

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARAMETRİK YEŞİL ÇATI SİSTEM MODELİ
OLUŞTURULMASI

Cemre AKALIN ER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimarlık Anabilim Dalı
Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı

Danışman
Doç. Dr. Togan TONG

Ocak, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARAMETRİK YEŞİL ÇATI SİSTEM MODELİ OLUŞTURULMASI

Cemre AKALIN ER tarafından hazırlanan tez çalışması 31.01.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Togan TONG
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Togan TONG, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Feride Pınar ARABACIOĞLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mert EKŞİ, Üye
İstanbul Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Togan TONG sorumluluğunda tarafımca hazırlanan PARAMETRİK YEŞİL ÇATI SİSTEM MODELİ OLUŞTURULMASI başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Cemre AKALIN ER

İmza

*Canım anneme & babama,
ve sevgili eşime*



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca sunduğu zihin açıcı tavsiyeleri, desteği, güveni, kıymetli katkılarıyla tezimin topluma, bilime faydalı olması için yol gösteren değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Togan TONG'a; tez çalışmamın ilerlemesinde ve tamamlanmasındaki değerli katkıları, sabrı, bilgi birikimi ve yapıcı eleştirileri için Sayın Doç. Dr. Mert Ekşi'ye;

Yaşamım boyunca, maddi manevi desteklerini esirgemeyen, aldığım her kararda yanımda olduklarını hissettiren, varlıkları ile bana güç veren annem Hale AKALIN ve babam Ufuk AKALIN'a;

Yüksek lisans sürecinde tanıştığım, tez çalışmamı tamamlamam sürecinde benimle birlikte bu zorlu yolu yürüten, beni cesaretlendiren, anlayışını ve sevgisini hep hissettiğim eşim İhsan Erdem ER'e yürekten teşekkür ederim.

Cemre AKALIN ER

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	7
2 YEŞİL ÇATILAR	8
2.1 Yeşil Çatı Sistemleri	8
2.2 Yeşil Çatı Katmanları	16
2.3 Yeşil Çatı Örnekleri ve Etkileri	25
2.4 Yeşil Çatı Planlamalarındaki Standart ve Gereklilikler	57
2.5 Yeşil Çatı Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Kriterler	67
3 YEŞİL ÇATI SİSTEM MODELİ ÇALