastrum* (erguvan), *Cupressus sempervirens pyramidalis* (kalem servi) gibi ağaç türlerine yer verilmiştir. Ayrıca, *Liriodendron tulipifera* (lale ağacı), *Acer sp.* (akçaağaç türleri), *Paeonia officinalis* (şakayık) gibi bitki türleri de projeye eklenmiştir. Zorlu Center'da 2.500 herdem yeşil, 1.250 yaprak döken bitkiler olmak üzere toplam 3.750 adet ağaç, 60 bin çalı, 500 bin çok yıllık, iç mekânlarda ise 16 bin adet bitki bulunmaktadır. Yaklaşık bitki türü sayısı ise 200 civarında olup, bunun 68'ini farklı türdeki ağaçlar oluşturmaktadır (Bucaklı 2015).



Şekil 4.2 Zorlu Center bitkisel detaylar (Anonim 2020f)



Şekil 4.3 Zorlu Center kuşbakışı görünüm (Anonim 2020f)



Şekil 4.4 Zorlu Center yeşil çatısı (Anonim 2020f)



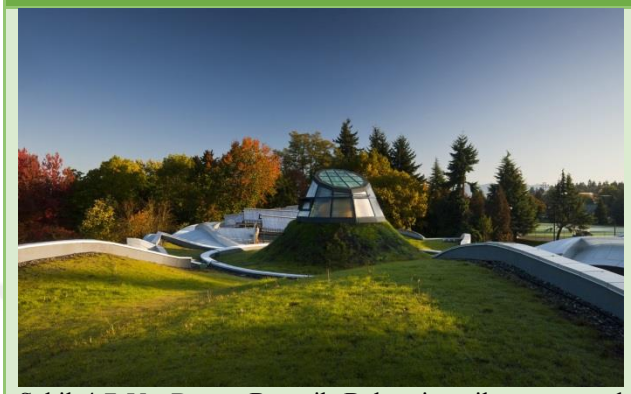
Şekil 4.5 Zorlu Center (Anonim 2020f)



Şekil 4.6 Zorlu Center vaziyet planı (3dkonut)

4.1.2 VanDusen Botanik Bahçesi

Çizelge 4.2 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatı proje bilgileri

VANDUSEN BOTANİK BAHÇESİ	VANCOUVER/ KANADA 	
 Şekil 4.7 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı genel görünümü (Anonymous 2019b)	**Proje Alanı (m^2)**	1.800 m^2
	Tamamlanış Yılı	2011
	Proje Tipi	Kamu + Eğitim Binası
	Mimari	Perkins + Will, Cornelia Hahn Oberlander,
	Bitkilendirme	Semi-intensif (yarı yoğun)

1975 yılında açılan VanDusen Botanik Bahçesi'nin amacı, bitki varlığı ile bina uygulamalarının bütünleşmesini ve bitkilerin yaşam için hayati öneminin anlaşılmasını sağlamaktır. VanDusen Botanik Bahçesi Ziyaretçi Merkezi, gereksinimi olan enerjiyi karşılamak için yenilenebilir kaynaklarını kullanmaktadır. Birincil yapı malzemesi olarak, binanın ömrü boyunca karbondioksit depolayan ahşap kullanılmıştır. Ziyaretçi merkezinin çatısındaki fotovoltaikler, elektrik üretmektedir. Sıcak su, çevreden geri kazanılan kuru odun atığı ile beslenen bir biyokütle kazanı tarafından, su kullanımının tamamı yakalanan ve filtrelenen yağışlardan ya da arıtılıp yeniden kullanılan sudan sağlanmaktadır (Anonymous 2019b).

VanDusen Botanik Bahçesi Ziyaretçi Merkezi'nin tasarımında orkide yaprağından ve çiçeğinden esinlenilmiştir. Vejetatif arazi rampası, yeşil çatıyı yer düzlemine bağlamakta ve biyolojik çeşitliliği teşvik etmektedir. Organik formlardan ve doğal sistemlerden esinlenen VanDusen Botanik Bahçesi Ziyaretçi Merkezi, mimari ve peyzaj arasında görsel ve ekolojik bir bakış açısıyla uyumlu bir denge yaratmayı amaçlamaktadır. Bu projede 2° ile 50° arasındaki yamaçlarda üç farklı yeşil çatı sistemi

oluşturulmuştur. Alçak eğimli çatıda 20 cm büyüyen çok yıllık bitkiler, eğimli yeşil çatıda 20 cm büyüyen çayır bitkileri, 45°'den fazla eğime sahip çatıda ise 12 cm büyüyen dik yamaçlarda yetişen çayır bitkileri kullanılmıştır. Yeşil çatının tamamına doğal otsu bitkiler ile bölgeye özgü soğanlı bitkiler dikilmiştir (Anonymous 2019b).

VanDusen Botanik Bahçesi Ziyaretçi Merkezi, 2013 Uluslararası Yeşil Çatı Derneği, Yeşil Çatı Liderlik Ödülü ile 2012 Britanya Kolombiyası (Kanada'nın batısındaki eyalet) Vali Vekili, Liyakat Ödülüne sahiptir (Oberlander 2014).



Şekil 4.8 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı (Anonymous 2019b)



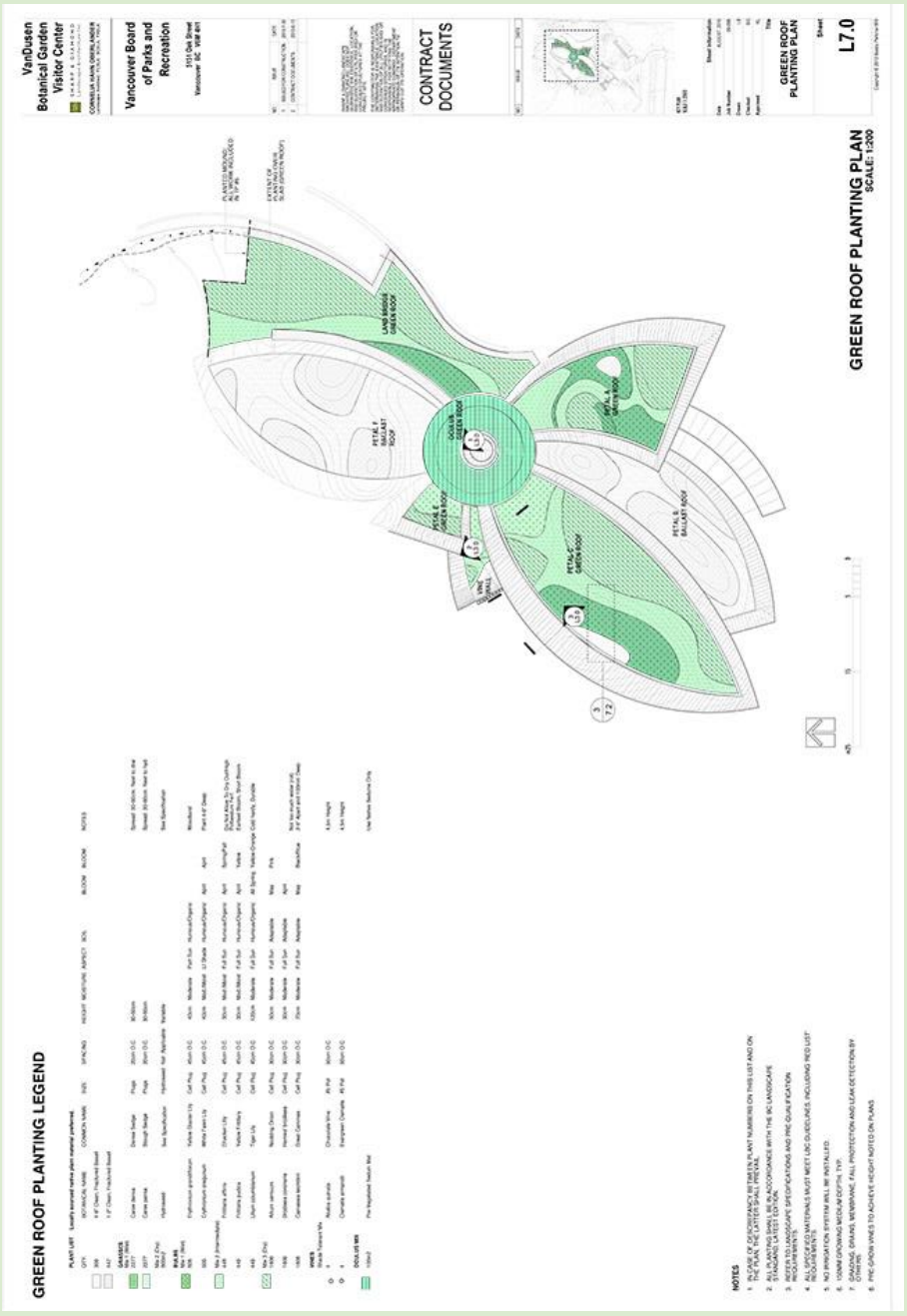
Şekil 4.9 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı (Anonymous 2019b)



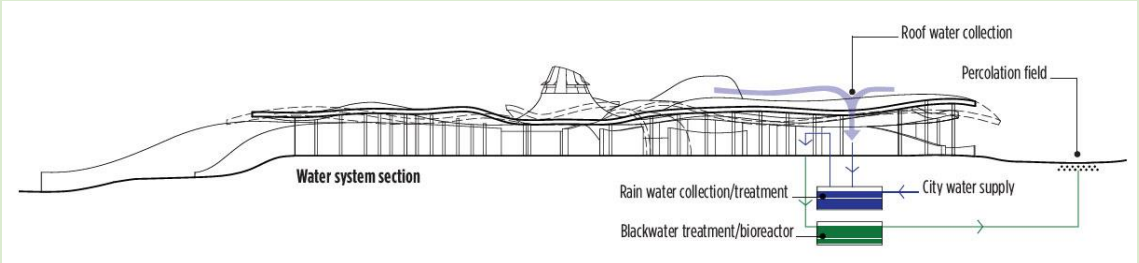
Şekil 4.10 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı yapım aşamaları (Anonymous 2019b)



Şekil 4.11 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatısı yapım aşamaları (Anonymous 2019b)



Şekil 4.12 VanDusen Botanik Bahçesi yeşil çatı bitkilendirme planı (Oberlander 2014).



Şekil 4.13 VanDusen Botanik Bahçesi ziyaretçi merkezi kesiti (Sabmag 2014).

4.1.3 Gallie Craig Kahve Evi

Çizelge 4.3 Gallie Craig Kahve Evi yeşil çatı proje bilgileri

GALLIE CRAIG KAHVE EVİ	DRUMMORE/ İSKOÇYA/BK 
 Şekil 4.14 Gallie Craig Kahve Evi yeşil çatısı (Anonymous 2018b)	**Proje Alanı (m^2)** 400 m^2
	Tamamlanış Yılı 2004
	Proje Tipi Özel + Ticari
	Mimari I.B. MacFadzean
	Bitkilendirme Ekstansif

Gallie Craig Kahve Evi, İskoçya'nın en güneydeki noktası olan İskoçya Yarımadası "Galloway Rhins" in güney ucunda yer almaktadır. İrlanda Denizi'nin muhteşem görüntülerine sahip olan Gallie Craig'in yeşil çatısı ile çevredeki manzara ve topoğrafyayla uyum sağlanmıştır. Proje hedefi, yapının çatısında çevredeki doğal bitki türlerini kullanarak ve alanın doğal formundan esinlenerek yapıyı çevresi ile uyumlu hale getirmektir (Anonymous 2020a).



Şekil 4.15 Gallie Craig Kahve Evi yeşil çatısı genel görünüm (Anonymous 2018b)



Şekil 4.16 Gallie Craig Kahve Evi yeşil çatısı genel görünüm (Anonymous 2018b)

4.1.4 Nanyang Teknoloji Üniversitesi

Çizelge 4.4 Nanyang Teknoloji Üniversitesi yeşil çatı proje bilgileri

NANYANG TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ	SİNGAPUR	
 Şekil 4.17 Nanyang Teknoloji Üniversitesi yeşil çatısı genel görünüm (Anonymous 2020b)	**Proje Alanı (m^2)**	19.000 m^2
	Tamamlanış Yılı	2006-2007
	Proje Tipi	Kamu + Eğitim Binası
	Mimari	CPG Consultants
	Bitkilendirme	Ekstansif

Kampüsün merkezinde yer alan bina, iç içe geçmiş 3 bloktan oluşmaktadır. Binanın ana mekânları olan, oditoryum (dinleme salonu), medya stüdyoları, kütüphane ve sanat galerileri, merkezdeki açık alana bakan çeperlerde yer almaktadır. Görsel etkisi ile birlikte işlevsel olarak da kullanılan çatılar ile sosyal alanlar yaratılarak, toplanma ve seyir mekânları da oluşturulmaktadır. Her katta farklı bir perspektif ile farklı bir algısal deneyim sunan proje aracılığıyla, bir sanat okulunun yaratıcılığına uygun bir ortam sağlanmaktadır. Yeşil çatılar aynı zamanda, binayı izole etmekte, havayı serinletmekte ve arazinin sulanması için yağmur suyu toplamaktadır. Bina cephelerinde boydan boya uygulanan cam kaplama ise, iç mekânlara doğal ışık sağlamanın yanı sıra, ısıyı azaltan yüksek performanslı bir bina kabuğu da oluşturmaktadır. Cam cepheler, iç mekân ve dış mekân arasında görsel bir alışveriş sağlamaktadır (Anonim 2008).

Projenin, yeşil strüktür ile çevre duyarlı yapılaşmalara öncülük ettiği savına karşın, uyumlu olduğu doğal ortamla yarıştığı da öne sürülmektedir. Yapılan eleştiriler ise eğimli çatı gerektirmeyen arazide bu şekilde bir uygulamaya gidilmesinin, doğal ortamla uyumlu bir yaklaşım olmadığı yönündedir (Anonim 2008).

Bitkilendirme: Çim örtüsü, *Zoysia matrella* (Manila Otu) ve *Ophiopogon sp.* olmak

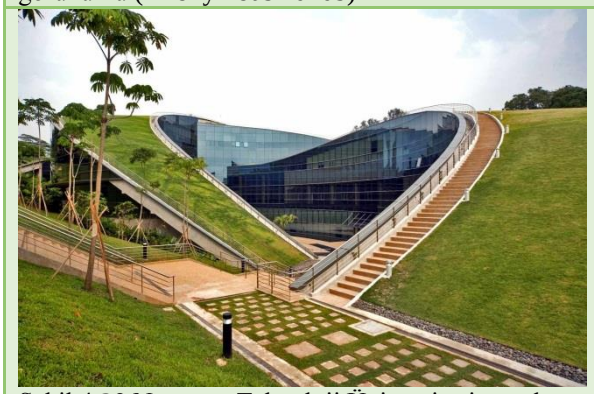
üzere iki çim çeşidinin birleşiminden oluşmaktadır. Çim çatının altında ayrıca nem tutma matı içeren birbiriyle ilişkili dört katman bulunmaktadır. Çim, yağmur suyu kullanan otomatik bir yağmurlama sistemi ile yıl boyunca yeşil ve sağlıklı kalmaktadır. Nanyang Teknoloji Üniversitesi, Mayıs 2011'de çevresel sürdürülebilirlik konusunda en iyi uygulamaları benimsediği için Singapur Bina ve İnşaat Kurumu'ndan (BCA) "Green Mark Platinum Ödülü"nü almıştır (Anonymous 2018c).



Şekil 4.18 Nanyang Teknoloji Üniversitesi gece görünümü (Anonymous 2020b)



Şekil 4.19 Nanyang Teknoloji Üniversitesi genel görünüm (Anonymous 2020b)



Şekil 4.20 Nanyang Teknoloji Üniversitesi genel görünüm (Anonymous 2018)



Şekil 4.21 Nanyang Teknoloji Üniversitesi proje modeli (Anonymous 2020b)



Şekil 4.22 Nanyang Teknoloji Üniversitesi plan çizimi (Paul 2015)

4.1.5 Zoku Metropol Binası

Çizelge 4.5 Zoku Metropol Binası yeşil çatı proje bilgileri

<table>
<tr><th colspan="2">ZOKU METROPOL BİNASI</th><th>AMSTERDAM/ HOLLANDA</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="5">
Şekil 4.23 Zoku Metropol Binası yeşil çatısı (Velazquez 2017)</td><td>Proje Alanı (m^2)</td><td>500 m^2</td></tr>
<tr><td>Tamamlanış Yılı</td><td>2016</td></tr>
<tr><td>Proje Tipi</td><td>Çoklu Kullanım</td></tr>
<tr><td>Mimari</td><td>Concrete Architectural Associates & De Dakdokters, HRBS</td></tr>
<tr><td>Bitkilendirme</td><td>İntensif, Test/ Araştırma</td></tr>
<tr><td colspan="3">Amsterdam'ın ana arterlerinden biri olan Weesperstraat'ta bulunan Metropoolgebouw (Metropol Binası), yedinci katta bulunan ve yakın zamanda geniş bir yeşil çatıyı da içeren onarımdan geçmiş ulusal bir Hollanda anıtıdır. Yapı ilk olarak 1960 yılında Ofis binası olarak tasarlanmış, 2013 yılında özel bir otel tarafından alınarak, onarım sonucunda 2016'da kullanıma açılmıştır. Zoku ortak kullanım alanlarını en uygun şekilde kullanmak ve kullanıcılar arasında bağlantı sağlamak için akıllı çatı katları sunmaktadır. Green Key Gold sertifikalı binada, otel ve ofis kullanımlarının yanında, zemin ve asma katlarında ticari fonksiyonlar yer almaktadır. Restoranlardaki müşteriler için kullanılan organik sebzeler de yeşil çatıda bulunan serada yetişmektedir. Bu farklı kullanım şekli ile bina tam bir ekosistem olarak tanımlanmaktadır. Zoku, bir kentsel sera cenneti, mola ve dinlenme için açık hava mikro yeşil çatıları ile gerçekten çoklu bir kullanım binasıdır. Konuklar, Amsterdam siluetine bakarken, geceleri güzel aydınlatılmış yeşil çatıda zaman geçirmektedirler. Küresel yaşamı kolaylaştıran ve seyahat eden profesyoneller için çalışan Zoku, mevsimleri kentsel bir ortamda daha iyi deneyimlemek için sakinlerine daha fazla yeşil alan sunmanın önemli olduğunu</td></tr>
</table>

değerlendirmektedir. Caddeden asansörlerle yeşil çatıya ve kentsel seraya ulaşılmaktadır (Velazquez 2017).

Zoku'nun iki çatı terası, yapraklı seranın her iki yanında yer almaktadır. Yeşil çatıda, *Sedum acre* (Acı damkoruğu) alanları ile altıgen şekilli geniş oturma alanları, su ile sarılıcı bitkiler için tel duvarlar bulunmaktadır.



Şekil 4.24 Zoku Metropol Binası gece görünümü (Velazquez 2017)



Şekil 4.25 Zoku Metropol Binası seraları (Velazquez 2017)



Şekil 4.26 Zoku Metropol Binası yeşil çatısı genel görünümü (Velazquez 2017)



Şekil 4.27 Zoku Metropol Binası yeşil çatısı kullanımı (Velazquez 2017)



Şekil 4.28 Zoku Metropol Binası genel perspektifi (Velazquez 2017)



Şekil 4.29 Zoku Metropol Binası (Velazquez 2017)

4.1.6 High Line Park

Çizelge 4.6 High Line Park yeşil çatı proje bilgileri

HIGH LINE PARK	NEW YORK CITY/ABD
 Şekil 4.30 High Line Park (Appl 2020)	**Proje Alanı (m^2)**: Uzunluk: 2.400 m, Genişlik: 9-18 m **Tamamlanış Yılı**: 1.Bölüm:2009, 2.Bölüm:2011, 3.Bölüm:2014 **Proje Tipi**: Kent Parkı **Mimari**: Diller Scofidio + Renfro, James Corner **Bitkilendirme**: İntensif

New York High Line 1930'lu yıllarda, caddedeki yük trenlerinin yarattığı riskleri kaldırmak amacıyla açılmıştır. 1980 yılında son yük trenine ev sahipliği yapmış, 1984 senesinde de raylara hayranlık besleyen Peter Obletz, terkedilmiş yapıyı demiryolu şirketinden satın almış, böylelikle yapı yıkılmaktan kurtulmuştur. 1999'da kurulan kar amacı gütmeyen bir organizasyon olan "High Line'ın Dostları", New York Şehri ve NY Belediye Başkanı Michael Bloomberg'in desteğiyle yükseltilmiş tren yolunu çekici bir parka dönüştürmeyi başarmıştır. Parka dönüştürülen yükseltilmiş tren yolu, New York'taki High Line, kentin ana turistik cazibe merkezi haline gelmiştir. Ayrıca, High Line'daki eski raylar da birkaç yerde olduğu hali ile bırakılmış, böylece tarihi kökenleri yeni parka eklenmiştir. 2009'da açıldığından ve Eylül 2014'te üçüncü aşama tamamlanmasından bu yana 2,4 km uzunluğuna erişilebilen High Line, dünyanın bugüne kadarki en uzun yeşil çatısıdır (Appl 2020).

Bitkilendirme: Ortalama 45 cm'lik bir alt tabaka derinliğinde gelişen ağaç ve çalı türlerine yer verilmiştir. Daha fazla su gereksinimi olan bitkiler için damla sulama sistemi kurulmuştur. Bitkisel tasarımda amaç, doğal bitki türlerine yer vererek doğanın

orijinal karakterini devam ettirmektir (Appl 2020).

Chionanthus virginicus, Prunus virginiana, Persicaria amplexicaulis 'Firetail', Anemone cylindrica, Tricyrtis 'Sinonome', Athyrium filix-femina 'Minutissimum', Wisteria frutescens 'Amethyst Falls', Sesleria autumnalis, Betula populifolia 'Whitespire' *Amelanchier laevis, Panicum amarum 'Dewey Blue', Rhus glabra, Equisetum hyemale, Hibiscus moscheutos ssp. Palustris, Baccharis halimifolia, Rhus typhina 'Laciniata', Symphyotrichum oblongifolium 'Raydon's Favorite', Oenothera pilosella, Allium cristophii, Solidago ohioensis, Iris fulva, Allium obliquum, Andropogon gerardii, Eryngium yuccifolium ve Panicum virgatum 'Shenandoah'* High Line'ın bitki türlerinden bazılarıdır (Anonymous 2020c).

Binaların ortasında yer alan High Line, insanların rekreasyon gereksinimlerine cevap vermektedir. Dinamik ve canlı olan High Line'da insanların dinlenmeleri için banklar, oturma alanları ve şezlonglar bulunmaktadır. Parkta, su özellikleri olan bir güneşlenme terasında, ahşap şezlonglar ile çok katmanlı bir oturma alanı mevcuttur. Parkın çeşitli noktalarından Hudson Nehri, Empire State Binası ile Özgürlük Heykeli görülmektedir. High Line'da sık sık geçici sergiler düzenlenmekte, müzisyen ve diğer sanatçılar da parkta performanslarını sergilemektedir. High Line, şehrin, doğanın ve kültürün başarılı bir birleşimidir. Bunun yanı sıra, High Line'ın dönüştürülmesi ile ünlüler ile yüksek kazançlı kişiler bu bölgeye çekildiğinden, eski endüstri arazileri, popüler yerleşim alanlarına dönüşmüştür. Bu bölgenin ekonomik büyümesini sağlayan High Line, çok sayıda yatırımcıyı da cezbetmektedir. High Line Parkı, iyi tasarlanmış bir yeşil çatı teknolojisi ile yaşam alanlarının değişebildiğinin örneğidir (Appl 2020).

High Line Parkı birçok ödülün sahibidir. Bunun yanı sıra, Philadelphia'da, Chicago'da, Atlanta'da, Toronto'da, Paris'te, Viyana'da, Londra'da ve Almanya'daki projelere ilham olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Başarılı bir dönüşüm örneği olması ve insanlara nefes alacakları alanlar sunması açısından çok etkileyici bir projedir.



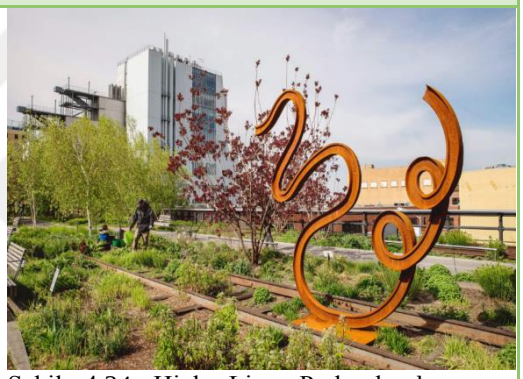
Şekil 4.31 High Line Parkı düzenleme öncesi görünümü (Anonymous 2020c)



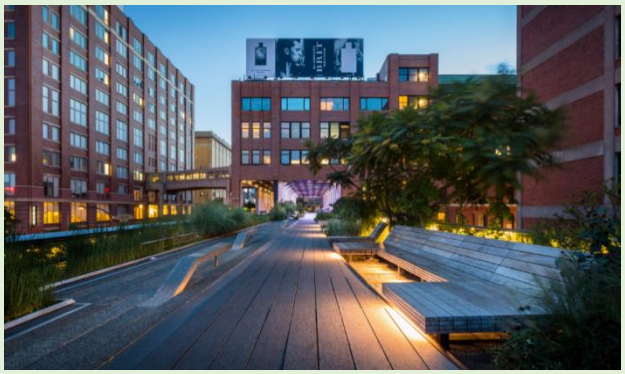
Şekil 4.32 High Line eski görünümü (Anonymous 2020c)



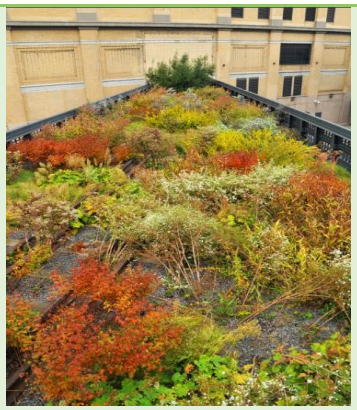
Şekil 4.33 High Line Parkı genel görünüm (Anita 2020)



Şekil 4.34 High Line Parkında korunan orijinal raylar (Anita 2020)



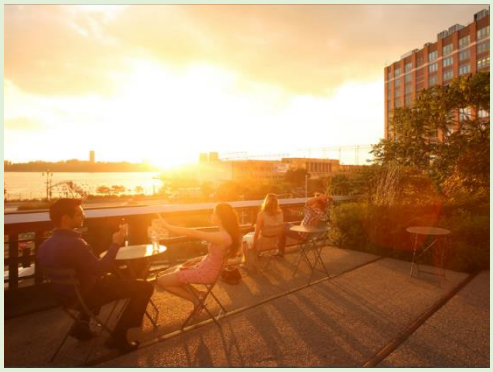
Şekil 4.35 High Line oturma alanları (Anonymous 2020c)



Şekil 4.36 High Line doğal bitki görünümü (Anonymous 2020c)



Şekil 4.37 High Line Parkı genel görünüm (Anonymous 2020c)



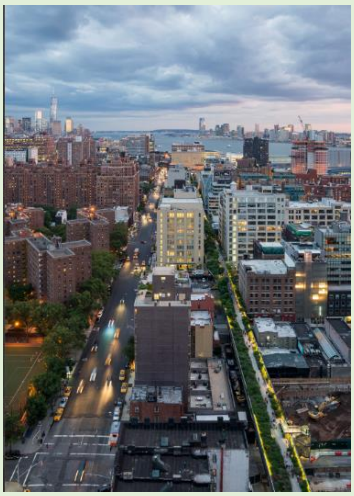
Şekil 4.38 High Line Parkı manzara noktaları (Anonymous 2020c)



Şekil 4.39 High Line Park oturma alanları (Anonymous 2020c)



Şekil 4.40 High Line Parkı genel görünüm (Anonymous 2020c)



Şekil 4.41 High Line Parkı genel görünüm (Anonymous 2020c)



Şekil 4.42 High Line Parkı sulama ve bakım çalışmaları (Anonymous 2020c)

4.1.7 Royal Tower

Çizelge 4.7 Royal Tower yeşil çatı proje bilgileri

ROYAL TOWER	KİEV/ UKRAYNA	
 Şekil 4.43 Royal Tower yeşil çatısı (Oleg Petrasiuk 2017)	**Proje Alanı (m^2)**	700 m^2
	Tamamlanış Yılı	2016
	Proje Tipi	Apartman
	Mimari	Landscape Design Pro
	Bitkilendirme	İntensif

Tarihi Kiev'in ortasında, kent merkezindeki en yüksek binalardan biri olan Royal Tower'ın çatısı, binanın 32. katında yer almakta ve bulutlar arasında özel bir park gibi görünmektedir. Peyzaj mimarının amacı, binada kayıp alan olarak düşünülen çatıya yeni bir kimlik kazandırmaktır. Yeşil çatı, Kiev merkezinin manzarasına sahip bir rekreasyon alanı olarak planlanmıştır. Bu yeşil çatıya erişim sadece bina sakinlerine ve misafirlerine açıktır. Binada bulunan restoranın etrafındaki bahçe ve yeşil alanlar planlanırken, mevsimsel renk değişimi için bitki seçimi dikkatle değerlendirilmiştir. Yeşil çatıda *Pinus sp.* ile *Acer sp.* gibi 3,5-7 metre boyundaki uzun ağaçlara yer verilmiştir (Anonymous 2020d).



Şekil 4.44 Royal Tower yeşil çatısı (Anonymous 2020d)



Şekil 4.45 Royal Tower genel görünüm

4.1.8 Wenchuan Deprem Anıtı Müzesi

Çizelge 4.8 Wenchuan Deprem Anıtı Müzesi yeşil çatı proje bilgileri

WENCHUAN DEPREM ANITI MÜZESİ	SICHUAN/ ÇİN	
 Şekil 4.46 Wenchuan Deprem Müzesi genel görünüm (Yongjie ve Stevens 2016)	**Proje Alanı (m^2)**	140.000 m^2
	Tamamlanış Yılı	2013
	Proje Tipi	Müze
	Mimari	Cai Yongjie
	Bitkilendirme	İntensif & Ekstansif

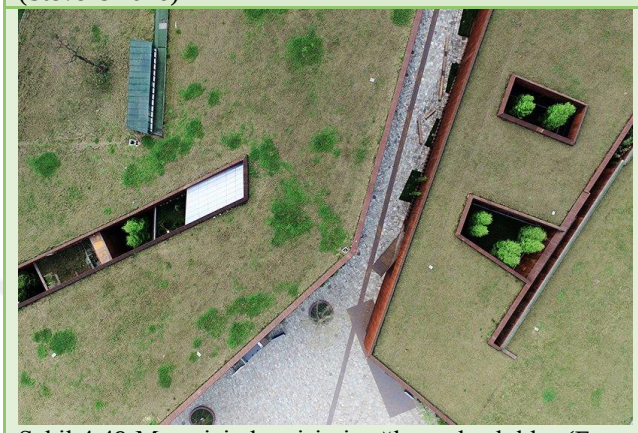
2008 yılında, Çin'de bulunan Sichuan Eyaletinde meydana gelen depremde, hayatını kaybeden yaklaşık 70.000 kişi ile 18.000'den fazla kaybolan kişinin anısına bir müze inşa edilmiştir. Tongji Üniversitesi'den Cai Yongjie tarafından tasarlanan, müze kırılan, parçalanan bir fay formundadır. Büyük yeraltı binaları, yeşil çatılar ile kaplıdır ve yeşil çatı yardımıyla peyzaj ve yapıyı bütünleştirmektedir. Böylelikle, kompleksin dikkat çekmeyen derin ve sessiz bir tasarımı benimsemesini sağlamaktadır. İnsan yapımı bu arazideki boşluklar, hem müzenin içine erişim sağlamakta hem de sitenin tamamını birbirine bağlamaktadır. Açılı duvarlar siper çeliğinden yapılmış olup, dikkatle seyretme ve derinlemesine düşünme için banklar içeren bir dizi kapalı dış mekân oluşturmaktadır. Müzenin girişi halka açık bir meydan ve küçük bir kule ile belirginleştirilmiştir. Müze, Mayıs 2013'te depremin beşinci yıldönümünde halka açılmıştır (Stevens 2016).



Şekil 4.47 Wenchuan Deprem Müzesi genel görünüm (Stevens 2016)



Şekil 4.48 Müze girişindeki küçük kule ve kamusal meydan (Yongjie ve Stevens 2016)



Şekil 4.49 Müze içinde erişimi sağlayan boşluklar (Feng ve Stevens 2016)



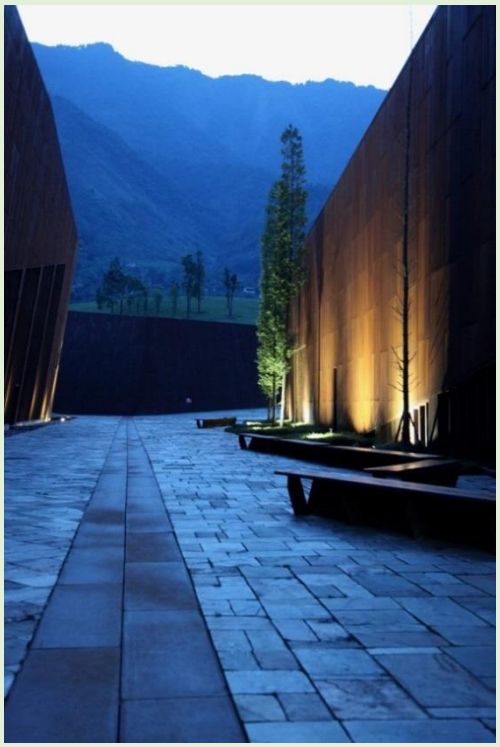
Şekil 4.50 Siper çeliğinden yapılan açılı duvarlar (Yongjie ve Stevens 2016)



Şekil 4.51 Wenchuan Deprem Müzesi plan görünümü (Feng ve Stevens 2016)



Şekil 4.52 Wenchuan Deprem Müzesi genel görünüm (Feng ve Stevens 2016)



Şekil 4.53 Wenchuan Deprem Müzesi'ndeki oturma bankları (Yongjie ve Stevens 2016)

4.1.9 New Providence Wharf

Çizelge 4.9 New Providence Wharf yeşil çatı proje bilgileri

NEW PROVIDENCE WHARF	LONDRA/ İNGİLTERE/BK 	
 Şekil 4.54 Her katta çim bitki örtüsü ve küçük yüzme havuzu içeren New Providence Wharf (Anonymous 2020e)	**Proje Alanı (m^2)**	3.000 m^2
	Tamamlanış Yılı	2004
	Proje Tipi	Konut
	Mimari	Skidmore, Owings & Merrill (SOM)
	Bitkilendirme	İntensif & Ekstansif

Londra'da bulunan Milenyum Kubbesi'nin (Millenium Dome) karşısında Thames Nehrinin kıyısında yer alan konut, 8 kat üzerinde devasa bir spiral merdiven gibi teraslı, eğik eliptik şeklinde çatıya sahiptir. Çim örtüsü ile havuz alanı bu projenin yeşil çatı özellikleridir. Teraslı her yeşil çatı seviyesi, alanı yüksek rüzgârlardan koruyan ve kullanıcılara özel alan sağlayan, yaprak dökmeyen çalılardan oluşturulan sağlam bir çit ile çevrilidir. 58 m yüksekliğindeki çatı güvertesinde, nadir olan kara kızılkuyruk kuşuna sığınak ve yaşam alanı sağlanması amacıyla *Sedum sp.* türlerine yer verilmiştir. *Sedum sp.* bu çok rüzgarlı ortamda başarıyı garantiye almak için önceden hazırlanmış rulolar halinde çatıya yerleştirilmiştir. Ortada yer alan merkez avlu bina ile çevrili olup, yeraltında bulunan büyük otoparkın üstündeki çatıda yer almaktadır. Bu alanın merkezindeki çim alan, zemin kattaki dairelerden uzanan rıhtım benzeri balkonlarla tamamlanan bir geçit bankı oturma alanı ve su havuzları ile çevrilidir (Anonymous 2020e).



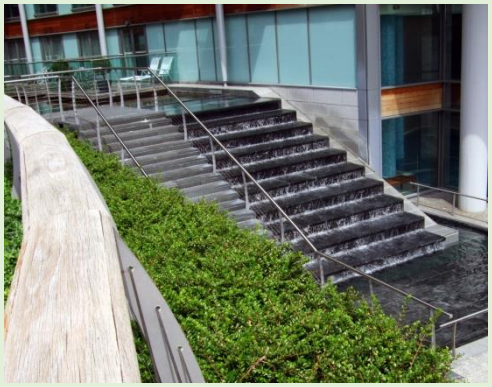
Şekil 4.55 New Providence Wharf ‘ın plan görünümü (Anonymous 2020e)



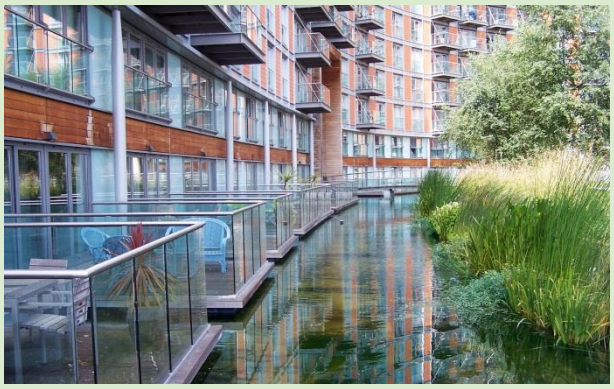
Şekil 4.56 New Providence Wharf binasından Milenyum Kubbesinin görünümü (Anonymous 2020e)



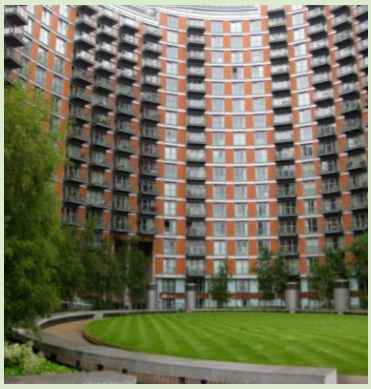
Şekil 4.57 New Providence Wharf genel mekânlar (Anonymous 2020e)



Şekil 4.58 Suyun merdivenlerden akmasıyla şelale etkisi oluşturulması (Anonymous 2020e)



Şekil 4.59 Yapay su havuzları üzerinde yer alan zemin kat daire balkonları (Anonymous 2020e)



Şekil 4.60 Yeraltı garajının üstünde park bankları ile merkez avlu (Anonymous 2020e)

4.1.10 Victoria Desalinasyon Projesi

Çizelge 4.10 Victoria Desalinasyon Projesi yeşil çatı proje bilgileri

VICTORIA DESALINASYON PROJESİ	WONTHAGGI, VICTORIA/ AVUSTRALYA	
 Şekil 4.61 Victoria Desalinasyon Projesi genel görünümü (Anonymous 2017)	**Proje Alanı (m^2)**	26.000 m^2
	Tamamlanış Yılı	2012
	Proje Tipi	Endüstriyel
	Mimari	ARM Architecture + ASPECT STUDIOS
	Bitkilendirme	Ekstansif

Desalinasyon, sudaki tuz ve minerallerin arındırılarak suyun içme ve sulama gibi alanlarda kullanımının sağlanması işlemidir.

Özel/kamu ortaklığı olan Victoria Desalinasyon Projesi, Avustralya tarihinde su altyapısına yapılan en büyük kamu yatırımını temsil etmektedir. Victoria'nın yeni desalinasyon projesi, doğal bitkilerden oluşan zengin bir dokuyla kaplıdır. Projenin peyzaj mimarisinin önemli bir parçası olan 98.000 doğal bitki türü, 26.000 m^2 olan çatıyı kaplamaktadır. Çatı eğimleri %1-22 arasında önemli ölçüde değişmektedir (Anonymous 2018d).

Victoria Desalinasyon Projesi, iklim adaptasyonu için tasarlanmış bir altyapı projesidir. Projenin yeşil çatısı ile kumul sistemi, bozulmuş toprak, bataklık ve sulak alanlar ile kumul ekolojileri birleştirmektedir. Yeşil çatının da içinde bulunduğu tesis, 8 km yaya, bisiklet ve binicilik parkurları ile seyir terasları da içermektedir. Proje, uluslararası düzeyde önemli göçmen kuşlar da dâhil olmak üzere nesli tükenmekte olan türlerin doğal ortamlarına dönmelerini amaçlamaktadır (Anonymous 2017).



Şekil 4.62 Victoria Desalinasyon Projesi yeşil çatısı (Anonymous 2017)



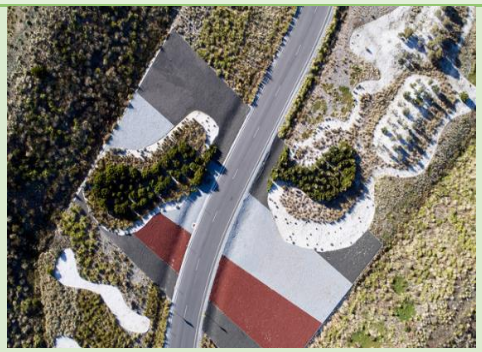
Şekil 4.63 Tesisten yeşil çatının görünümü (Anonymous 2017)



Şekil 4.64 Victoria Desalinasyon Projesi plan görünümü (Anonymous 2017)



Şekil 4.65 Victoria Desalinasyon Projesi tesisi genel görünümü (Anonymous 2017)



Şekil 4.66 Tesisteki yaya parkurları (Anonymous 2017)

4.2 Biyosolar Çatı Örnekleri

Artan enerji gereksinimi ve yaşadığımız çevreyi koruma gerekliliği bizleri yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Güneş enerjisinden elektrik elde etme ve su ısıtma yöntemleri zamanla daha uygun maliyetli oldukça, daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Yeni bir uygulama olarak, bitkilerle PV panellerin birlikte kullanımlarının da karşılıklı olarak verim arttırdığı yapılan çalışmalarla belirlenerek biyosolar çatılar tasarlanmıştır.

Biyosolar çatı kavramı henüz yeni bir kavram olduğu için, çalışma kapsamında incelenecek olan örneklerde, farklı noktalardan örnekler seçilememiştir. Örnekler incelenirken, biyosolar çatıların en çok İngiltere'de olduğu gözlemlenmiş olup, bunun sebebinin Londra Belediye Başkanının yaklaşımı ile İngiltere tarafından hazırlanmış dönemsel planların olduğu görülmektedir. İncelenen örnekler, yeşil çatılarda olduğu gibi, farklı kullanım tiplerindeki ve 2000 yıllarından sonra inşası tamamlanan biyosolar çatı örnekleridir. Aynı şekilde, inceleme yapılırken karşılaştırma kolaylığı açısından, aynı formatta inceleme yapılmıştır.

Ülkemizden yurt projesi örneği olarak 2009 yılında tamamlanmış Nevşehir Yurt Binası, Hollanda'da bulunan ve 2011 yılında tamamlanan havaalanı olan Schiphol Havaalanı, 2015 yılında inşası tamamlanan İngiltere'deki Chartered Bank Genel Merkezi, 2008 yılında Almanya'da tamamlanan Münih Teknoloji Merkezi, 2017 yılında konut projesi olarak tamamlanan İngiltere'deki Clapham Park, 2019 yılında İngiltere'de inşası tamamlanan Cambridge Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2020 yılında yine İngiltere'de tamamlanan Geliştirme ve Veri Bilimi İnovasyon Merkezi olan NICAD, 2000 yılında İsviçre'de kongre merkezi olarak inşa edilen Basel Ana Sergi Salonu, 2010 yılında ofis binası olarak tamamlanan İngiltere'deki One Angel Lane ve 2011 yılında İngiltere'de açılan Londra Olimpiyat Park Medya Merkezi biyosolar çatıları incelenmiştir.

4.2.1 Nevşehir Yurt Binası

Çizelge 4.11 Nevşehir Yurt Binası biyosolar çatı proje bilgileri

NEVŞEHİR H.AVNİ İNCEKARA FEN LİSESİ YENİ YURT BİNASI	**NEVŞEHİR/ TÜRKİYE**	
 Şekil 4.67 Nevşehir Yurt Binası biyosolar çatısı (Gemi 2010)	**Proje Alanı (m^2)**	500 m^2
	Tamamlanış Yılı	2009
	Proje Tipi	Kamu Binası – Öğrenci Yurdu
	Mimari/Yüklenici	İncekara Holding, Tamfa Mühendislik
	Bitkilendirme	Ekstansif

Nevşehir H. Avni İncekara Fen Lisesi Yurt Binası, çevre dostu yeşil bina sertifikalarından biri olan LEED'i (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik) almayı amaçlayarak, Türkiye'nin ilk kamusal çevre dostu yeşil binası olmuştur. Proje, İncekara Holding tarafından sosyal sorumluluk projesi kapsamında yaptırılmış, sonrasında Milli Eğitim Bakanlığına devredilmiştir. Binanın amaçladığı hedefler doğrultunda, sürdürülebilir bir sistem tasarlanarak, çatıda yeşil çatı ve çatıya entegre fotovoltaik (PV) panel uygulaması yapılmıştır. Binada çatı eğimi %38'dir. Eğim dolayısıyla, PV paneller çatıya paralel olarak yerleştirilmiş, geri kalan eğimli alanlarda yeşil çatı uygulaması yapılmıştır. Ülkemizdeki, PV panellerin çatıya entegre edildiği ilk uygulamalarından biri olan bu binada, aynı zamanda da ülkemizin ilk yeşil çatı ve fotovoltaik panel entegrasyonu uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çatıda kullanılan bitki türleri ile yağmur suları doğal şekilde arıtılacaktır. Drenaj için kullanılan genleştirilmiş polistiren sert köpük (EPS) levhalarla hem ısı yalıtımı yapılacak, hem de canlılar için ekolojik bir ortam oluşturulacaktır. Bina aynı zamanda 13,5 kW'lık kurulu gücüyle elektriğini üretecek, şebeke uyumlu olarak oluşturulduğu için de uygun yasa düzenlemeleri ile sistemde hiçbir değişiklik yapılmadan ürettiği fazla enerjiyi devlete satabilecektir (Gemi 2010).

500 m^2'lik yeşil çatının 290 m^2'si PV panellerden oluşmaktadır. Yeşil çatılarda *Sedum sp.* türleri kullanılmış, sulama için bilgisayar kontrollü bir sistem düşünülmüştür. Çatının drenaj sisteminde, düşey yağmur iniş boruları kullanılmıştır. PV paneller, oluklu levha üzerine oturtulan, malzemeyle uyumlu taşıyıcı ayaklar yardımıyla çatıya monte edilmiştir. Oluklu levha, hem sıcak günlerde panel altında yeterli havalandırma ve soğutmaya imkân sağlayarak panel verimliliğinin düşmesini engellemekte, hem de ayakların oluk tepelerinden montajının yapılarak su sızdırmazlık ilkesine uygun bir uygulama oluşturmaktadır. Terastaki çatı üzerindeki PV paneller, güneşe uygun açıda konumlandırılabilmesi için açılı özel çerçevelere oturtulmuştur. Kullanılan PV paneller, yeni teknoloji, bulutlu havalarda da enerji üretebilen ince film panellerdir (Gemi 2010).



Şekil 4.68 Eğimli çatıda fotovoltaik güneş paneli uygulaması (Gemi 2010)



Şekil 4.69 Nevşehir Yurt Binası projesi (Anonim 2020g)



Şekil 4.70 Eğimli çatıda fotovoltaik güneş paneli uygulaması (Anonim 2020g)



Şekil 4.71 Eğimli çatıda fotovoltaik güneş paneli uygulaması (Anonim 2020g)

4.2.2 Schiphol Havaalanı

Çizelge 4.12 Schiphol Havaalanı biyosolar çatı proje bilgileri

SCHİPHOL HAVAALANI	AMSTERDAM/ HOLLANDA	
 Şekil 4.72 Schiphol Havaalanı genel görünüm (Anonymous 2020f)	**Proje Alanı (m^2)**	8.600 m^2
	Tamamlanış Yılı	2011
	Proje Tipi	Havaalanı
	Mimari/Yüklenici	Wieringen Prins Hovenriers
	Bitkilendirme	Ekstansif

Schiphol Havaalanı'ndaki Schiphol Plaza (merkezi giriş holü), Hollanda'da yeşil çatıyı güneş sistemiyle birleştiren ilk kullanımdır. Schiphol Havaalanı'nda yeşil çatılar önemli rol oynamaktadır. Zaten 1980'lerde merkezi giriş salonu olan Schiphol Plaza'ya yoğun bir şekilde dikim yapılmıştır. Sonrasında, yenileme gereksinimi olunca, yaklaşık 8.600 m²'lik büyük çatının 4-10 ° eğime sahip olması nedeniyle yenileme çalışmaları daha büyük bir zorluk olmuştur. Ayrıca, çatıda yer alan birkaç üçgen çatı penceresi de geniş çatı yüzeyini sınırlandırmıştır. Sistem yapısında, yeşil çatı ve PV paneller için gerekli birleşim yapılmıştır. Özellikle geniş çatı alanları için geliştirilen bu sistem çözümünde, filtreli drenaj ve su depolama elemanı kullanılmaktadır. Çatı yüzeyine önceden ekilmiş bitki örtüsü matları uygulanarak alanın hemen bitki türleri ile kaplanması sağlanmıştır. Yeşil çatıda, *Sedum sp*. türleri çatıya eşit şekilde dağıtılarak kullanılmıştır. PV Çerçeve Tabanı, çatı konstrüksiyonunun hafif eğimine adapte olacak şekilde uygulanmıştır (Anonymous 2020f).



Şekil 4.73 Havalanından biyosolar çatı görünümü (Anonymous 2020f)



Şekil 4.74 Biyosolar çatı yapım aşaması (Anonymous 2020f)

4.2.3 Chartered Bank Genel Merkezi

Çizelge 4.13 Chartered Bank Genel Merkezi biyosolar çatı proje bilgileri

CHARTERED BANK GENEL MERKEZİ	**LONDRA/ İNGİLTERE/ BK**	
 Şekil 4.75 Chartered Bank biyosolar çatısı (Anonymous 2020g)	**Proje Alanı (m^2)**	2.200 m^2
	Tamamlanış Yılı	2015
	Proje Tipi	Banka
	Mimari/ Yüklenici	Solinium Ltd.
	Bitkilendirme	Ekstansif

Londra'daki Chartered Bank Genel Merkezindeki yer alan çatının, biyosolar çatı olarak yenileme çalışması, bankanın düşük enerji tüketen ve düşük karbon salınımı yapan bir bina yaratmayı amaçlayan enerji verimliliği projelerinin bir parçasıdır. Yenileme projesi, güneş panellerinin yanı sıra çatının daha fazla biyoçeşitlilik sağlayan bitki varlığının değişimini içermektedir. Güneş panellerinin gölgelenmesinin ve verimliliğinin azaltmasını önlemek için, PV panellerin eğimleri ile panel sıraları arasındaki mesafenin planlanması ve alçak boylu uygun bitkilerin seçilmesi önemlidir. Yeşil çatıdaki buharlaşma, çatıdaki ortam sıcaklığının maksimum 35°C'nin altında tutulmasına yardımcı olarak, PV panellerinin verimliliğini artırmaktadır. PV paneller, 30 kWp performansa sahiptir (Anonymous 2020h).

Yeşil alan ve temiz enerji, eğer doğru tasarlanmışsa, çatı seviyesinde birlikte elde edilebilmektedir. Londra Belediye Başkanı, Londra'daki yenilenebilir enerjili çatı sayısını artırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerjilerin çatılara kurulacağı yerlerde yeşil çatılarla birleştirilmelerinin sağlanmasında fayda görülmektedir. Hem fotovoltaik panel çatının hem de biyosolar çatının Londra Merkez Etkinlik

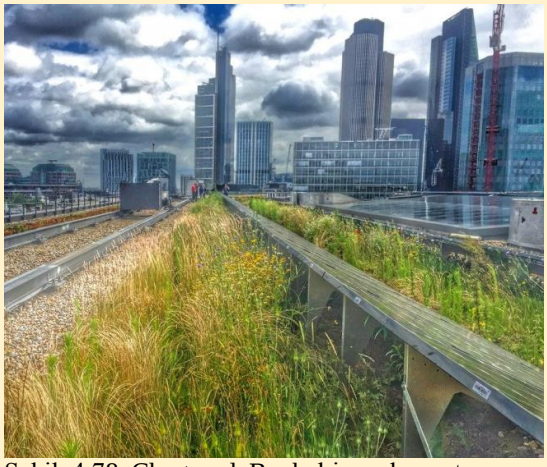
Bölgesi'nde, Chartered Bank gibi işletmelere kurulması için potansiyel bulunmaktadır (Anonymous 2020g).



Şekil 4.76 Chartered Bank biyosolar çatısı genel görünüm (Anonymous 2020g)



Şekil 4.77 Chartered Bank biyosolar çatısı (Anonymous 2020h)



Şekil 4.78 Chartered Bank biyosolar çatısı genel görünüm (Anonymous 2020g)



Şekil 4.79 Chartered Bank biyosolar çatısı (Anonymous 2020h)



Şekil 4.80 Chartered Bank biyosolar çatısı (Anonymous 2020h)



Şekil 4.81 Chartered Bank biyosolar çatısı (Anonymous 2020h)

4.2.4 Münih Teknoloji Merkezi

Çizelge 4.14 Münih Teknoloji Merkezi biyosolar çatı proje bilgileri

<table>
<tr><th colspan="2">MUNIH TEKNOLOJİ MERKEZİ</th><th>MUNIH/
ALMANYA</th><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="5">
Şekil 4.82 Münih Teknoloji Merkezi biyosolar çatısı (Anonymous 2020i)</td><td>Proje Alanı (m^2)</td><td colspan="2">2.500 m^2</td></tr>
<tr><td>Tamamlanış Yılı</td><td colspan="2">2008</td></tr>
<tr><td>Proje Tipi</td><td colspan="2">Teknoloji Merkezi</td></tr>
<tr><td>Mimari/ Yüklenici</td><td colspan="2">Glück Landschaftsarchitektur /Garten Moser</td></tr>
<tr><td>Bitkilendirme</td><td colspan="2">Ekstansif</td></tr>
<tr><td colspan="4">Münih Teknoloji Merkezi, kuruluş aşamasında uygun alan sağlayarak tüm teknoloji sektörlerinden kurucuları ve genç girişimcileri destekleyerek, şirketlere büyüme aşamasında belirlenen yeri koruma olanağı da sunmaktadır. 2.500 m²'lik çatıda, geniş yeşil çatıyla birleştirilmiş bir fotovoltaik sistem kullanılmıştır. Güneş panelleri mevcut çatı alanını en üst düzeye çıkarmak için neredeyse çatının kenarına kadar kurulduğundan, çatı alanının çevresinde düşmelere karşı korumak için ray sistemi kurulmuştur. Yeşil bir çatı, boş ya da çakıllı bir çatıya göre önemli ölçüde daha düşük bir yüzey sıcaklığına sahip olduğundan, PV paneller yeşil bir çatı üzerinde daha serin kalmakta ve böylece verimlilik arttığından yüksek bir enerji korunabilmektedir (Anonymous 2020i).</td></tr>
</table>



Şekil 4.83 Münih Teknoloji Merkezi binası (Anonymous 2020i)



Şekil 4.84 Münih Teknoloji Merkezindeki PV paneller (Anonymous 2020i)



Şekil 4.85 Münih Teknoloji Merkezi biyosolar çatısı genel görünümü (Anonymous 2020i)



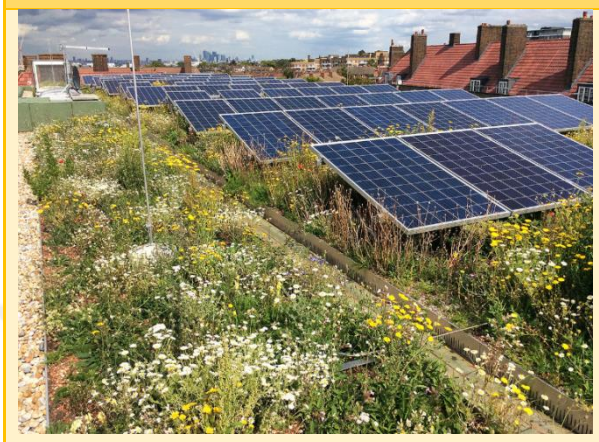
Şekil 4.86 Münih Teknoloji Merkezindeki PV panellerin monte edilmesi (Anonymous 2020i)



Şekil 4.87 Münih Teknoloji Merkezindeki PV panellerin çevresine döşenen ray sistemi (Anonymous 2020i)

4.2.5 Clapham Park

Çizelge 4.15 Clapham Park biyosolar çatı proje bilgileri

CLAPHAM PARK	LONDRA/ İNGİLTERE/ BK	
 Şekil 4.88 Clapham Park biyosolar çatısı genel görünümü (Anonymous 2020j)	**Proje Alanı (m^2)**	500 m^2
	Tamamlanış Yılı	2017
	Proje Tipi	Konut
	Mimari/ Yüklenici	PJMA Architects, EJ Roberts Ltd, M&M Electrical Ltd.
	Bitkilendirme	Ekstansif

Clapham Park, yeni ve uygun fiyatlı konutlar için, eski konutların yıkılmasını içeren, biyolojik çeşitliliğe sahip yeşil bir çatı ile PV panel dizisinin birlikte kullanılmasıyla son çatı teknolojisini içeren 21 konutun bulunduğu 5 katlı bir konut gelişimi programıdır. Bu yaklaşım ile planlama gereksinimleri karşılanmış ve konut sakinleri için enerji üretmek amacıyla sınırlı çatı alanından en üst düzeyde yararlanılmıştır. Clapham Park; geliştirme, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik özellikleri ile BREEAM (Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi) değerlendirmelerinden en üstün seviye olan "Üstün" Sertifikasına sahiptir. Projenin en büyük zorluklarından biri, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğinin temel hedeflerini karşılamak için sadece 500 m²'de yeşil bir çatı ve yenilenebilir bir enerji sistemi içermesi gereken çatı alanıdır. 35 bitki türü içeren yeşil çatı, polen taşıyıcılar için biyoçeşitlilik oluşturmaktadır. Yeşil çatı yükseltilmiş PV paneller ile kaplanarak, hem yeşil çatı olarak nitelendirilmiş hem de enerji üretimi sağlamıştır. Bina, 70 PV modülünden 75kWp'lık güç ile binanın elektrik kullanımın yaklaşık %10'unu üretmektedir. 500 m^2'lik yeşil çatının 116 m^2'si PV paneller ile kaplıdır (Anonymous 2020k).



Şekil 4.89 Clapham Park biyosolar çatısındaki PV panelleri genel görünümü (Anonymous 2020k)



Şekil 4.90 Clapham Park biyosolar çatısındaki bitki varlığı (Anonymous 2020k)



Şekil 4.91 Biyosolar çatı yapım aşamaları (Anonymous 2020j)



Şekil 4.92 Biyosolar çatı yapım aşamaları (Anonymous 2020j)



Şekil 4.93 Biyosolar çatı PV panel ve bitki varlığı genel görünüm (Anonymous 2020j)

4.2.6 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çizelge 4.16 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü biyosolar çatı proje bilgileri

<table>
<tr><th colspan="2">CAMBRIDGE UNİVERSİTESİ, İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ</th><th>CAMBRIDGE/ İNGİLTERE/ BK</th><th></th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="5">
Şekil 4.94 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü biyosolar çatısı (Anonymous 2020l)</td><td>Proje Alanı (m^2)</td><td>1.610 m^2</td></tr>
<tr><td>Tamamlanış Yılı</td><td>2019</td></tr>
<tr><td>Proje Tipi</td><td>Üniversite</td></tr>
<tr><td>Mimari/ Yüklenici</td><td>RH Partnership Architects, SDC Construction, Voland Limited</td></tr>
<tr><td>Bitkilendirme</td><td>Ekstansif</td></tr>
<tr><td colspan="4">Cambridge'in merkezindeki bu yeni inşa projesi, çatıda bitki örtüsü ile yenilenebilir enerjiyi birleştirmektedir. Sürdürülebilirlik, çatı tasarımında kilit bir faktör olarak tanımlanmış, sürdürülebilirlik kriterini karşılamak için mavi çatı (çatı havuzu), yeşil çatı ve PV panel çatıyı birleştiren bir çatı sistemi tasarlanmıştır. Bu şekilde üç farklı çatı sisteminin kullanılması ile İngiltere'deki ilk örnektir. İlk örnek olması sebebiyle tasarım ve inşaat ekibi için de yeni bir deneyim olmuştur. Kurulumun verimli olması için, ana yükleniciler ile çatı yüklenicileri ve PV montajcıları arasında iyi bir iletişim önemlidir. Çatı sisteminin ilk ve temel unsuru su yalıtımıdır. Biyosolar çatı sistemi, çatıdaki bitki örtüsünü yenilenebilir güneş enerjisi ile birleştirmenin eşsiz bir yoludur. PV panel montaj panoları, yetiştirme ortamındaki çakıl taşlarıyla tutulmakta, böylece su yalıtımı nüfuz etmemektedir. PV panel montaj panoları, çeşitli bitki türlerinin beslenmesi için fazla yağmur suyunun kısa süreler boyunca depolanmasını sağlayan bir su tutma özelliği içermektedir. PV panelleri, çerçeveler ile yerden yükseltilerek, bitkilerin özgürce büyümesini sağlamakta ve böylece çatının daha geniş bir alanı biyoçeşitlilik kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Bitki varlığı olarak, özellikle biyosolar çatı ortamları için uygun olan, gölgeye dayanıklı türler ile yavaş büyüyüp</td></tr>
</table>

gelişen türlerin geniş bir kombinasyonu seçilmiştir. Çatı drenajı açısından, bitkilerin istenmeyen büyümesinin drenaj sistemini tıkamasını önlemek için, menfez ve bitki örtüsü arasındaki bariyer 20-40 mm yuvarlak çakıl taşlarından oluşturulmuştur. Peyzajın sürdürülmesini sağlamak için, tıkanmaya ve basınca dirençli dengeleyici bir tasarıma sahip damla sulama sistemi yapılmıştır. Çatı alanına 40 adet PV panel kurulmuştur. PV paneller ile ilk yılda üretilen tahmini enerji 9,91 MWh'tir ve 5.242 ton/yıl CO_2 tasarrufu sağlanmaktadır. Biyosolar çatı sistemine ek olarak, binaya çatı havuzu da eklenmiştir. Çatı havuzları da su akış oranlarını azaltmak ve yağmur suyunu düz bir çatı üzerinde yönetmek için tasarlanmış sürdürülebilir drenaj çözümleridir (Anonymous 2020l).



Şekil 4.95 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği binası (University of Cambridge 2020)



Şekil 4.96 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği binası biyosolar çatısı (Anonymous 2020l)



Şekil 4.97 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği binası biyosolar çatısı (Anonymous 2020l)



Şekil 4.98 Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği binası biyosolar çatısındaki drenaj sistemi ile bitkiler arasındaki çakıl bariyer (Anonymous 2020l)

4.2.7 Geliştirme ve Veri Bilimi Ulusal İnovasyon Merkezi - National Innovation Centre for Ageing and Data Science Central (NICAD)

Çizelge 4.17 NICAD biyosolar çatı proje bilgileri

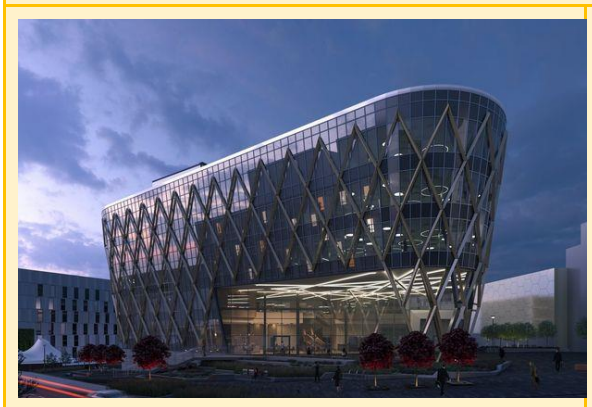
NICAD (Geliştirme ve Veri Bilimi Ulusal İnovasyon Merkezi)	**NEWCASTLE/ İNGİLTERE/ BK**	
 Şekil 4.99 NICAD biyosolar çatısı (Anonymous 2020m)	**Proje Alanı (m^2)**	1.500 m^2
	Tamamlanış Yılı	2020
	Proje Tipi	İnovasyon Merkezi
	Mimari/ Yüklenici	GSS Architecture, Chemplas Ltd.
	Bitkilendirme	Ekstansif

Newcastle'ı geliştirme ve veri inovasyonunun ön saflarına yerleştirmek için yapılan, 50 milyon pound'luk bina 20 Ocak 2020'de resmen tamamlanmıştır. Newcastle, Helix'te yer alan İnovasyon Merkezi, geliştirme ve veri bilimiyle ilgili ekonomik büyümeyi ve istihdam yaratmayı teşvik ederek bir kent merkezi odağı olarak hareket etmek üzere geliştirilmiştir. Simgesel yapı, sipariş üzerine yapılmış tesisler ile çeşitli ofislere ev sahipliği yapmaktadır (Ford 2020).

Geliştirme ve Veri Bilimi Ulusal İnovasyon Merkezi (NICAD) çatısı için, yeşil çatı çözümünün bütünlüğünden ödün vermeyen entegre bir PV sistemi istenmiştir. Bina, doğal bitki türlerinden oluşan yeşil çatı ile güneşten enerji üreten PV panellerden oluşan biyosolar çatıya sahiptir. Bu sistem ile su yalıtımı UV ışığı ile bozulmaya karşı korunacak, ayrıca biyosolar sistemi alt katmanı ve bitki örtüsü varlığıyla mekanik hasar riskini azaltacaktır. 30,78 kWp'lik bir sistem ile yıllık tahmini 26.140 kWh üretilmektedir. Bitki varlığı olarak, *Sedum* türlerinin yanı sıra, 36 doğal, çiçekleri ile etkili bitki türü ile 4 çim bitki türü kullanılmıştır (Anonymous 2020m).



Şekil 4.100 NICAD biyosolar çatısı (Anonymous 2020m)



Şekil 4.101 NICAD binası gece görünümü (Ford 2020)



Şekil 4.102 NICAD binası (Anonymous 2020m)

4.2.8 Basel Ana Sergi Salonu

Çizelge 4.18 Basel Ana Sergi Salonu biyosolar çatı proje bilgileri

BASEL ANA SERGİ SALONU (MESSEHALLE BASEL)	**BASEL/ İSVİÇRE**	
 Şekil 4.103 Basel Ana Sergi Salonu biyosolar çatısı (Labbe 2009)	**Proje Alanı (m^2)**	8.000 m^2
	Tamamlanış Yılı	2000
	Proje Tipi	Kongre Merkezi
	Mimari/ Yüklenici	Theo Hotz / Stephan Brenneisen
	Bitkilendirme	Ekstansif

Basel Ana Sergi Salonu çatısı ilk olarak 2000 yılında 7 cm volkanik alt katman ve *Sedum sp.* varlığıyla kurulmuştur. Basel Ana Sergi Salonu çatısının, İsviçre'deki en büyük yeşil çatı olduğu vurgulanmıştır. 2008 yılında Doğal Kaynakları Koruma alanında Bilim İnsanı olan Stephan Brenneisen, biyolojik çeşitlilik işlevlerini geliştirmek için bir çatıya organik madde ve odunsu birikintiler eklemek için yerel sanatçılar ve sergi salonu sahipleri ile çalışmıştır. Sergi salonu yeşil çatısı, yılda 215.000 kWh üreten ve çatıdaki bitki örtüsünün soğutma etkisi ile verimliliği artırılan PV paneller içermektedir (Labbe 2009).

Monokristal PV paneller yeni Basel Ana Sergi Salonu kompleksinin yeşil çatısına doğu-batı yönelimli olarak kurulmuştur (Ciriminna vd. 2019).



Şekil 4.104 Basel Ana Sergi Salonu çatısının 2008 yılı öncesi görünümü (Labbe 2009)



Şekil 4.105 Basel Ana Sergi Salonundaki PV paneller ile yeşil çatı (Zanetti 2020)



Şekil 4.106 Basel Ana Sergi Salonu biyosolar çatısı genel görünümü (Labbe 2009)



Şekil 4.107 Basel Ana Sergi Salonu biyosolar çatısı genel görünümü (Labbe 2009)



Şekil 4.108 Biyolojik çeşitlilik işlevlerinin geliştirilmesi için çatıya eklenen organik madde ve odunsu birikintiler ile PV paneller (Labbe 2009)



Şekil 4.109 Biyolojik çeşitlilik işlevlerinin geliştirilmesi için çatıya eklenen organik madde ve odunsu birikintiler ile bitkiler (Labbe 2009)

4.2.9 One Angel Lane

Çizelge 4.19 One Angel Lane biyosolar çatı proje bilgileri

ONE ANGEL LANE	LONDRA/ İNGİLTERE/ BK	
 Şekil 4.110 One Angel Lane biyosolar çatısı (Gedge 2019)	**Proje Alanı (m^2)**	4.000 m^2
	Tamamlanış Yılı	2010
	Proje Tipi	Ofis Binası
	Mimari/ Yüklenici	Michael Fletcher - Fletcher Priest Architets
	Bitkilendirme	Ekstansif

Nisan 2011'de açılan One Angel Lane'in iki yeşil çatı alanı vardır. Personelin erişebileceği intensif yeşil çatıda çimler, çalılar ve çok yıllık bitkiler bulunmaktadır. Bu çatının yanısıra, personel için kentsel gıda üretimi amaçlı, geniş bir çatı alanı da mevcuttur. Üst çatıda PV paneller, yeşil çatıya monte edilmiştir. Bu çatı arı kovanlarına ev sahipliği yapmakta olup, hem bal arıları hem de diğer polen taşıyıcıları için doğal bitki türleri de çatıya eklenmiştir (Grant ve Gedge 2019).

Yeşil çatılar; yağmur suyunun azaltılması, ekolojinin desteklenmesi ve binanın termal verimliliğinin artırılması için yapı tasarımına dahil edilmiştir. Biyosolar çatıda bulunan PV paneller, bina için 50 kW elektrik üretebilmektedir (Davies 2020).



Şekil 4.111 One Angel Lane biyosolar çatısı (Gedge 2019)



Şekil 4.112 One Angel Lane yeşil çatısı (Gedge 2019)



Şekil 4.113 One Angel Lane ofis binası (Anonymous 2020n)

4.2.10 Londra Olimpiyat Parkı (Queen Elizabeth Olympic Park) Medya Merkezi

Çizelge 4.20 Londra Olimpiyat Parkı Medya Merkezi biyosolar çatı proje bilgileri

LONDRA OLİMPİYAT PARKI MEDYA MERKEZİ	**LONDRA/ İNGİLTERE/ BK**	
 Şekil 4.114 Londra Olimpiyat Medya Merkezi biyosolar çatısı (Connop ve Gedge 2015)	**Proje Alanı (m^2)**	2.500 m^2
	Tamamlanış Yılı	2011
	Proje Tipi	Medya Merkezi
	Mimari/ Yüklenici	Allies and Morrison
	Bitkilendirme	Ekstansif

Londra'daki birçok yerel otorite, yeni binaların hem PV panelleri hem de yeşil çatıları içermesini istemektedir. Londra Olimpiyat Parkı'ndaki Medya Merkezi çatısı başlangıçta yeşil çatı hedefi ile Biyoçeşitlilik Eylem Planını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Daha sonra tasarım sürecinde, yenilenebilir enerji hedefi yeterli olmadığı için çatıda güneş enerjisi gerekmiştir. Başarılı bir tasarım ile çatı üç hedefi de karşılayabilmiştir. Ayrıca, İngiltere'nin ender türlerinden olan arılar, PV panellerinde yaşayabilmiş, yeşil çatılara güneş panellerinin eklenmesi ile oluşturulan biyosolar çatılar sayesinde, binanın kendi enerjisini üretmesiyle, enerji talebindeki azalma ile hidrokarbon kaynaklarına olan bağlılığın azalması gibi bir çok fayda sağlanmıştır (Gedge 2015).

Londra Olimpiyat Medya Merkezi Biyosolar Çatısı, Olimpiyat Parkı Biyoçeşitlilik Eylem Planı'ndaki hedeflere katkıda bulunmak için tasarlanmıştır. Yeşil çatı için hazırlanan tohum karışımı, yeşil çatı koşullarına uygun ve Olimpiyat Parkı'nda kaydedilen fauna varlığı için değeri olan türleri içermektedir. Yeşil çatıda kullanılan yer örtücü karışımında; %5 *Agrimonia eupatoria*, %5 *Anthyllis vulneraria*, %2,5

Centaurea nigra, %2 *Clinopodium vulgare*, %5 *Galium verum*, %2,5 *Hypericum perforatum*, %5 *Iberis amara*, %7,5 *Knautia arvensis*, %2,5 *Leontodon hispidus*, %5 *Leucanthemum vulgare*, %3 *Linaria vulgaris*, %10 *Lotus corniculatus*, %3 *Malva moschata*, %2,5 *Origanum vulgare*, %2,5 *Plantago media*, %8 *Sanguisorba minor*, %8 *Primula veris*, %2,5 *Prunella vulgaris*, %5 *Salvia verbenaca*, %7,5 *Scabiosa columbaria*, %5 *Silene vulgaris*, %1 *Verbascum nigrum* bulunmaktadır. Karbon verimliliği hedeflerine ulaşmak için, 2010 yılında çatıya 317 PV panel içeren bir dizi takılmıştır (Nash C. vd. 2016).



Şekil 4.115 London Olimpiyat Medya Merkezi biyosolar çatısı (Connop ve Gedge 2015)

4.3 Yeşil Çatıların Faydaları

Yeşil çatıların, kentsel ısı adasının azaltılması, biyoçeşitlilik sağlaması, yağmur sularının yönetimi, binaların ısı yalıtımı, ses yalıtımı, su yalıtımının korunması, hava kalitesinin arttırılması, tesis alanları oluşturması, kent manzarasına katkı sunması ve kentsel tarım gibi ekolojik, çevresel, sosyal ve ekonomik faydaları vardır.

4.3.1 Yeşil çatıların çevresel ve ekolojik faydaları

Yeşil çatılar biyoçeşitlilik ve yaşam ortamı sunan alanlardır. Yeşil çatılar, kentsel biyoçeşitliliğin artmasına katkıda bulunmakta, gittikçe azalan doğal çevreyi kısmen de olsa yeniden oluşturmakta, hayvanlar ve bitkiler için yaşam alanı sağlayabilmektedir (Erkul ve Sönmez 2014).

İklim değişikliği için Tyndale Center'da yapılan araştırmalar, iklim değişikliği ile mücadele etmek için kentsel alanlar için yeşil alanda %10'luk bir artışa gereksinim olduğunu göstermektedir. Bu özellikle "Kentsel Isı Adası Etkisi"nin azaltılmasıyla ilgilidir. Yeşil çatıların kentsel ısı adası etkisini azaltmada olumlu bir etkiye sahip olduğu kabul edilmektedir. Yeşil çatılar, kentsel alanlarda doğal hayat için önemli sığınaklar sağlayabilmektedir. İsviçre ve Birleşik Krallık 'ta yapılan araştırmalar, yeşil çatıların ender fauna popülasyonları için önemli sığınaklar sağlayabildiğini göstermiştir. Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sisteminde bir kaynak kontrol mekanizması olarak yeşil çatılar, yoğun yağış olaylarının bir sonucu olan ani taşkınların azaltılmasına yardımcı olabilmektedir. Bu, iklim değişikliğinin bir sonucu olarak giderek daha önemli hale gelecektir. Havadaki parçacıklar ve tozlar gibi kirleticiler, yeşil bir çatı üzerindeki katmanlar ve bitki örtüsü yardımıyla filtrelenmekte, böylece hava kalitesi arttırılmaktadır. Yeşil çatı sistemleri içindeki toprak, bitki ve hava katmanlarının birleşimi, ses yalıtım bariyeri görevi görmekte, ses dalgaları emilmekte, yansıtılmakta ya da saptırılmaktadır. Bitki ortamı ses frekanslarını bloke etmektedirler (Anonymous 2020o).

Yeşil çatılar, elimizde var olan bir alan ile çevre için olumlu birçok faydanın oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Binalara yeşil çatıları kazandırarak, bina ve çevresinin kalitesi arttırılmakta, artan kentleşme ile kendilerine yer bulmakta güçlük çeken hayvanlara da yaşam alanı oluşturulmaktadır. Hatta kent ölçeğinde yeşil çatılar arttırılarak, canlılar için ekolojik koridorlar oluşturulabilmektedir.

4.3.2 Yeşil çatıların sosyal faydaları

Yoğun kentsel ortamlarda, genellikle kent sakinleri için yeşil alan eksikliği vardır. Yeşil çatılar, kent sakinlerinin yaşam kalitesini artırmak için önemli yeşil alanlar sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, yeşil çatılarda tarım yapılabilmekte, kentlilere kendi yiyeceklerini yetiştirmek için bir alan sağlanabilmektedir (Anonymous 2020o).

Kentlerde yaşayan insanlar, kent hayatının getirdiği karmaşadan ve yoğunluktan uzaklaşmak ve dinlenmek için yeşil alanlara gereksinim duymakta, hafta sonlarında kentlerden doğal ortamlara kaçmaktadırlar. Bina çatılarında oluşturulan yeşil alanlar ile insanların bu gereksinimleri az da olsa giderilebilecektir. Yeşil çatılar, görsel etki oluşturması ve sosyal kullanım alanı olarak, insanların psikolojileri üzerinde olumlu etkiler sağlayacaktır. Kendi binalarında ya da ofislerinde yeşil çatıya sahip olan insanlar, çevrelerindeki insanlar ile sosyal ilişkiler geliştirebilecek, verimlilikleri artacak ve dinlenebileceklerdir. Ayrıca, yeşil çatılar binanın estetik değerlerini de yükseltecektir.

4.3.3 Yeşil çatıların ekonomik faydaları

Yeşil çatılar, üzerinde bulundukları bina çatılarını dış etkilerden korudukları için bir nevi kalkan görevi üstlenmekte, böylelikle çatı ömrünün uzun olmasını sağlamaktadırlar. Çatıda kullanılan malzemeler, daha az dış etkiye maruz kaldığı için daha uzun ömürlü olmakta; malzeme, enerji ve para tasarrufu yapılmaktadır. Yeşil çatıda yer alan bitkilerin varlığıyla bina, yazın sıcaktan kışın da soğuktan korunmaktadır. Yazın, bina içinde klima kullanımı önemli ölçüde azalmakta, kışın da ısıtma gereksinimi normal beton çatılara göre daha az olmakta, böylelikle yeşil çatılar

enerji verimliliği üzerinde olumlu bir etki sağlamaktadır. Bunların yanı sıra, yeşil çatıların bakımını üstlenen kişiler için istihdam olanağı yaratılmaktadır.

4.4 Biyosolar Çatıların Faydaları

Biyosolar çatıların, yeşil çatılarda olduğu gibi ekolojik, ekonomik ve sosyal faydalarının yanı sıra, binanın elektrik gereksinimini karşılamak, şebekeye uyumlu hale getirilerek fazla elektriği satarak maddi katkı sağlamak ve PV panellerin varlığı ile doğal yaşam alanı oluşturmak gibi faydaları bulunmaktadır. Bu faydalarının yanında asıl önemli olan husus ise, yeşil çatının PV verimliliğini arttırması ve böylece elektrik üretiminin artması, PV panellerin de yeşil çatıya farklı ortamlar oluşturarak biyoçeşitliliği arttırmasıdır. Ayrıca, iki faydalı çatı uygulaması bir alanda birleştirilerek, bir alanı maksimum faydada değerlendirme imkânı da doğmaktadır.

PV panellerinin de ekolojik ve ekonomik açıdan birçok faydası bulunmaktadır. PV paneller ile elektrik üretilirken, hidrokarbonlarda olduğu gibi herhangi bir kirletici etki yoktur, temiz enerji kullanılmakta ve böylelikle karbon salınımı azaltılmaktadır. Güneş enerjisi, yenilenebilir bir kaynaktır, tüm yıl boyunca enerji üretim olanağı vardır. Üretilen elektrik depolanmak istenirse de, pil depolama cihazı sisteme eklenerek, akşam saatleri için de enerji kullanım olanağı mevcut olmaktadır.

Yeşil çatı ve PV sistemleri, sürdürülebilir bina gelişimine ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilecek iki teknolojidir. Bu iki sistemi entegre etmek, soğutma ve gölgeleme efektleri ile çalışma şekillerini ve genel etkinliklerini artırabilir. Çeşitli deneylerin sonuçları bu entegrasyondan olumlu bir sonuç ortaya koymaktadır. Yeşil çatı yüzeyi ve toprak sıcaklıkları gölgelendirme dolayısıyla düşürülmekte, bu etki sebebiyle, PV paneller aşırı ısınmadığı için daha yüksek güç çıkışı elde edilmektedir. Düşük katlı bir ticari bina için, yıl boyunca bina enerji simülasyonundan elde edilen bulgular, biyosolar çatı sisteminin nem ve sıcaklık denetimi için enerji tüketiminin, bağımsız sistemden daha düşük olduğunu ve biyosolar çatı sistemi yaklaşımdaki PV sisteminin, sadece PV sistemindeki seçeneğe göre %8,3 daha fazla elektrik ürettiğini göstermiştir (Richardson 2018).

Birçok planlamacı, mimar ve sürdürülebilirlik uzmanı için, çatı seviyesinde ne sağlanacağı sorusu genellikle ya yeşil çatılar ya da güneş enerjisi panelleri olarak cevap bulmaktadır. Bununla birlikte, birçok Avrupa kentinde, kenti serinletmek, yağmur suyunu depolamak ve hava kalitesini iyileştirmek için aynı zamanda güneş enerjisi üreten, aynı zamanda biyoçeşitli habitatlar sağlayan birleşik bir yaklaşım kullanmaktadır. Biyosolar çatılar, iki teknoloji arasında simbiyotik bir ilişki yaratan, akıllı ve sürdürülebilir bir tasarımdır (Gedge 2015).

Doğa, planlama ve tasarım kavramlarını sistematik bir yapı içinde inceleyen, bunun yanı sıra sanat, bilim, mühendislik ve teknolojiyi bir araya getirerek alan tasarımı, planlaması ve yönetimi ile uğraşan bir meslek olan Peyzaj Mimarlığı, yaklaşık bir yüzyıldan daha uzun süredir yaşanabilir bir çevre yaratmak amacıyla dünyayı şekillendirmektedir (Ankara Üniversitesi 2020). Artan nüfus, hızlı kentleşme ve endüstrileşme faaliyetlerine bağlı olarak bina ve arazi kaynakları ile yeşil alanlara duyulan gereksinim gün geçtikçe artmaktadır. Peyzaj mimarları ve kentsel plancılar, insanlar için daha sağlıklı yaşam ortamları yaratmak, yeşil alanlar oluşturmak ve çevre kalitesini arttırmak için tasarım ve planlamalar yapmaktadır. Bu planlamalar yapılırken, mevcut kaynakları değerlendirmek de önem taşıdığından, çatı yüzeylerinden yararlanılması yeşil çatıların oluşturulmasını gündeme getirmiştir. Yeşil çatılara PV paneller ekleyerek, yeşil çatıların faydalarına bir de temiz enerji elde etmeyi ekleyen yeni bir yaklaşım olan biyosolar çatıların tasarlanması ve kent ölçeğinde kullanımları da, biyoçeşitliliği desteklemesi, sürdürülebilirliği, doğanın korunması ve estetik katkı sağlaması ile peyzaj mimarlığı açısından faydalar oluşturmaktadır.

4.4.1 Biyosolar çatıların PV paneller açısından faydaları

PV panelleri ve bitki örtüsünün birleştirilmesi ile oluşturulan biyosolar çatılarda, yeşil çatıdaki bitki örtüsünün PV Paneller açısından önemli faydaları bulunmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına öncülük eden ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmanın önemli bir yolu olan güneş enerjisi, iklim krizi ile birlikte daha az verimli hale gelmektedir. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT), küresel ısınma nedeniyle fotovoltaik hücrelerin bazı bölgelerde üretebileceği güç miktarının önemli ölçüde

azalacağına ve bunun gelecekteki enerji planlamalarında mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiğine dikkat çekmektedir. Her bir derece artış PV'lerin verimini %0,5 oranında azaltmaktadır (GÜNDER 2019).

PV paneller, yeşil bir çatı sistemi üzerine monte edildiğinde, yeşil çatı özellikle yaz aylarında soğutma etkisine sahip olduğundan, daha verimli çalışabilmektedir. Panellerin etrafındaki mikro iklim çok sıcaksa, paneller aşırı ısınmadan dolayı verimliliklerini kaybederler. Yeşil çatılar, güneş panellerinin verimli bir şekilde çalışması için en iyi sıcaklık olan panel sıcaklıkları 25 °C'ye yakın ya da daha yakın ortamlarda tutmaya yardımcı olmaktadır. Bunun yanı sıra, PV çerçeveleri ve panellerinin montajı yeşil bir çatı üzerinde daha kolay uygulanabilmektedir. Yeşil çatı sistemi alt katmanlarında su geçirmez tabakalara sahip olduğundan, PV paneller de yağmur sularının, çatıya nüfuz etme riski olmadan çatıya sabitlenebilirler (Richardson 2018).

Bitki örtüsünün soğutma etkisinin yanında bir başka olumlu etkisi de, parçacık madde birikiminin azaltılması nedeniyle güneş enerjisinin ve PV panellerin verimliliğini arttırmasıdır. Çatıdaki bitki varlığı havadan gelen tozları tutarak, PV panellerin tozla kaplanmasını engellemektedir. Bitki örtüsüz kaplama çatı yüzeyleri, yeşil bir çatının korumasına göre daha düşük bir ömre ve daha yüksek enerji tüketimine sahiptir (Catalano ve Baumann 2017).

PV panellerden elektrik üretilmesiyle, binanın enerji talebinde azalma meydana gelecek ve bu nedenle enerji faturaları düşecektir. Ekonomik boyutunun yanı sıra, karbon üreten enerjilere olan bağımlık azalacaktır. Biyosolar çatılar, bu özellikleriyle mimarların ve mühendislerin iklim değişikliğine uyumda kilit bir rol oynamalarını sağlar (Gedge 2015).

Bununla birlikte, biyosolar çatıları doğru bir şekilde tasarlamak ve kurmak çok önemlidir. Yanlış bitki seçimi ya da PV panellerin yanlış konumlandırılması pozitif etkileri negatife çevirebilir. Çabuk büyüyen bitkiler panellerin önüne yerleştirildiğinde, PV paneller gölgede kalacak ve üretimleri düşecektir. Bu sebeple, biyosolar çatının

tasarımı yapılırken bitki seçimine ve panel yerleşimine dikkat edilmesi önem taşımaktadır.

Aşağıda bir fotoğrafı bulunan, Kuzey Londra'daki örnekte çatıya çok fazla sayıda panel yerleştirilmiş, yanlış panel destekleri kullanılmış, istilacı ve odunsu olan *Buddleja davidii* (Kelebek Çalısı) fazlaca büyüyüp yayılarak PV paneller üzerinde gölgeleme oluşturup enerji üretiminin azalmasına sebep olmuştur (Gedge 2015) (Şekil 4.116) (Şekil 4.117).



Şekil 4.116 Yanlış tasarlanan bir biyosolar çatı örneği (Gedge 2015)

Aşağıdaki fotoğrafta da paneller birbirine çok yakın yerleştirilmiş ve yanlış bitki türleri seçilmiştir. Panellerin üzerine gölge düşmesi sebebiyle, panel verimlilikleri azalmıştır.



Şekil 4.117 Londra'da bulunan kötü tasarlanmış biyosolar çatı örneği (Livingroofs.org 2020)

4.4.2 Biyosolar çatıların yeşil çatılar açısından faydaları

Biyosolar çatılar, yeşil bir çatının tüm faydalarını sağlamanın yanı sıra enerji üretmektedir. Biyosolar çatılarda yer alan PV panellerin de, gelecekteki sağlıklı kentler için gerekli olan ve yeşil çatıyı yaşam alanları olarak benimseyen flora ile fauna için faydaları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, biyosolar çatılar, tek bir çatı üzerinde birden fazla ekosistem hizmetinin sunulmasına yardımcı olmaktadır. Biyosolar çatılardaki, PV panellerinin oluşturduğu gölge değişimleri bitki çeşitliliğini arttıracak, bu tür heterojenlik de bitkilerin çeşitliliği için uygun ışık ve nem konumları oluşturacaktır.

PV panellerin altında oluşan daha gölgeli bir alan, PV panellerin ön kısmında yağmur sularından dolayı daha nemli ortam oluşturmaktadır. PV panellerin arkasında oluşan daha kuru alanlar ise daha geniş bir bitki örtüsünün çeşitlenmesini sağlayan, farklı özelliklere sahip alanlar oluşturmakta, böylece daha çok kelebek, arı, böcek ve diğer türlere yaşam alanı sağlanabilmektedir (Richardson 2018).

Bitkiler açıkça güneş ışığına gereksinim duymaktadır, ancak bunun belirli sınırları vardır. Bir bitki fotosentez için güneş ışığını kullanma yeteneğini en üst düzeye çıkardığında, daha fazla güneş ışığı verimliliğini engelleyebilmektedir. Kuru iklimlere

özgü bitkiler, aşırı güneş enerjisi ile başa çıkmak için çeşitli yollar geliştirmiştir, ancak Arizona Üniversitesi'ndeki araştırmacıların belirttiği gibi, tarımsal ürünlerin çoğu çöl iklimleri ile uyumlu değildir. Çöl ikliminde başarılı bir şekilde bitki yetiştirmek için yoğun sulama yapılmaktadır. Yoğun sulama yapmak yerine, çöl iklimi bitkilerinin kullandığı doğal adaptasyonlar taklit edilebilir. Mesela, bazı bitkiler, diğer bitkilerin gölgesinde büyüyerek sert yaşam alanlarıyla başa çıkmaktadır. Sıcak iklimlerde, PV panellerinin gölgelerinde bitkiler yetiştirilerek bitkilerin yoğun sulama gereksinimleri azaltılabilir ve böylece su kaynakları daha ekonomik kullanılabilir (Mclendon 2019).

Biyosolar Çatı kullanımına benzer bir kullanım olan, agrivoltaiklerin de yetiştirilen bitkiler, polen taşıyıcıları ile tarımda çalışan insanlar için de faydaları bulunmaktadır.

Tüm bu faydaların yanı sıra, PV panellerin tarımsal kullanımlarında bir fayda daha mevcuttur. Güneş panelleri ve mahsuller birbirini soğuturken, tarlada çalışan insanlar için de aynı şeyi yapmaktadır. Arizona Üniversitesi'nden yapılan araştırmaya göre, ön veriler, agrivoltaik bir alanda insanların vücut sıcaklığının, geleneksel tarım alanlarından yaklaşık 18 °C daha soğuk olabileceğini göstermektedir. Doğa Sürdürülebilirlik Çalışmasının ortak yazarı Zirai Ekoloji Uzmanı Gary Nabhan; iklim değişikliğinin Arizona'daki gıda üretimini ve çiftlik işçisi sağlığını bozduğunu, Güneybatı ABD'de çiftlik işçileri arasında çok fazla ısı çarpması ve ısıya bağlı ölüm görüldüğünü belirtmiştir (Mclendon 2019).

Böcekler ve bal arıları, insanlar tarafından yetiştirilen tüm ürünlerin yaklaşık %75'ini ve tüm çiçekli bitkilerin yaklaşık %80'ini tozlaştırmaktan sorumludur, ancak şu anda dünya çapında yok olma tehlikesi ile karşı karşıyadırlar. Büyük ölçüde habitat kaybı, böcek ilacı kullanımı, istilacı türler ve hastalıkların karışımı nedeniyle her türlü tozlaştırıcı yıllardır azalma göstermektedir. Birçok değerli ürün, çoğu meyve, fındık, çilek ve diğer taze ürünler de dâhil olmak üzere böcek tozlaşmasına büyük ölçüde bağlıdır. Xerces Omurgasız Hayvanları Koruma Derneği'ne göre badem, çikolata, kahve ve vanilya gibi yiyecekler böcek tozlayıcıları olmadan mevcut olmayacaktır. Bunun yanı sıra, tozlaştırıcılara (polen taşıyıcı) bağımlı kaba yonca ya da yonca gibi bitkilerle beslenen büyük baş hayvanlar göz önüne alındığında birçok süt ürünü de sınırlı olacaktır.

Örneğin soya ya da çilek gibi böcek tozlaştırıcılarına gereksinim duymayan birçok ürün bile, böcekler tarafından tozlaştırıldıklarında daha yüksek verimle üretilmektedir. Bu durum, özellikle tozlaştırıcıların en büyük ekonomik rolü oynayabileceği tarım alanlarında, güneş çiftliklerinde daha fazla tozlayıcı habitatı için itici güçtür. Clean Technica'ya göre, bu, bir güneş şirketinin, arıcıların 2010 yılında bazı güneş çiftliklerinde kovan kurmalarına izin verdiği İngiltere'de iyi bir şekilde kurulmuştur. İngiltere şu anda kar amacı gütmeyen Fresh Energy'nin açıkladığı gibi, güneş alanlarında tozlayıcı habitat kullanarak uzun ve iyi belgelenmiş bir başarıya sahiptir (Mclendon 2019).

4.5 Biyosolar Çatılar Kapsamında Yapılan Araştırmalara Ait Sonuçlar

4.5.1 Biyosolar çatılarda biyoçeşitliliği izleyen bir araştırma

Londra Olimpiyat Parkı'nda (Queen Elizabeth Olympic Park) kurulan biyosolar çatının biyolojik çeşitliliğini izleyen bir araştırma, biyolojik çeşitlilikteki yeşil çatılar ile PV panellerin birleşiminin olumlu etkisini doğrulamıştır. Thames koridorunun açık habitatını taklit etmek için inşa edilen, 2.500 m^2 çatı üzerinde, solar panellerinin yakınında toplanan 92 bitki türü tanımlanmıştır. Bununla birlikte, çatıda bulunan eklembacaklıların %50'sinin korunması açısından önem taşıdığı düşünülürken, çatıdaki ender ve bilinen kuşların varlığı, iyi bir yiyecek arama kaynağını kanıtlamıştır. Dahası, özellikle kurak mevsimde solar PV ile odun ve moloz gibi yığılı elemanların yakınında, tür çeşitliliğinin daha yüksek olduğu, böylece güneş panellerinin yeşil çatıların biyoçeşitliliklerini arttırdığı kanıtlanmıştır (Catalano ve Baumann 2017) .

4.5.2 Biyosolar çatılardaki panel yüksekliğine ilişkin bir araştırma

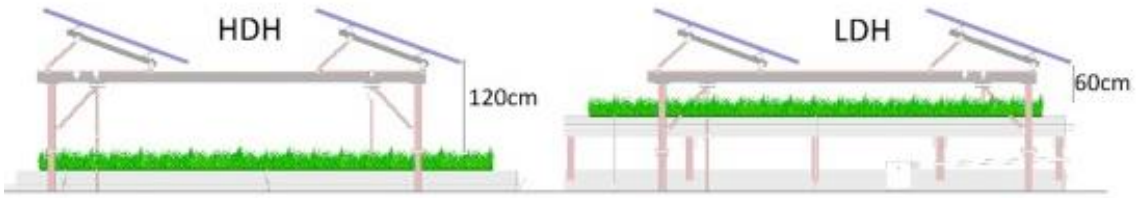
0,6 m ve 1,2 m yükseklikteki PV paneller ile deney ortamı oluşturularak, bitki örtüsünün biyokütlesine ilişkin bir araştırma yapılmıştır.

Deney sistemi, 2014 yılında, Kanada, St. George kent merkezinde bulunan Toronto Üniversitesi (University of Toronto - St. George Campus) binasının beşinci kat çatısında kurulmuştur. Tahliye izleme ekipmanını yerleştirmek için ahşap platformun

üzerine iki ayrı yükseltilmiş yeşil çatı (her biri 31,2 m^2) inşa edilmiştir. Ahşap platformlar güneye doğru %3,5 eğimde eğilmiş ve geçirimsiz bir çatı kaplaması ile kaplanmıştır. Yağmur sularına karşı konulan saç örtüler, her bir yeşil çatının kuzey, doğu ve batı kenarlarına yerleştirilmiştir. Her bir yeşil çatının üstündeki raf yapılarına iki sıra PV panel monte edilmiştir. PV panelleri ve yeşil çatı yüzeyi arasındaki dikey mesafeler, güney ve kuzey test modülleri için sırasıyla 0,6 m ve 1,2 m'dir. Sonrasında, dikey aralığı, 0,6 metre olan test modülü "düşük diferansiyel yükseklik" (LDH-low differential height), dikey aralığı 1,2 metre olan test modülü "yüksek diferansiyel yükseklik" (HDH-high differential height) olarak anılacaktır (Jahanfar vd. 2019) (Şekil 4.118) (Şekil 4.119).



Şekil 4.118 Biyosolar çatı sistemi deneysel bölgesi saha görünümü (Jahanfar vd. 2019)



Şekil 4.119 Biyosolar çatı sistemi deneysel bölgesi kesit görünümü (Jahanfar vd. 2019)

Bitki örtüsü verileri Mayıs ve Ağustos 2017 arasında, bitki örtüsünün sayısal bir tahminini elde etmek için kullanılan bir cihaz olan, "pin frame " kullanan mühendislik öğrencileri tarafından iki haftada bir toplanmıştır. Pin frame, 60 cm yüksekliğe sahip 16

iğneden oluşmaktadır. Doğrudan yetiştirme ortamının yüzeyine yerleştirilmiştir. Çimler için hem bitkilerin hem de yaprakların iğne dokunma sayısı kaydedilmiştir. Görsel gözlemlere dayanarak, HDH platformunun orta derecede gölgelemesiyle yetişen yapraklar daha kalın ve yaprak başına daha küçük bir alana sahipken, LDH platformunun esas olarak gölgelenmesiyle yetişen yapraklar daha ince ve sınırlı ışığın daha fazlasını yakalamak için yaprak başına daha büyük bir yüzey alanına sahip olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, büyüme aylarında PV panellerinin gölgesinde, biyokütlenin, gölgesiz kısımlardan önemli ölçüde fazla olduğu gözlenmiştir (Jahanfar vd. 2019). Doğrudan ışımanın PV panelleri tarafından bloke edilmesinin bitki büyümesini arttırdığı ve bir PV'den gelen gölgelemenin doğrudan güneş ışığını ve terleme-buharlaşma oranlarını azaltarak bitkiler için daha az kuraklık stresine yol açtığı tenkit edilmiştir (Nagengast vd. 2013).

PV panel yüksekliğinin 0,6'dan 1,2m'ye yükseltilmesi, on haftalık büyüme mevsiminin ardından biyokütleyi %47 artırmıştır. PV ve yeşil çatı arasındaki daha büyük dikey mesafe, daha fazla biyokütle ve daha iyi yetiştirme koşullarına yol açan daha fazla güneş radyasyonu ve daha fazla yağmura maruz kalan bitkiler sağlamıştır. PV ve yeşil çatı arasındaki daha büyük dikey mesafe, yeşil çatı-PV sisteminin biyokütle performansını göreceli olarak iyileştirse de, en iyi uygulama için, genellikle PV panelinin ve bitki örtüsünün yakın bir yere yerleştirilmesi gerektiği için, en düşük dikey mesafe önerilmektedir. Genellikle, PV panel ve bitki örtüsü terleme ve buharlaşma ile soğutmanın, güneş modüllerini doğrudan etkileyebilmesi için yakın bir yere yerleştirilmelidir. Aksi takdirde, yeşil çatı panelli ve yeşil çatısız yani sadece güneş panelli ortam sıcaklıkları arasındaki farklar PV güç çıkışını etkilemek için çok küçük olacaktır (Jahanfar vd. 2019).

4.5.3 Biyosolar çatılarda *Gazania rigens* ve *Sedum clavatum* yeşil çatıları ile PV-çakıl çatı karşılaştırmasına ilişkin bir araştırma

Araştırma, biyosolar çatıların Akdeniz ikliminde yaz koşullarında deneysel olarak değerlendirilmesine odaklanmıştır. Biyosolar çatı sistemleri için *Gazania rigens* (koyungözü) ve *Sedum clavatum* olmak üzere iki doğal tür (otokton) seçilmiş ve PV-

çakıl yapılandırması kullanılmıştır. Belirtilen çatı sistemleri, İspanya'daki Lleida Üniversitesi'nde geliştirilmiş ve test edilerek, termal ve ışınım analizi de yapılmıştır. Güneşli, beş günlük bir süre boyunca elde edilen sonuçlar, PV'lerin maksimum güç çıkışında (tesise bağlı olarak %1,29 ila %3,33 arasında değişen) ortalama bir artış göstererek PV paneller ile bitkiler arasındaki pozitif sinerjiyi doğrulamıştır. Tesis/PV etkileşiminin bir diğer olumlu etkisi, biyosolar çatı sistemlerinin, PV-çakıl düzenlemesine kıyasla oldukça düşük çatı yüzey sıcaklığı göstermesidir. Sonuç olarak, bu çalışma biyosolar çatı sistemlerinin, özellikle Akdeniz iklim koşullarında uygun olduğunu değerlendirmektedir (Chemisana ve Lamnatou 2014).

İspanya'da yazın iki ay boyunca yapılan bu saha deneyi, *Gazania rigens* ve *Sedum clavatum* çatıları üzerindeki PV'nin çakıl çatı üzerindeki PV'ye kıyasla sırasıyla %1,29 ve %3,33 daha fazla elektrik ürettiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, *Sedum clavatum* ve *Gazania rigens* karşılaştırılmasında, *Sedum clavatum* çatısının üzerindeki PV'lerin daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. *Sedum clavatum* üzerine yerleştirilen PV modülü, *Gazania rigens* üzerine yerleştirilenden %2,24 daha yüksek bir güç artışı sağlamıştır. Çatı yüzey sıcaklığı açısından, beş günlük süre zarfında, *Gazania rigens* olan yeşil çatı, çakıl çatıdan günlük ortalama %17,8 daha düşük, *Sedum clavatum* olan yeşil çatı ise günlük ortalama %26,1 daha düşük olarak gözlemlenmiştir (Chemisana ve Lamnatou 2014).

4.5.4 Biyosolar çatı ile siyah çatı-PV karşılaştırmasına ilişkin bir araştırma

Bu araştırmada, yeşil bir çatıya monte edilen PV panel (biyosolar çatı) ile siyah bir çatıya (PV-siyah) monte edilen PV panel sıcaklık farkları incelenerek bina çatıları ve PV panelleri arasındaki termal etkileşimleri araştırılmıştır. Yeşil çatı üzerindeki PV panelleri, siyah çatı üzerindeki PV panellerine göre sürekli olarak daha düşük sıcaklıklar kaydetmiş ve yeşil çatı üzerindeki PV panelleri, siyah çatı üzerindeki PV panellerine kıyasla daha fazla enerji çıkışına sahip olmuştur (Alshayeb ve Changa 2016).

PV panelleri ve çevresindeki yüzeyler arasında termal bir etkileşim vardır. Çatı malzemelerinin seçimi, entegre PV sistemli binalar için önemlidir. Almanya'daki bir

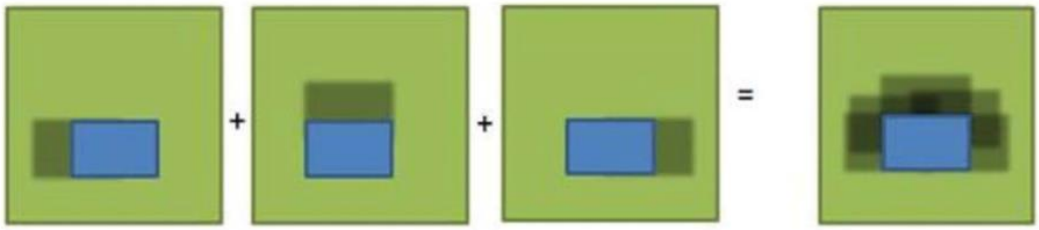
saha deneyi, yeşil çatı düzenekleri üzerindeki PV panellerin ortalama verimliliğini, bitüm (zift) çatı sistemleri üzerindeki PV panellerinkiyle karşılaştırmıştır. Sonuçlar yeşil bir çatının PV verimini ortalama %6 artırdığını göstermektedir (Alshayeb ve Changa 2016). Hong Kong'da yapılan bir günlük alan deneyi ise iki PV panelin klasik ve yeşil bir çatı üzerindeki performansını karşılaştırmıştır. Yeşil çatının yüzey sıcaklığı, klasik çatıdan 5-11 °C daha soğuktur ve yeşil çatı üzerindeki PV %4,3 daha fazla elektrik üretmiştir (Hui ve Chan 2011).

Siyah çatı-PV ve biyosolar çatının termal performans sonuçları kapsamında, 25 Eylül 2015 ve 30 Eylül 2015 tarihleri arasında toplanan verilere göre, biyosolar çatı siyah çatı-PV'ye göre daha düşük sıcaklıklarda kaydedilmiştir. Hava durumu istasyonunun saat 1:00'deki ortam sıcaklığı 21.85 °C iken, biyosolar çatı ve siyah çatı-PV altındaki hava sıcaklığı sırasıyla 31,8 °C ve 35,4 °C ölçülmüştür. Biyosolar çatı, ortam sıcaklığında siyah çatı-PV'den 3,6 °C daha düşük raporlanmıştır. Biyosolar çatı ve Siyah çatı-PV altındaki çatı yüzey sıcaklıkları sırasıyla 27,1 °C ve 35,5 °C olarak kaydedilmiştir. Enerji çıkışı açısından, siyah çatı-PV, biyosolar çatıdan %0,62 daha az enerji üretmiştir (Alshayeb ve Changa 2016).

Kansas Üniversitesi'nde öğrenciler tarafından yapılan deneysel bir çalışmada, güneş panellerinin çoğunlukla yerleştirildiği üç farklı tipte çatı malzemesi karşılaştırılmıştır. Beyaz ya da yansıtıcı çatılar, geleneksel (siyah) çatı ve yeşil çatılara göre PV panellerinin performansları gözlenmiştir. Rüzgâr hızı gibi koşulları kaydetmek için sıcaklık, nem ve ışık sensörleri ile bir hava istasyonu kurularak, sensörler bir yıl boyunca her beş dakikada bir kayıt yapmıştır. Kansas Üniversitesi'nden yapılan basın açıklamasında, yeşil çatı üzerine monte edilen panellerin en iyi performans gösterdiği, beyaz ve siyah çatılara kıyasla ortalama %1,4 daha fazla enerji ürettiği belirtilmiştir (Richardson 2018).

4.5.5 PV panellerinin biyosolar çatılar üzerindeki etkilerine ilişkin bir araştırma

Daha önceki çalışmalarda, genellikle biyosolar çatı sistemlerindeki PV panellerinin verimlilikleri üzerinde durulmuştur. Bu araştırma kapsamında ise, PV panellerinin yeşil çatılar üzerindeki etkilerine değinilmiştir. Güneş ışığını engelleyen nesneler toprak nemi, toprak sıcaklığı ve radyasyona etki etmektedir. Buna ek olarak, PV kaynaklı gölge bu fiziksel faktörlerde daha fazla heterojenliğe neden olmakta ve bu da, belirli bir alandaki tür topluluklarını ve topluluk yapısını etkilemektedir. Biyosolar çatının bazı kısımları en yakın panelden gölge alıp, diğerleri de komşu panellerden gölge alırken, diğer bölümler hiç gölge almadığından gölge alanlarının heterojen olması beklenmektedir. Sonuç olarak, nispeten küçük bir alanda, çok sayıda bitki türünü destekleyebilecek olan birden fazla ekolojik konum içeren oldukça heterojen bir ortam olacaktır (Schindler vd. 2016) (Şekil 4.120).



Şekil 4.120 Gün boyu çatıda farklı yerlerde PV panellerinin gölgesi (solda üç kutu), çatının farklı alanlarında farklı gölgeleme süreleriyle heterojen bir gölge ortamı yaratacaktır (sağdaki kutu) (Schindler vd. 2016)

Yardımcı bitkiler (nurse plants), fidelere barınak sağlayan erişkin bitkilere ilişkin araştırmalar, PV panellerin yeşil bitkiler üzerindeki etkileri hakkında bir fikir verebilir. Ekstansif yeşil çatılar, tipik olarak düşük su ve besin maddesi mevcudiyetine sahip sığ bir alt tabakaya sahip oldukları ve genellikle yüksek rüzgâr hızlarına maruz kaldıklarından sert ortamlardır. Bu nedenle PV paneller ve bitkiler arasındaki pozitif etkileşimlerin bu ortamda önemli olması beklenmektedir. Ayrıca, yardımcı bitkilere kıyasla PV panelleri; PV paneller kaynaklar için rekabet etmediğinden, etkilenen türlere olumsuz etkilerden ziyade daha çok olumlu olma eğiliminde olacaktır. PV panelleri, gölge sağlayarak toprak nemini çoğaltmakta ve panellerde toplanan çiy, paneli çevreleyen yoğun alanlarda damlayarak nem heterojenitesini arttırmakta ve çeşitli bitkilere uygun mikro habitatlar oluşturmaktadır. PV panelleri ayrıca bitkileri rüzgârdan koruyarak, potansiyel olarak bitki büyümesini artıracaktır. Ayrıca, PV paneller korunak

oluşturarak, yıllık tohumların rüzgârın çatıdan dağılmasını engelleyerek yıllık bitki popülasyonlarının bir çatı üzerinde yıldan yıla korunmasını teşvik edebilmektedir (Schindler vd. 2016).

4.5.6 PV panellerin domates ve biber üretimi üzerindeki etkilerine ilişkin bir araştırma

Agrivoltaikler, 2004'ten beri Japonya'da kitlesel olarak uygulanmakta olup, daha sonra Asya ve Avrupa'da yaygınlaşmıştır. Meyve üretimi de dâhil olmak üzere çeşitli ürünler bu sistemlerden yararlanabilmektedir. Oregon State Üniversitesi'nde Tarım Bilimleri Profesörü Chad Higgins: "8.000 yıl önce, çiftçilerin Dünya'da güneş enerjisi hasat etmek için en iyi yerleri buldukları ortaya çıktı" ifadesini kullanmıştır. Büyük ölçekli, güneş enerjisi santralleri binaların çatılarındaki güneş panelleri gibi daha küçük ve daha az merkezi kaynakları tamamlamaya yardımcı olan önemli bir güneş enerjisi kaynağıdır. Güneş çiftlikleri de çok yer kaplamakta ve aynı zamanda gıda ürünlerinin tercih ettiği aynı özelliklerin çoğuna sahip yerlerde gelişmektedirler. Son zamanlarda yapılan bir araştırmada, güneş enerjisi için en büyük potansiyele sahip alanlar, her ikisi için güneş ışığının önemi göz önüne alındığında, mantıklı olarak ekili alanlar olarak kullanılma eğilimindedir. Ekili alanlar bu yerlerin çoğunu işgal ettiğinden, bu durum güneş ve gıda çiftliklerini gayrimenkul için rakip olarak görmektedir (Mclendon 2019).

ABD'de tarım ve PV panellerin bir karışımı olan, agrivoltaikler olarak bilinen bu fikir yeni değildir, ancak yeni araştırmalar ne kadar faydalı olabileceğine ışık tutmaktadır. Aynı topraktan gıda ve temiz enerji hasat etmenin faydalarının ötesinde, çalışmalar güneş panellerinin ekinlerin performansını artırabileceğini (potansiyel olarak verimi artırabilir ve su gereksinimleri azaltabilir) ve ekinlerin de panellerin daha verimli çalışmasına yardımcı olacağını göstermiştir. PV paneller altındaki bazı mahsuller %328'e kadar daha su tasarrufu sağlayarak daha az sudan daha fazla gıda üretirken, küresel arazi verimliliğini de %73 artırabilmektedir (Mclendon 2019).

Nature Sustainability dergisinde yayınlanan Eylül 2019 tarihli bir araştırmaya göre, agrivoltaik sistemler bitki büyümesini ve çoğalmasını etkileyen üç önemli değişkeni

iyileştirebilmektedir. Bu değişkenler, hava sıcaklıkları, doğrudan güneş ışığı ve atmosferik su talebidir. Çalışmanın yazarları Arizona'da kurulmuş olan suni bir kapalı ekosistem olan Şekil 4.121'deki Biosphere 2'de PV panel dizisi altında bir agrivoltaik araştırma alanı oluşturmuş, Meksika ve ABD'nin güneybatısında bulunan vahşi Şili biberleri, jalapeño (*Capsicum annuum 'Jalapeño'*) ve kiraz domatesleri PV panellerinin altına dikilmiştir. Yaz dönemi boyunca, toprak yüzeyinin üzerine monte edilmiş sensörleri kullanarak güneş ışığı seviyelerini, hava sıcaklığını ve bağıl nemi, ayrıca 5 cm (2 inç) derinlikte toprak sıcaklığını ve nemi sürekli olarak izlenmiştir. Bir kontrol olarak, her ikisi de eşit sulama oranları alan ve günlük olarak iki sulama programı altında test edilen agrivoltaik alanın yakınında da geleneksel bir ekim alanı oluşturulmuştur. Panellerden gelen gölge, daha soğuk gündüz sıcaklıkları ile aşağıda büyüyen bitkiler için daha yüksek gece sıcaklıklarına ve havada daha fazla nem oluşmasına neden olmuştur. Bu, her mahsulü farklı şekilde etkileyerek, üç mahsul de önemli faydalar görmüştür (Mclendon 2019).



Şekil 4.121 Güney Arizona'daki Biyosfer 2'deki agrivoltaik sistemin görünümü (Patrick Murphy Arizona Üniversitesi, Mclendon 2019)

Arizona Üniversitesi'nde Coğrafya ve Kalkınma Profesörü olan Greg Barron-Gafford, yaptığı açıklamasında; gıda ürünleri doğrudan güneş ışığından kurtulduğu için, çoğunun güneş panellerinin gölgesinde daha iyi olduğunun görüldüğünü belirtmiştir. Ayrıca,

toplam doğal Şili biberleri üretiminin, agrivoltaik bir sistemdeki PV panelleri altında üç kat daha fazla ve domates üretiminin de iki kat daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Jalapeñoların da hem agrivoltaik hem de geleneksel senaryolarda benzer miktarda meyve ürettiği, ancak agrivoltaik kurulumda %65 daha az su kaybı (terleme) ile bunu yaptığı, aynı zamanda her sulama olayının mevcut tarım uygulamalarında olduğu gibi, sadece saatlerce değil, günlerce mahsul büyümesini destekleyebileceği görülmüştür. Bu bulgu su kullanımının azaltılabileceğini ancak yine de gıda üretim seviyelerinin korunabileceğini göstermiştir. PV panelleri altındaki alanlar %328 daha fazla su tasarrufu sağlamış ve güneş panelleri altında diğer bölgelere göre %90 daha fazla biyokütle artışı izlenmiştir (Mclendon 2019).

Bu faydalarının yanı sıra, biyosolar çatılarda olduğu gibi panellerin altında bitki yetiştirmek panellerin sıcaklığını düşürerek verimliliklerini arttırmıştır. Aşırı ısınan güneş panelleri, altındaki mahsullerin doğal terleme süreci boyunca su yaymasıyla soğutulmaktadır. Bu sistem, gıdaları büyütmekte, su kullanımından tasarruf etmekte ve yenilenebilir enerji üretmektedir.

4.6 Biyosolar Çatılarda Kullanılabilecek Bitki Türleri

2.Bölüm içerisinde (Bölüm 2.5.2'de) kuraklık ve basınca dayanıklı türlerin panellerin önüne, gölgeli ve nemli ortam seven, rekabete dayanabilen türlerin ise panellerin arka kısmına dikilmesinin önerildiği vurgulanmıştı. Doğal bitki türlerinin kullanılmasının yanı sıra, bitkilerin panelleri gölgelendirmemesi ve böylece enerji üretimini etkilememesine dikkat edilmeli ve yer örtücü bitkiler tercih edilmelidir (Catalano ve Baumann 2017).

Gölge ve etkileri bazı türlere zarar verdiğinden, PV panelleri tarafından kısmen gölgelenmiş yeşil bir çatı üzerinde bulunabileceği gibi farklı gölge seviyelerine sahip heterojen bir ortamda farklı bitki topluluğu oluşturulabilir (Schindler vd. 2016).

Aşağıda, Ankara'daki biyosolar çatılarda kullanılabilecek bitkiler, özellikleri ile bir tabloda özetlenmektedir. Seçim yapılırken, mümkün olduğunca, boylu bitkiler yerine yer örtücü bitki türlerine yer verilmiştir. Seçilen bitki türlerinin kurağa ve soğuğa dayanıklı olmasının yanı sıra doğal bitki türlerine ağırlık verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, biyosolar çatılarda kullanılabilecek bitki türlerinin Ankara için seçilmesinin nedeni; Ankara'nın başkent olarak, örnek bir kent teşkil etmesinin yanı sıra kamu kurumları, üniversiteler ve iş merkezleri gibi birçok önemli yapıya ev sahipliği yapmasıdır.

Çizelge 4.21 Biyosolar çatılarda kullanılabilecek bitki listesi

1	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Fabaceae (Baklagiller)
	Astragalus lydius	**Anadolu geveni**	**BOYU**	15 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Mor, Mavi
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim Taşlı, kumlu, verimli ve kuru topraklar
			IŞIK İSTEĞİ	Güneş
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, yarı odunsu, yayılıcı
2	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Asteraceae (Papatyagiller)
	Bellis perennis	**Çayırgüzeli**	**BOYU**	10-15 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Beyaz, pembe, kırmızı
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim Her toprakta yetişir, tercihen killi, humuslu nemli toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Yarıgölge, direk güneş ışığı almayan aydınlık yerler
			EK ÖZELLİK	İki yıllık, otsu
3	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Campanulaceae (Çançiçeğigiller)
	Campanula cymbalaria	**Kaya çançiçeği**	**BOYU**	10-30 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Mor
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Kayalı-kumlu, drenajı iyi, kuru topraklar
			IŞIK İSTEĞİ	Yarı gölge
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu, dik ya da yayılıcı gövdeli

	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Caryophyllaceae (Karanfilgiller)
	Cerastium tomentosum	Yaz karı	BOYU	20-30 cm
4			ÇİÇEK RENGİ	Beyaz
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Besin maddelerince fakir ve nemli toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli – yarı gölge
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, yarı odunsu, sürünücü

	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Cucurbitaceae (Kabakgiller)
	Ecballium elaterium	Şeytan keleği, Acı dülek	BOYU	25 cm
5			ÇİÇEK RENGİ	Açık sarı
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman iklim, Her türlü toprak tercihen kumlu, gevşek, geçirgen
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu, sürünücü gövdeli Ekolojik valansı geniştir.

	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Poaceae (Buğdaygiller)
	Festuca ovina	Mavi koyunyumağı	BOYU	20-40 cm
6			ÇİÇEK RENGİ	Mavimsi
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman iklim, Her türlü toprak, tercihen kumlu-killi, gevşek, drenajı iyi
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu, yangınlara dayanıklı

	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Rubiaceae (Kökboyasıgiller)
	Galium incanum	**Yoğurtotu**	**BOYU**	2,5 – 40 cm
7			**ÇİÇEK RENGİ**	Beyaz
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Taşlı, kayalı, kumlu, geçirgen, fakir, kuru, kireçli topraklar
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, yarı odunsu
	LATİNCE ADI	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Clusiaceae (Guttiferae)
	Hypericum perforatum	**Sarı Kantaron**	**BOYU**	10-100 cm
8			**ÇİÇEK RENGİ**	Sarı
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Her türlü toprak, tercihen kumlu geçirgen, organik maddece zengin
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli – yarı gölge
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu
	LATİNCE ADI	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Scrophulariaceae (Sıraca otugiller)
	Linaria grandiflora	**Nevruzotu**	**BOYU**	30 – 65 cm
9			**ÇİÇEK RENGİ**	Açık sarı
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Kumlu, kayalı, kalkerli, drenajı iyi, kuru topraklar
			IŞIK İSTEĞİ	Bol güneşli
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu

	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Campanulaceae (Çançiçeğigiller)
	Lobelia erinus	Lobelya	BOYU	10-25 cm
10			ÇİÇEK RENGİ	Açık mavi, menekşe renkli, beyaz gözlü
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Her türlü toprak, tercihen gevşek, humuslu, havalanmış
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli – yarı gölge
			EK ÖZELLİK	İki yıllık, otsu, sürünücü
	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Lamiaceae (Ballıbabagiller)
	Salvia tchihatcheffii	Anadolu adaçayı	BOYU	15-20 cm
11			ÇİÇEK RENGİ	Açık menekşe-beyaz
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Kireç bakımından zengin, geçirgen, kuru topraklar
			IŞIK İSTEĞİ	Bol güneş
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, yarı odunsu, erozyon kontrolünde kullanılır
	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Lamiaceae (Ballıbabagiller)
	Salvia wiedemannii	Türk adaçayı	BOYU	15-30 cm
12			ÇİÇEK RENGİ	Kırmızımsı mor, leylak mavi
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Kireç bakımından zengin, geçirgen, kuru topraklar
			IŞIK İSTEĞİ	Bol güneş
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, yarı odunsu, mükemmel yer örtücüdür

13	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Crassulaceae (Damkoruğugiller)
	Sedum acre	**Acı damkoruğu**	**BOYU**	10-20 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Parlak sarı
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Taşlı, kumlu geçirgen, kireç açısından zengin toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Bol güneş
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu, yayılıcı, sürünücü
14	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Crassulaceae (Damkoruğugiller)
	Sedum album	**Beyaz damkoruğu**	**BOYU**	5-15 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Beyaz, bazen pembe
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Taşlı, kumlu geçirgen, kireç açısından zengin toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Bol güneş
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, yarı odunsu, yayılıcı, Dik-sürünücü
15	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Crassulaceae (Damkoruğugiller)
	Sedum reflexum	**Sarı damkoruğu**	**BOYU**	30 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Sarı
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Taşlı, kumlu geçirgen, kireç açısından zengin toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Bol güneş
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu, yayılıcı

16	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Crassulaceae (Damkoruğugiller)
	Sedum spectabile	**Anne çiçeği**	**BOYU**	35-45 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Pembe
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Kumlu geçirgen ve verimli toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu
17	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Crassulaceae (Damkoruğugiller)
	Sedum spurium	**Makarna**	**BOYU**	10-15 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Pembe
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, Her türlü toprakta yetişir. Tercihen taşlı, kumlu geçirgen ve drenajı iyi toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Bol güneş
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu, sürünücü gövdeli
18	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Asteraceae (Papatyagiller)
	Tagetes patula	**Kadife çiçeği**	**BOYU**	20-40 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Altın sarısı, Kırmızı- kahverengi
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, her türlü toprak, tercihen organik açıdan zengin geçirgen toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli
			EK ÖZELLİK	Bir yıllık, otsu

	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Asteraceae (Papatyagiller)
19	*Tagetes tenuifolia*	Sürünücü kadife	BOYU	10-30 cm
			ÇİÇEK RENGİ	Kükürt-altın sarısı
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman İklim, her türlü toprak, tercihen organik maddece zengin toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli
			EK ÖZELLİK	Bir yıllık, otsu, sürünücü
	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Lamiaceae (Ballıbabagiller)
20	*Thymus longicaulis*	Kekik	BOYU	10-15 cm
			ÇİÇEK RENGİ	Leylak - pembe
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman iklim, Taşlı, kumlu, gevşek, fakir, kuru, drenajı iyi topraklar
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli-yarı gölge
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, odunsu, sürünücü, yayılıcı
	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Verbenaceae (Mineçiçeğigiller)
21	*Verbena speciosa*	Mor mine	BOYU	30-40 cm
			ÇİÇEK RENGİ	Leylak – mor
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman iklim, Organik maddece zengin, verimli, kumlu toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Bol güneşli – yarı gölge
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, yarı odunsu, yayılıcı, sarkıcı

22	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Scrophulariaceae (Sıraca otugiller)
	Veronica thymoides	**Yörük halısı yavşanotu**	**BOYU**	20-30 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Koyu mavi
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman iklim, Kumlu, geçirgen, fakir, kireçsiz, nötr topraklar
			IŞIK İSTEĞİ	Güneşli-yarı gölge
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, yarı odunsu, erozyonla mücadele çalışmalarında tercih edilir.
23	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Apocynaceae
	Vinca major	**Büyük yapraklı Cezayir menekşesi**	**BOYU**	15-25 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Koyu leylak - mavi
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman iklim, Verimli humuslu ve nemli toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Koyu gölge
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu, yayılıcı, sürünücü
24	**LATİNCE ADI**	**TÜRKÇE ADI**	**FAMİLYA**	Apocynaceae
	Vinca minör	**Minyatür yapraklı Cezayir menekşesi**	**BOYU**	15 – 30 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Açık gök mavisi
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Ilıman iklim, Verimli humuslu ve nemli toprak
			IŞIK İSTEĞİ	Yarı gölge - gölge
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu, sürünücü

	LATİNCE ADI	TÜRKÇE ADI	FAMİLYA	Violaceae (Menekşegiller)
25	*Viola odorata*	**Kır menekşesi, kokulu menekşe**	**BOYU**	5-10 cm
			**ÇİÇEK RENGİ**	Koyu menekşe, mor, beyaz ya da pembe
			İKLİM VE TOPRAK İSTEĞİ	Soğuk ılıman iklim, Organik maddece zengin, nemli, verimli topraklar
			IŞIK İSTEĞİ	Gölgeli
			EK ÖZELLİK	Çok yıllık, otsu, yayılıcı

Bitki seçimi yapılırken, biyosolar çatılarda kullanılacağından ve PV paneller üzerine gölge yapmamaları açısından, boylu bitkiler yerine genellikle 50 cm'den daha az, yayılıcı ya da yer örtücü bitkiler seçilmiştir. Seçilen bitki türlerinin hepsi ılıman iklim koşullarını tercih etmekte, ışık istekleri ise çeşitlilik göstermektedir. Işık isteklerine göre biyosolar çatılardaki yerleşimleri yapılmalı, güneşli ortam seven bitkiler PV panellerin önüne, gölge ortam seven bitkiler ise panellerin altına yerleştirilmeli, yarı gölge bitkileri ise PV panellerin gölge durumlarına göre konumlandırılmalıdır. Ankara'nın iklimi düşünülerek bitki seçimleri yapılmış ve kullanılan bitkilerin soğuğa dayanıklı olmalarına ayrıca dikkat edilmiştir.

Bir yıllık bitkilerin estetik ve dekoratif değerleri, çok yıllık bitkilerden daha iyi olmasına rağmen, genel olarak bir yıllık bitkilerin kullanılması oldukça pahalıya mal olmaktadır. Çok yıllık bitkilerin tercih edilmesi ise daha ekonomiktir (Yücel 2004). Bu kapsamda, hem daha ekonomik olması hem de daha az bakım gerektirmesi amacıyla genellikle çok yıllık bitkiler tercih edilmiştir.

ABD'de yer alan Kolorado Eyalet Üniversitesi'nde (Colorado State University) yapılan bir çalışma kapsamında, Denver'de düzenlenen bir biyosolar çatıda *Allium cernuum, Antennaria parvifolia, Bouteloua gracilis, Delosperma cooperi, Eriogonum*

umbellatum aureum, *Opuntia fragilis*, *Sedum lanceolatum* ve *Sempervivum 'Royal Ruby'* bitkileri kullanılmıştır (Bousselot, Slabe, Klett ve Koski 2017).

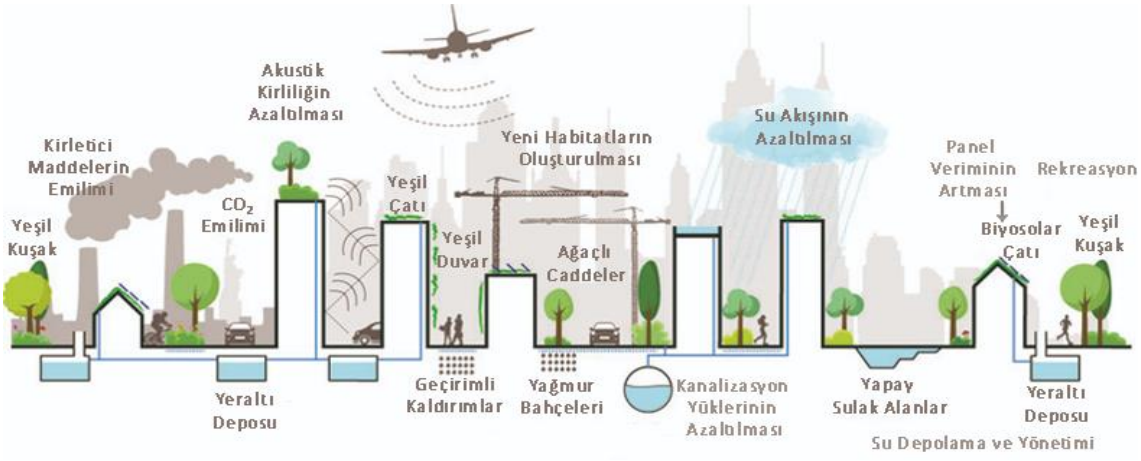
Ayrıca, İngiltere'de bir biyosolar çatı için kır çiçekleri karışımı satan bir kuruluş (Habitat Aid) güneşli kısımlar için *Anthyllis vulneria* (Çoban gülü), *Centaurea nigra*, *Echium vulgare* (Engerek otu), *Galium verum* (Yoğurt otu), *Hypericum perforatum* (Sarı kantaron), *Knautia arvensis* (Misk çiçeği), *Scorzoneroides autumnalis*, *Leontodon hispidus*, *Linaria vulgaris* (Nevruz otu), *Lotus corniculatus* (Gazel boynuzu), *Malva moschata* (Moloş, misk-ebegümeci), *Origanum vulgare* (Oregano), *Plantago media* (Sinirli ot), *Sanguisorba minör* (Küçük çayırdüğmesi), *Ranunculus acris* (Acı düğünçiçeği) ve *Sedum acre* (Acı damkoruğu) karışımı hazırlamıştır. Gölge alanlar için ise; *Agrimonia eupateria* (Koyunotu), *Arum*, *Geum urbanum* (Meryem otu), *Primula veris* (Yabani çuha), *Silene pendula* (Nakıl) *ve Viola odorata* (Kokulu menekşe) karışımlarını, normalden daha yüksek bir oranda ekim önerisinde bulunmuştur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Günümüzdeki nüfus artışı ile hızlı kentleşme, hem insanları bir arada yaşamaya zorlamış hem de arazilerin daha değerli olmasına yol açmıştır. Bundan dolayı çok katlı yapılar artmış, doğa ve yeşil alanlar tahrip edilmiş, doğal alanların bozulması ve arazi kullanımlarındaki değişiklikler sonucunda doğal habitatlar yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmış, su ve hava kirliliğinin artması gibi çeşitli çevre sorunları ortaya çıkmıştır. Nüfus artışına bağlı olarak, endüstrileşmede de artış yaşanması enerji gereksinimini arttırmış, daha çabuk enerji elde edilebilen fosil kaynaklı kömür, doğal gaz ve petrol gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı sonucu oluşan karbondioksit ve diğer sera gazları da atmosfere salınarak iklim değişikliklerine ve küresel ısınmaya neden olmuştur.

Kentleri birkaç ekosistem benzerinden ziyade tek bir ekosistem olarak incelemek için bir ekosistem perspektifinin benimsenmesi gerekmektedir. Bu, kent-çevre ilişkilerinin doğrusal perspektiften ziyade dairesel bir şekilde kavrandığını ve diğer önemli hususlar arasında ekonomik, sosyal ve çevresel kaygılar ile hizmetler arasındaki değişimlerin yanı sıra kentsel abiyotik (su, hava, toprak) ve biyotik (hayvanlar, bitkiler ve insanlar) etkileşimlerinin bulunduğu anlamına gelmektedir. Disiplinler arası çalışmalardaki gelişmeler sayesinde, kentsel metabolizma ve ekosistem kavramları, sürdürülebilir tasarım ve planlamada farklı ölçeklerde uygulanabilir. Kentsel yeşil bir altyapı, çeşitli fonksiyonları yerine getiren çok işlevli bir araçtır. Yeşil ve mavi alanlar rekreasyon, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, karbondioksit emilimi, hava ve su arıtımı ile biyojeokimyasal döngülerin kısmi restorasyonu için kullanılabilir (Catalano ve Baumann 2017) (Şekil 5.1).

Kentsel yeşil altyapıyı oluşturan elemanlar olan yeşil kuşak, yeşil çatı, mavi (havuz) çatı, biyosolar çatı, yeşil duvar, yol ve sokak ağaçları ile parklar gibi rekreasyon alanları nüfus artışı ve hızlı kentleşmenin kentsel ekosistemlerde oluşturdukları tahribatı azaltarak, iyi düzenlenmiş bir kentsel yeşil altyapı ile kentlilerin yaşam standardını da yükseltir.



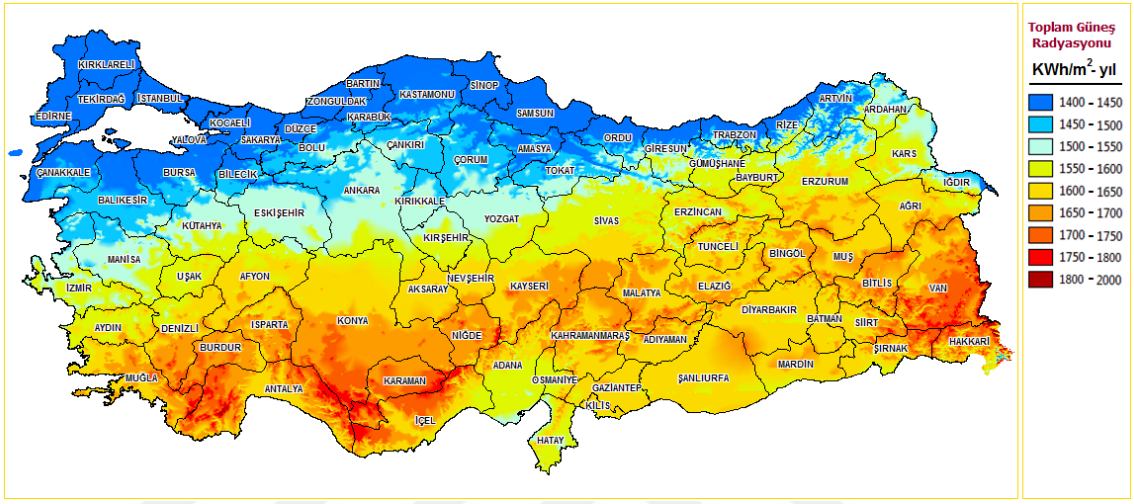
Şekil 5.1 Kentsel yeşil altyapının ekosistem hizmetleri (Catalano ve Baumann 2017)

Kentlerde yer alan yeşil kuşaklar, yeşil çatılar, biyosolar çatılar, yeşil duvarlar ve rekreasyon alanları kirletici gazlar ile karbondioksit emilimini, akustik kirliliğin azaltılmasını sağlamakta ve yeni habitat alanları yaratmaktadır. Bunun yanı sıra yeşil çatılar, biyosolar çatılar ve mavi çatılar yağan yağmurlar sonucu oluşan su akışını azaltmakta ve bina yalıtımlarına olumlu yönde katkıda bulunarak binaların enerji maliyetlerinde azalmalara neden olmaktadır. Biyosolar çatılar, panel verimliliklerini arttırarak daha çok temiz enerji üretimini sağlarlar. İnşa edilmiş sulak alanlar ile su depolama ve yönetimi yapılırken, kanalizasyon yüklerinin de azaltılması sağlanmaktadır.

Nüfus artışı, hızlı kentleşme ve endüstrileşme, her türlü arazinin çok değerli hale gelmesi ile birlikte bir alanı birden çok işlevli kullanma isteği, binanın kendi enerjisini temiz enerji ile sağlaması, bunun yanı sıra kent ekosistemine katkıda bulunması nedeniyle biyosolar çatılara yönlendirmektedir.

Ülkemiz bulunduğu coğrafi konumu ile çeşitli güneş enerjisi uygulamalarına uygundur. Bunun yanı sıra ülkemizde güneş enerjisi ile ilgili uygulamalarda teşvikler bulunmaktadır. En temiz kaynaklardan olan güneş enerjisi, çevreci olması, enerjide dışa bağımlılığı azaltması ve elektrik altyapısı olmayan yerlerde şebekeden bağımsız olarak elektrik elde edilebilmesi gibi özellikleri ile gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Ayrıca eskiden pahalı olan kurulum maliyetinin de günümüzde daha düşük olduğu

bilinmektedir. Işıma seviyesi 1.500 KWh/m^2 ve yukarısındaki değerlerde panel verimliliği artmaktadır. Aşağıda yer alan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına göre ülkemizin yüzölçümünün yarısından fazlasında güneş enerjisi kullanımı faydalıdır. Ankara'nın güneyinde yer alan bölgelerde de PV panellerinin kullanımı verimli olacaktır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Güneş enerjisi potansiyel atlası (yegm.gov.tr)

Güneş panellerindeki maliyetin düşmesi ile PV panellerinin verimliliğinin artması da güneş enerjisi alanındaki yatırımlara hız kazandırmıştır. 2050 yılında küresel ölçekte elektriğin, yaklaşık %69'unu PV paneller ile güneş enerjisi, %18'ini rüzgâr, %8'ini hidroelektrik ve %2'sini ise biyoenerjinin oluşturacağı öngörülmektedir (Yılmaz 2018).

Ülkemizin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli ile gelecek yıllarda, güneş enerjisi teknolojisi daha yoğun olarak kullanılacaktır (Özgün 2015).

Büyük bir sera gazı üreticisi olan fosil yakıtlar, doğada foto sentetik işlemle üretildiklerinden daha hızlı tüketilmektedir. Bunun yanı sıra fosil yakıtlar, yenilenemez enerji kaynağı oldukları gibi, çevresel kirlilik ve küresel boyutta iklim değişikliği de oluşturmaktadır. İnsanlığın en temel gereksinimlerinden olan enerjiyi, temiz enerji kaynaklarından elde etmek, gelecek kuşakların daha güzel bir dünyada yaşayabilmesini sağlayacaktır.

Çevreye duyarlı bir tasarım örneği olan biyosolar çatılar, çevre sorunları üzerinde olumlu etkiler sağlayarak, hem bitkisel materyalin bina için yalıtım oluşturmasıyla binanın enerji tüketimini azaltmasına yardımcı olmakta hem de PV paneller ile bina için gerekli enerjiyi üretmektedir. Yenilenebilir enerji üretmek, sağlıklı kentler oluşturmak, güneş panellerinin veriminin artması, PV paneller tarafından sağlanan ek mikro iklimlerin daha geniş bitki türü yelpazesi ile biyoçeşitlilik oluşturması ve PV panellerin bitkileri sert iklim koşullarından koruması ile biyosolar çatılar kentler için akıllı geleceğin bir parçası olacaktır.

Biyosolar çatıların ülkemizdeki kullanımlarını arttırmak için, bu uygulamanın kentler için önemini dikkate alarak, biyosolar çatı uygulamalarının desteklenmesi gerekmektedir. Destekleme çalışmaları, biyosolar çatı alanındaki ilgili meslek disiplinlerine eğitim ve uygulama bilgilerinin verilmesi, belli bir yüz ölçümdeki alanlara uygulama teşviki getirilmesi, belli kent yapılarına ve kuruluşlara bu konuda öncülük etmeleri gibi görevler verilmesi olabilir.

Kanada, Toronto'da, içtüzüğe göre; 2.000 $m^{2'}$den daha büyük çatı alanları olan yeni ve yeniden geliştirme projeleri kısmen bir yeşil çatı ya da PV sistemi ile kaplanmalıdır (Toronto By-LAW No. 583-2009). Her iki sistemin de kullanımı yaygınlaştıkça, yeşil çatı ve PV panel teknolojilerinin rekabeti artmaktadır. Çatı tasarımcıları, nadiren her iki teknolojiyi de tek bir çatı alanı üzerinde uygulamaktadırlar (Jahanfar vd. 2019). Kanada'nın yanı sıra Tokyo'da belli m^2'lerdeki yapılarda yeşil çatının zorunlu tutulduğu, Fransa'da da güneş enerjisi ve yeşil çatıları teşvik etmek için ulusal bir yasanın bulunduğu bilinmektedir. Ülkemizde de benzer bir yasa ile öncelikle kamu binaları, okullar ve hastaneler, alışveriş merkezleri, iş merkezleri gibi belli bir alanın üzerindeki yapılarda biyosolar çatı uygulaması zorunlu tutularak, bu binalara bir teşvik mekanizması uygulanabilir.

Biyosolar çatı uygulamalarının, öncelikle Bakanlıklar gibi kamu binalarında uygulanarak örnek teşkil etmesi, detaylı çalışmalarla daha da geliştirilmesi ve başarılı bir örnek oluşturularak kentteki önemli binalara yaygınlaştırılması amaçlanabilir.

Tez çalışması kapsamında incelenen örneklerden olan, Geliştirme ve Veri Bilimi Ulusal İnovasyon Merkezi (NICAD) gibi, şehrin sembol yapılarında biyosolar çatı uygulaması yapılarak, biyosolar çatıların yaygınlaştırılması ve örnek oluşturulması da sağlanabilir.

Biyosolar çatı uygulamalarında, iyi bir tasarım, teknoloji ve kurulum çok önemlidir. Biyosolar çatılar tasarlanırken, elektrik elektronik mühendisi, inşaat mühendisi ve peyzaj mimarı gibi farklı meslek gruplarını bünyelerinde barındırmalıdır. Mimarlar, mühendisler ile uygulayıcıların birlikte çalışmaları ve uygulama aşamasında teknoloji, tasarım, malzeme, bitki seçimi ve bakım gibi biyosolar çatının ilk aşamasından son aşamasına dek gerekli olan bilgilere yönelik konularda çalıştay, seminer ve konferanslara katılarak, teknolojik gelişmeleri takip etmeleri sağlanmalıdır. Ayrıca, teknoloji ve malzeme özellikleri geliştirilerek maliyetlerin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmalı, böylece biyosolar çatıların yaygınlaştırılması amaçlanmalıdır.

Tasarımı ve uygulanması aşamasında, farklı meslek disiplinlerini bir araya getiren biyosolar çatılar, öncelikli olarak üniversitelere de uygulanarak, mühendislik ve mimarlık öğrencilerinin eğitimine katkı sunabilmesinin yanında, öğrencilerin deneysel çalışmalarla biyosolar çatı uygulamalarını geliştirmelerine de olanak sağlayabilir. Tez çalışması kapsamında incelenen örnekler arasında yer alan, mavi çatı (çatı havuzu), yeşil çatı ve PV panel çatıyı birleştiren ve bu şekilde üç farklı çatı sisteminin kullanması ile İngiltere'deki ilk örnek olan, Cambridge Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Biyosolar Çatı Projesi, üniversite uygulamalarına güzel bir örnektir.

Hastanelerde uygulanacak olan biyosolar çatılar da bitki varlıkları ile bina çevresini görsel açıdan olumlu yönde etkilemelerinin yanı sıra, hastane tarafından kullanılmak üzere enerji üretimi de yapabilir.

Alışveriş merkezlerine uygulanacak biyosolar çatılar, alışveriş merkezlerinin elektrik gereksinimini üreterek, fosil yakıtların çevreye olan zararlı etkilerin azalmasını sağlayacak ve biyosolar çatıdaki bitki varlıkları ile kent ekosistemine katkı sağlayabileceklerdir. Biyosolar çatı uygulamasına sahip alışveriş merkezleri de toplumun çevre bilincini geliştirecektir.

İş merkezleri de kentsel alanların önemli yapıları arasında yer almakta ve birçok insanı bünyesinde barındırmaktadır. Enerjisini güneşten üreterek kent ekosistemine katkı sağlayan ve estetik görünüme sahip iş merkezleri kentin simgesi haline gelecektir. 2014 yılında Melbourne Üniversitesi'nde yapılan bir araştırmada, ofisin asfalt yerine bitki varlığına sahip bir çatıya bakmasının çalışan verimliliğinin %15 arttığı gözlenmiştir. Doğal manzaralar, insanların mutluluğunu ve performansını artırmaktadır. İncelenen örneklerden olan, One Angel Lane ofisi biyosolar çatısı; personelin erişebileceği yeşil çatı, personel için kentsel gıda üretimi amacıyla oluşturulan diğer bir çatı kullanımı, yeşil çatıya monte edilen PV paneller ile arı kovanlarına ev sahipliği yapan çatıyı bünyesinde barındırmaktadır. İncelenen diğer örnekler arasında yer alan, Londra'daki Chartered Bank Genel Merkezi biyosolar çatı uygulaması ise bankanın düşük enerji ve düşük karbonlu bir bina yaratmayı amaçlayan enerji verimliliği projelerinin bir parçasıdır.

Uluslararası havaalanları da bir ülkenin giriş noktası sayılacağından, gelenleri ilk karşılayan ve gelenler üzerindeki ilk etkiyi bırakan alanlardır. Biyosolar çatı uygulamaları gibi, uluslararası havaalanlarında yapılacak başarılı ve faydalı tasarımlar, bu havaalanlarının dünyanın önde gelen havaalanları arasında olmasını sağlayacaktır. İncelenen biyosolar çatı örneklerinden olan, Schiphol Havaalanı bu kullanıma bir örnektir.

Her ülkenin çevresel ve sosyo-ekonomik koşulları farklı olduğundan, incelenen örneklerden esinlenerek ülkemize uygun bir tasarımı mühendis, mimar ve uygulayıcılar ile gerçekleştirirsek başarıya ulaşırız. Güneş enerjisi kullanımına uygun bölgeler için, öncelikli olarak kamu binalarına (Bakanlıklar, hastaneler, üniversite ve okullar vb.) uygulayarak örnek oluşturabiliriz. Sonrasında ise iş, alışveriş merkezleri ve şehrin sembol yapılarına uygulayabiliriz. Uygulamalarda başarıya ulaştıkça ve maliyetleri düşürdükçe toplu konutlarda da biyosolar çatı uygulamasına geçebiliriz.

Ülkemizde güneş enerjisi kullanımına uygun (GEPA'ya göre ışıma seviyesi 1.500 KWh/m^2 ve yukarısındaki değerleri gösteren alanlar) ve yazın 25 °C'den daha sıcak olan bölgeler (25 °C üzerine çıkmayan bölgelerde paneller aşırı ısınmayacaktır) için,

belli metrekare üzerindeki (kamu binaları için 500 m^2, özel binalar için 1.000 m^2 gibi düşünülebilir) alanlarda, biyosolar çatı uygulamasının zorunlu olmasını sağlayan politikalar oluşturulabilir.

Doğru seçilmiş bitkiler ve PV paneller ile fonksiyonel hale getirilmiş, biyoçeşitlilik ve yerinde yenilenebilir enerji üretiminin desteklendiği ideal bir ortak yaşam (simbiyotik) ilişkisi olan biyosolar çatı uygulamaları için kısa, orta ve uzun vadede yapılabilecek öneriler aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 Biyosolar çatıların geliştirilmesi için eylem planı

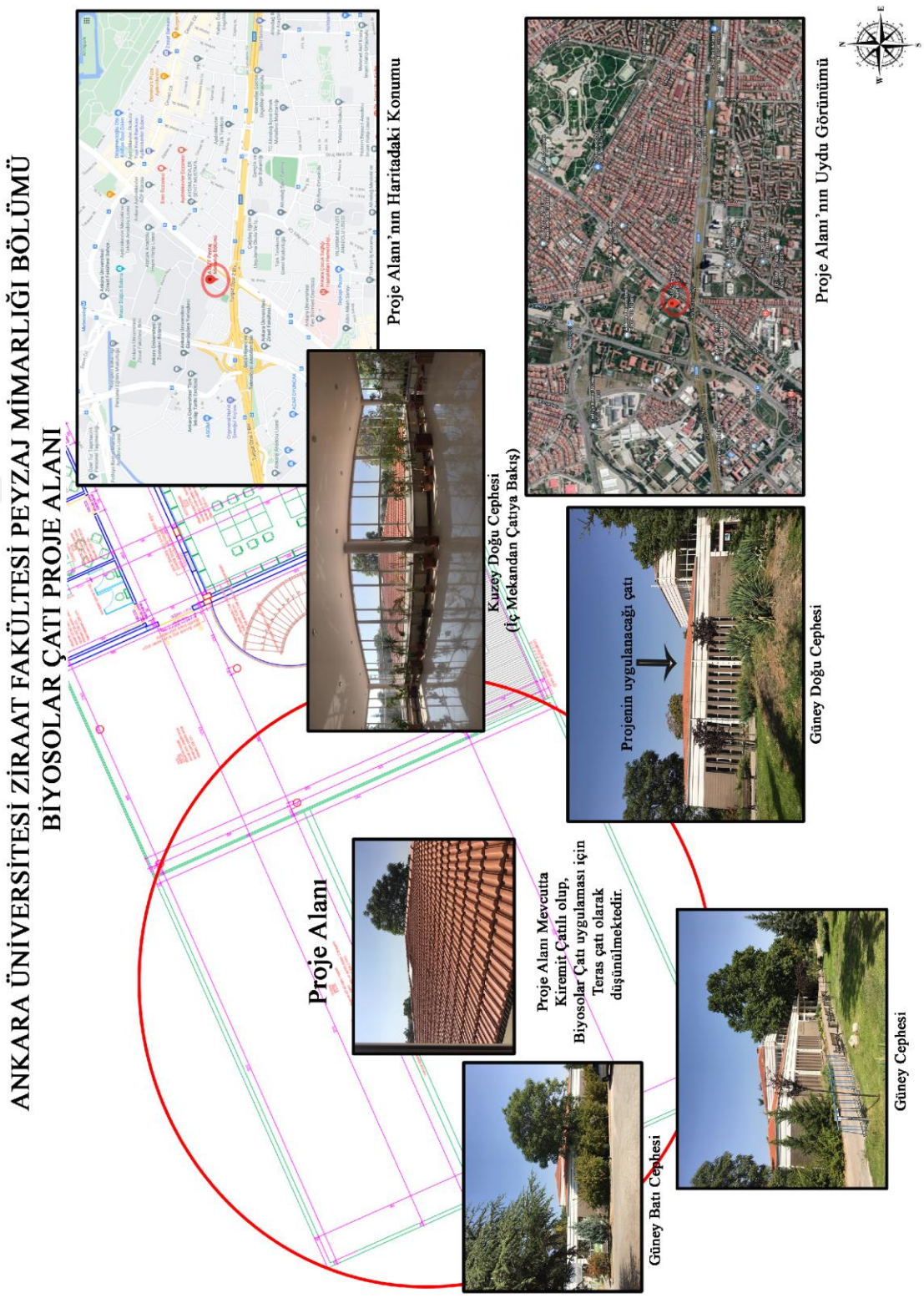
KISA VADE (1-2 YIL)	- Mimar, mühendis ve uygulayıcılar için biyosolar çatı eğitimlerinin verilmesi ve konferanslarının düzenlenmesi - Kamu binalarında örnek uygulamaların gerçekleştirilmesi - Biyosolar çatı uygulamalarının geliştirilmesine ilişkin politika çalışmaları
ORTA VADE (2-5 YIL)	- İlgili bölümlerde üniversitelerde proje olarak çalışılması - Biyosolar çatı uygulamalarının maliyetinin düşürülmesine ilişkin çalışmalar yapılması - İş merkezleri, alışveriş merkezleri ve kentin simge yapılarında uygulama aşamasına geçilmesi - Biyosolar çatı uygulamalarının yaygınlaştırılmasına ilişkin politika çalışmaları
UZUN VADE (5-10 YIL)	- Büyük çaptaki toplu konutlarda biyosolar çatı uygulamaları - Belli alanlarda biyosolar çatıların zorunlu olmasına ya da teşvik mekanizmalarının geliştirilmesine ilişkin politikaların hayata geçirilmesi - Biyosolar çatı uygulamalarının maliyetinin düşürülmesi ve teknolojik olarak geliştirilmesine ilişkin çalışmalar yapılması

Bu tez çalışması kapsamında, örnek bir uygulama teşkil etmesi açısından, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü 1.Katındaki 20x20 metre'lik bir çatı yüzeyi için biyosolar çatı peyzaj projesi yapılmıştır. Proje alanı, mevcutta kiremit çatılı olup, biyosolar çatı uygulaması için teras çatı olarak düşünülmektedir. Projenin haritadaki konumu ve alanın farklı cephelerindeki fotoğrafları Şekil 5.3'te gösterilmektedir.

50 adet PV panel 400 m²'lik alana, güneye doğru yerleştirilmiştir. Panellerin ölçüsü 165x100 cm'dir. Panellerin önünde, güneşi seven, boyları ortalama 10-30 cm olan bitki türleri (1.grup bitki türleri); panellerin altında da ışık istekleri yarı gölge ve gölge olan bitki türleri (2.grup bitki türleri) kullanımı uygun olacaktır. Panellerin arkasındaki alana ise, panellere gölge oluşturmayacak şekilde, güneşli-yarı gölge ışık istekleri olan bitki türleri önerilmektedir (Şekil 5.4).

Tez çalışmasında daha önce de belirtildiği üzere, biyosolar çatılar, elektrik elektronik mühendisi, inşaat mühendisi, peyzaj mimarı ve uygulayıcılar gibi farklı meslek disiplinlerinin, tasarım ve uygulama süreçlerine dâhil olması ile başarıya ulaşacaktır. Panel yönleri, panel eğimi, kullanılacak paneller gibi teknik özellikler elektrik elektronik mühendislerince, yapının statik hesabı inşaat mühendislerince, biyosolar çatılarda kullanılacak bitki seçimleri ile bitki yerleşimleri peyzaj mimarlarınca yapılmalı, biyosolar çatıların uygulanmaları da mühendis ve mimarların uygulayıcı ile birlikte koordineli çalışmaları ile gerçekleştirilmelidir.

Biyosolar çatı uygulamasının, peyzaj mimarlığı bölümü çatısında uygulanması ile çatı, biyosolar çatılar için araştırma yapılabilecek bir deney ortamı da sunabilir. Bölüm öğrencileri, farklı deney ortamları oluşturarak, farklı bitki seçimleri ve yerleşimleri ile PV panellerin enerji üretimlerini karşılaştırabilir, bitkiler özelinde PV panel verimliliklerine ilişkin çalışmalar gerçekleştirilebilir.



Şekil 5.3 Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı bölümü biyosolar çatı proje alanı (Orijinal 2020)

Şekil 5.4 Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı bölümü biyosolar çatı peyzaj projesi (Orijinal 2020)

KAYNAKLAR

Abuseif, M. and Gou, Z. 2018. A Review of Roofing Methods: Construction Features, Heat Reduction, Payback Period and Climatic Responsiveness. Energies, 11 (11),3196.

Alawadhi, E. M. and Alqallaf, H. J. 2011. Building roof with conical holes containing PCM to reduce the cooling load: Numerical study. Energy Conversion and Management, 52(8-9),2958-2964.

Alshayeb, M. and Changa, J. D. 2016. Photovoltaic Energy Variations Due to Roofing Choice . Procedia Engineering, 145, 1104-1109.

Amer, E. H. 2006. Passive options for solar cooling of buildings in arid areas. Energy, 31(8-9), 1332-1344.

Ankara Üniversitesi, 2020. Web Sitesi: http://peyzaj.agri.ankara.edu.tr/hakkimizda/, Erişim Tarihi: 27.09.2020.

Anonim. 2008. Eğimli Yeşil Çatısı ve Sıradışı Formuyla Singapur'da Bir Sanat Okulu. Web Sitesi: https://v3.arkitera.com/news.php?action=displayNewsItem&ID=26906, Erişim tarihi: 16.04.2020.

Anonim. 2017. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü Raporu. Ankara.

Anonim. 2020a. Enerji Portalı. Web Sitesi: https://www.enerjiportali.com/hidroelektrik-enerjisi-hes-nedir-nasil-elektrik-uretir/, Erişim Tarihi: 09.03.2020.

Anonim. 2020b. Enerji Portalı. Web Sitesi: https://www.enerjiportali.com/hidrojen-enerjisi-nedir/, Erişim Tarihi: 09.03.2020.

Anonim. 2020c. Yeşil Odak. Web Sitesi: https://www.yesilodak.com/dalga-enerjisi-nedir, Erişim Tarihi: 09.03.2020.

Anonim. 2020d. Enerji Portalı. Web Sitesi: https://www.enerjiportali.com/jeotermal-nedir-jeotermal-enerji-nedir/, Erişim Tarihi: 10.03.2020.

Anonim. 2020e. Ekoloijst.net. Web Sitesi: http://ekolojist.net/tarihsel-surecte-gunes-enerjisi/, Erişim Tarihi: 11.03.2020.

Anonim. 2020f. Karaoğlu Peyzaj. Web Sitesi: https://www.karaoglu.com.tr/referanslarimiz/zorlu-center/, Erişim Tarihi: 14.04.2020.

Anonim. 2020g. İncekaralar. Web Sitesi: https://www.incekara.com.tr/tr/kurumsal/kurumsal-sosyal-sorumluluk, Erişim Tarihi: 22.04.2020.

Anonymous. 2017. The Victorian Desalination Project&Ecological Reserve. Web Sitesi: https://www.archdaily.com/876189/the-victorian-desalination-project-and-ecological-reserve-aspect-studios, Erişim Tarihi: 20.04.2020.

Anonymous. 2018a. What is a biosolar roof and how could it change city living? Web Sitesi: https://medium.com/@green_wood/what-is-a-biosolar-roof-and-how-could-it-change-city-living-b2c71215d646, Erişim Tarihi: 05.04.2020.

Anonymous. 2018b. Gallie Craig Coffee Shop. Web Sitesi: https://www.greenroofs.com/projects/gallie-craig-coffee-shop/, Erişim Tarihi: 15.04.2020.

Anonymous. 2018c. Nanyang Technolojical University (NTU) School of Art, Design and Media (ADM). Web Sitesi: https://www.greenroofs.com/projects/nanyang-technological-university-ntu-school-of-art-design-and-media-adm/, Erişim Tarihi: 16.04.2020.

Anonymous. 2018d. Victorian Desalination Project. Web Sitesi: https://www.greenroofs.com/projects/victorian-desalination-project/, Erişim Tarihi: 20.04.2020.

Anonymous. 2019a. Solar Green Roof. Web Sitesi: https://odu-green-roof.com/solar-green-roof/, Erişim Tarihi: 07.04.2020.

Anonymous. 2019b. Vandusen Botanical Garden Visitor Centre. Web Sitesi: https://www.greenroofs.com/projects/vandusen-botanical-garden-visitor-centre/ Erişim Tarihi: 15.04.2020.

Anonymous. 2020a. Gallie Craig Coffee House, Scotland. Web Sitesi: https://zinco-greenroof.co.uk/references/gallie-craig-coffee-house-scotland, Erişim Tarihi: 08.04.2020.

Anonymous. 2020b. School of Art, Design & Media @ NTU. Web Sitesi: https://www.cpgcorp.com.sg/cpgc/Project/Project_Details?ProjectID=1022&TypologyID=8, Erişim Tarihi: 16.04.2020.

Anonymous. 2020c. High Line. Web Sitesi: https://www.thehighline.org/, Erişim Tarihi: 18.04.2020.

Anonymous. 2020d. Royal Tower, Kiev. Web Sitesi:https://zinco-greenroof.com/references/royal-tower-kiev, Erişim Tarihi: 19.04.2020.

Anonymous. 2020e. New Providence Wharf, London. Web Sitesi: https://zinco-greenroof.com/references/new-providence-wharf-london, Erişim Tarihi: 19.04.2020.

Anonymous. 2020f. Airport Schiphol, Amsterdam. Web Sitesi: https://zinco-greenroof.com/references/airport-schiphol-amsterdam, Erişim Tarihi: 23.04.2020.

Anonymous. 2020g. Poppies on a biosolar roof in London. Web Sitesi: https://livingroofs.org/poppies-biosolar-roof-london/?full-site=true, Erişim Tarihi: 23.04.2020.

Anonymous. 2020h. Chartered Bank Headquarters, London. Web Sitesi: https://zinco-greenroof.co.uk/references/chartered-bank-headquarters-london, Erişim Tarihi: 23.04.2020.

Anonymous. 2020i. Munich Technology Centre, Münich. Web Sitesi: https://zinco-greenroof.co.uk/references/munich-technology-centre-munich, Erişim Tarihi: 23.04.2020.

Anonymous. 2020j. Roofing Times. Web Sitesi: https://www.roofingtimes.co.uk/articles/clapham-park/, Erişim Tarihi: 24.04.2020.

Anonymous. 2020k. Clapham Park. Web Sitesi: https://www.bauder.co.uk/technical-centre/technical-literature/case-studies/green-roof-case-studies/x, Erişim Tarihi: 24.04.2020.

Anonymous. 2020l. Cambridge University, Department of Civil Engineering Case Study. Web Sitesi: https://www.bauder.co.uk/technical-centre/technical-literature/case-studies/green-roof-case-studies/cambridge-university-department-of-civil-engineer, Erişim Tarihi: 25.04.2020.

Anonymous. 2020m. National Innovation Centre for Ageing and Data Science (NICAD). Web Sitesi: https://www.bauder.co.uk/technical-centre/technical-literature/case-studies/pv-case-studies/x-(1), Erişim Tarihi: 25.04.2020.

Anonymous. 2020n. 1 Angel Lane. Web Sitesi: https://1angellane.com/index.php, Erişim Tarihi: 26.04.2020.

Anonymous. 2020o. Types of Green Roofs. Web Sitesi: https://efb-greenroof.eu/green-roof-basics/, Erişim Tarihi: 30.04.2020.

Anonymous. 2020p. Green Roofs and Solar Energy. Web Sitesi: https://zinco-greenroof.co.uk/systems/solar-energy Erişim Tarihi: 07.04.2020.

Appl, R. 2020. The Longest Green Roof In The World The High Line. Web Sitesi: https://www.zinco.ca/articles/the-high-line-park-in-new-york-the-longest-green-roof-in-the-world, Erişim Tarihi: 17.04.2020.

Aslanboğa, İ. 1988. Çatı Bahçeleri. Bilgehan Basımevi, Bornova,İzmir.

Baojie, H. and Jin, Z. 2018. Constructing community gardens? Residents' attitude and behaviour towards ediblelandscapes in emerging urban communities of China. Urban Forestry&Urban Greening, 34,154-165.

Barış, M., Erdoğan, E. ve E.Yazgan, M. 2003. Çatı Bahçeleri. SASBÜD, Ankara.

Bousselot, J., Slabe, T., Klett, J. and Koski, R. 2017. Photovoltaic array influences the growth of green roof plants. Journal of Living Architecture A Green Infrastructure Foundation Publication, 9-18.

Braaker, S., Ghazoul, J., Obrist, M. and Moretti, M. 2014. Habitat connectivity shapes urban arthropod communities: the key role of green roofs. Ecology, 95(4), 1010-1021.

Bucaklı, Z. 2015. Avrupa'nın En Büyük Yeşil Çatı Uygulaması: Zorlu Center. Web sitesi: http://www.insaatdunyasi.com.tr/uncategorized/132-avrupanin-en-buyuk-yesil-cati-uygulamasi-zorlu-center/, Erişim Tarihi: 14.04.2020.

Cascone, S. 2019. Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials. Sustainability, 11(11), 3020.

Catalano, C. and Baumann, N. 2017. Biosolar roofs: a symbiosis between biodiverse green roofs and renewable energy. City Green-Verdant Cities, (15), 42-49.

Chan, H.-Y., Riffat, S. B. and Zhu, J. 2010. Review of passive solar heating and cooling technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(2), 781-789.

Chemisana, D. and Lamnatou, C. 2014. Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performane. Applied Energy, (119), 246-256.

Chenvidhya, T., Seapan, M., Parinya, P. and Wiengmoon, B. 2015. Investigation of power values of PV rooftop systems based on heat gain reduction. In Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components, and Systems VIII (s. 95630). Bellingham, WA, USA : International Society for Optics and Photonics.

Ciriminna, R., Meneguzzo, F., Pecoraino, M. and Pagliaro, M. 2019. Solar Green Roofs: A Unified Outlook Twenty Years On.

Davies, R. 2020. One Angel Lane. Web Sitesi: https://www.watermangroup.com/project/one-angel-lane/, Erişim Tarihi: 26.04.2020.

DEK-TMK. 2009. Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi. Dünya Enerji Konseyi, Türk Mili Komitesi, Ankara.

Dinesh, H. and Pearce, J. 2016. The Potential of Agrivoltaic Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 299-308.

Dominguez, A., Kleissl, J. and Luvall, J. C. 2011. Effects of solar photovoltaic panels on roof heat transfer. Solar Energy, 85(9), 2244-2255.

D'Orazio, M., Perna, C. D. and Giuseppe, E. D. 2012. Green roof yearly performance: A case study in a highly insulated building under temperate climate. Energy and Buildings, 55, 439-451.

Eisenman, T. S. 2006. Raising the Bar on Green Roof Design. Landscape Architecture, 96(11), 22.

Emziane, M. and Ali, M. A. 2015. Performance assessment of rooftop PV systems in Abu Dhabi. Energy and Buildings, 108, 101-105.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019. Web Sitesi: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes, Erişim Tarihi: 15.12.2019.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020a. Web Sitesi: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol, Erişim Tarihi: 09.03.2020.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020b. Web Sitesi: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz, Erişim Tarihi: 09.03.2020.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020c. Web Sitesi: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur, Erişim Tarihi: 09.03.2020.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020d. Web Sitesi: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes, Erişim Tarihi: 09.03.2020.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020e. Web Sitesi: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar, Erişim Tarihi: 09.03.2020.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020f. Web Sitesi: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik, Erişim Tarihi: 09.03.2020.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020g. Web Sitesi: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal, Erişim Tarihi: 10.03.2020.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020h. Web Sitesi: https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle, Erişim Tarihi: 10.03.2020.

Erkul, E. ve Sönmez, A. 2014, Yeşil Çatı Sistemleri ve Çevresel Etkileri. Web Sitesi: http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=389&, Erişim Tarihi: 20.02.2020.

Ford, C. 2020. £50m innovation centre on Newcastle Helix site is completed. Web Sitesi: https://www.business-live.co.uk/economic-development/50m-innovation-centre-newcastle-helix-17628597, Erişim Tarihi: 25.04.2020.

Gedge, D. 2015. Why the future of roofs is biosolar! Web Sitesi: https://iale.uk/dusty-gedge/news/7999, Erişim Tarihi: 27.04.2020.

Gemi, A. M. 2010. Çevre Dostu Çatılara Örnek Uygulamalı Bir Yaklaşım. 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu. Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İzmir.

Getter, K. L. 2009. Extensive Green Roofs: Carbon Sequestration Potential and Species Evaluations, PhD Thesis. Michigan State University, Michigan, USA.

Goetzberger, A. and Zastrow, A. 1982. On the Coexistence of Solar Energy conversion and plant cultivation. International Journal of Solar Energy, , 1(1), 55-69.

Grant, G. and Gedge, D. 2019. Living Roofs and Walls from Policy to Practice - 10 years of urban greening in London and beyond. Londra: European Federation of Green Roof and Green Wall Associations (EFB) and Livingroofs.org.

GÜNDER. 2019. Daha Sıcak Bir Gezegende, Güneş Enerjisi Daha Az Verimli Hale Gelecek. GÜNDERGİ, 9-10.

Haghighi, A. P., Pakdel, S. H. and Jafari, A. 2016. A study of a wind catcher assisted adsorption cooling channel for natural cooling of a 2-storey building. Energy, 102, 118-138.

Han, J., Lu, L. and Yang, H. 2009. Investigation on the thermal performance of different lightweight roofing structures and its effect on space cooling load. Applied Thermal Engineering, 29(11-12), 2491-2499.

Hasdemir, M. 1990. Çatı Bahçelerinin Tesisinde Göz Önünde Tutulacak İlkeler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Derneği, 40(3), 85-96.

Hasol, D. 2002. Mimarlık Sözlüğü. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları,İstanbul.

Hedayat, Z., Belmans, B., Ayatollahi, M. H., Wouters, I. and Descamps, F. 2015. Performance assessment of ancient wind catchers—An experimental and analytical study. Energy Procedia, 78: 2578-2583.

Hien, W. N., Tan, E., Seng, A. K. and Mok, S. 2012. Performance of Greenery Systems in Zero Energy Building of Singapore. In International Conference on Sustainable Design and Construction (ICSDC) 2011, 74-80.

Hui, D. C. and Chan, S. C. 2011. Interaction of green roof and solar photovoltaic systems. Joint symposium, (s. 1-12). Hong Kong.

Işık, K. 2014. Biyolojik Çeşitlilik-Herkes İçin Okuma Parçaları. ANG Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayınları, İstanbul.

Jahanfar, A., Drake, J., Sleep, B. and Margolis, L. 2019. Evaluating the shading effect of photovoltaic panels on green roof discharge reduction and plant growth. Journal of Hydrology, 568,919-928.

Karaosman, S. K. 2006. Yeşil Çatılar ve Sürdürülebilir Bina Değerlendirme Sistemleri. 2. Ulusal Çatı Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul.

Koç, N. ve Güneş, G. 2011. Çatı Bahçelerinde Bitkisel Düzenleme Esasları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(2), 625-633.

Kylili, A. and Fokaides, P. 2014. Investigation of building integrated photovoltaics potential in achieving the zero energy building target. Indoor and Built Environment, 23(1), 92-106.

Labbe, J. 2009. Some green & gritty rooftops in Basel, Switzerland. Web Sitesi: https://jim-labbe.travellerspoint.com/16/, Erişim Tarihi: 26.04.2020.

Lanying, Z. 2018. Solar Collector. X. Wenhua, L. Shimin, Z. Q. Liu Qiong, W. Jing, L. Hao, L. Wei, . . . C. Juan, International Training Course on Solar Energy (s. 121-136). Gansu Natural Energy Research Institute/UNIDO International Solar Energy Center for Technology Promotion and Transfer, Lanzhou, China.

Li, D., Wu, Y., Zhang, G., Arıcı, M., Liu, C. and Wang, F. 2018. Influence of glazed roof containing phase change material on indoor thermal environment and energy consumption. Applied Energy, 222,343-350.

Liu, K. 2004. Sustainable building envelope - garden roof system performance. In RCI Building Envelope Symposium. New Orleans, Louisiana.

Mclendon, R. 2019. Solar panels pair surprisingly well with tomatoes, peppers and pollinators. Web Sitesi: https://www.mnn.com/your-home/organic-farming-gardening/stories/agrivoltaics-solar-power-crops-bees, Erişim Tarihi: 26.02.2020.

Motamedi, S. and Liedl, P. 2017. Integrative algorithm to optimize skylights considering fully impacts of daylight on energy. Energy and Buildings, 138, 655-665.

Nagengast, A., Hendrickson, C. and Matthews, H. 2013. Variations in photovoltaic performance due to climate and low-slope roof choice. Energy and Buildings, (64), 493-502.

Nash, C., Clough, J. A., Gedge, D., Lindsay, R. A., Newport, D. J. and Ciupala, M. A. 2016. Initial insights on the biodiversity potential of biosolar roofs: A London Olimpiyat Park green roof case study. Israel Journal of Ecology and Evolution, 62(1-2), 74-87.

Noroozi, A. and Veneris, Y. S. 2018. Thermal Assessment of a Novel Combine Evaporative Cooling Wind Catcher. Energies, 11(2), 442.

Oberlander,C.H. 2014. Landezine-Landscape Architecture Platform Web Sitesi: http://landezine.com/index.php/2014/09/vandusen-botanical-garden-visitor-centre/, Erişim Tarihi: 25.09.2020.

Oleson, K. W., Bonan, G. B. and Feddema, J. 2010. Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model. Geophysical Research Letters, 37(3).

Opatowski, A. 2018. Biosolar Roofs: The Ultimate Green Roof System. Web Sitesi: https://sowgreen.co/news/biosolarroofs/, Erişim Tarihi: 05.04.2020.

Osmundson, T. 1999. Roof Gardens. W.W.Norton&Company, New York.

Özgün, H. 2015. Fotovoltaik Enerji Sistemleri. Günder, İstanbul.

Pagliarini, G. and Rainieri, S. 2011. Dynamic thermal simulation of a glass-covered semi-outdoor space with roof evaporative cooling. Energy and Buildings, 43(2-3), 592-598.

Paul,R. 2015. Inhabitat Web Sitesi: https://inhabitat.com/amazing-green-roof-art-school-in-singapore/nanyang-technical-university-singapore-plan/,Erişim Tarihi: 25.09.2020.

Pisello, A. L., Pignatta, G., Castaldo, V. L. and Cotana, F. 2014. Experimental Analysis of Natural Gravel Covering asCool Roofing and Cool Pavement. Sustainability, 6(8), 4706-4722.

Priya, R. S., Sundarraja, M. C. and Radhakrishnan, S. 2012. Experimental study on the thermal performance of a traditional house with one-sided wind catcher during summer and winter. Energy Efficiency, 5(4), 483-496.

Richardson, E. 2018. What are the Benefits of Installing a Biosolar Roof? Web Sitesi: https://www.renewableenergyhub.co.uk/blog/what-are-the-benefits-of-installing-a-biosolar-roof/, Erişim Tarihi: 01.05.2020.

Sarkowicz, H. 2003. Bahçelerin ve Parkların Tarihi. Dost Kitabevi, Ankara.

Scherba, A., Sailor, D. J., Rosenstiel, T. N. and Wamser, C. C. 2011. Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on

sensible heat flux into the urban environment. Building and Environment, 46(12), 2542-2551.

Schindler, B., Blank, L., Levy, S., Kadas, G., Pearlmutter, D. and Blaustein, L. 2016. Integration of photovoltaic panels and green roofs: review and predictions of effects on electricity production and plant communities. Israel Journal of Ecology and Evolution, 62 (1-2), 68-73.

Shimin, P. L. 2018. Photovoltaik Application. X. Wenhua, L. Shimin, L. Qiong, Z. Qian, L. Lingyan, S. Liping, . . . C. Juan, International Training Course on Solar Energy (s. 63-120). Gansu Natural Energy Research Institute - UNIDO International Solar Energy Center for Technology Promotion and Transfer, Lanzhou,China.

Soylu, A. ve Türkay, M. 2005. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sürecinin planlanmasında doğrusal en iyileme tekniğinin kullanılması. 3.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İstanbul.

Stevens, P. 2016. China's Wenchuan Earthquake Memorial Museum Conceived as an Architectural Landscape. Web Sitesi: https://www.designboom.com/architecture/wenchuan-earthquake-memorial-museum-sichuan-china-cai-yongjie-tongji-university-07-25-2016/,Erişim Tarihi: 19.04.2020.

Suleiman, S. and Himmo, B. 2012. Direct comfort ventilation. Wisdom of the past and technology of the future (wind-catcher). Sustainable Cities and Society, 5, 8-15.

Sun, X., Gou, Z. and Lau, S. S.-Y. 2018. Cost-effectiveness of active and passive design strategies for existing building retrofits in tropical climate: Case study of a zero energy building. Journal of Cleaner Production, 183, 35-45.

Tan, P. Y. and Sia, A. 2005. A pilot green roof research project in Singapore. In Proceedings of third annual greening rooftops for sustainable communities conference, Awards and Trade Show. Washington, DC.

Thiele, A. M., Jamet, A., Sant, G. and Pilon, L. 2015. Annual energy analysis of concrete containing phase change materials for building envelopes. Energy Conversion and Management, 103, 374-386.

Tohum, N. 2011. Sürdürülebilir Peyzaj Tasarım Aracı Olarak Yeşil Çatılar. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Velazquez, L. 2017. Zoku (Metro Pool Building) Roof Garden. Web Sitesi: https://www.greenroofs.com/2017/10/09/greenroofs-com-project-of-the-week-for-october-9-2017-zoku-metro-pool-building-roof-garden/, Erişim Tarihi: 16.04.2020.

Velazquez, L. S. 2005. Organic Greenroof Architecture: Sustainable Design for the New Millennium. Environmental Quality Management, 14(4), 73-85.

Yeşilata, B., Isıker, Y. and Turgut, P. 2009. Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. Construction and Building Materials, 1878-1882.

Yılmaz, V. 2018. Güneş Enerjisi Santralleri: Tercih Değiş Zorunluluk. (E. Erkan, Röportaj Yapan), GÜNDERGİ.

Yücel, P. 2004. Çiçekler ve Yerörtücüler. Etam Matbaa Tesisleri, Eskişehir.

Zanetti, P. 2020. Climate Adapt. Web Sitesi: https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/green-roofs-in-basel-switzerland-combining-mitigation-and-adaptation-measures-1/11301340.jpg/view, Erişim Tarihi: 26.04.2020.

Zhang, L., Zhang, R., Zhang, Y., Hong, T., Meng, Q. and Feng, Y. 2017. The impact of evaporation from porous tile on roof thermal performance: A case study of Guangzhou's climatic conditions. Energy and Buildings, 136, 161-172.

Zingre, K. T., Wan, M.-P., Wong, S. K., Toh, W. B. and Lee, I. Y. 2015. Modelling of cool roof performance for double-skin roofs in tropical climate. Energy, 82, 813-826.

Zingre, K. T., Yang, E.-H. and Wan, M. P. 2017. Dynamic thermal performance of inclined double-skin roof: Modeling and experimental investigation. Energy, 133, 900-912.

Zion, R. L. 1968. Trees for Architecture and the Landscape. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Derya Töre
Doğum Yeri : Eskişehir
Doğum Tarihi : 4.11.1985
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Eskişehir Kılıçoğlu Anadolu Lisesi (2003)
Lisans : Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü (2007)
Lisans : Anadolu Üniversitesi İşletme (2008)
Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı (2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Bahar Aydınlatma, 2009 – 2013
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2014 – halen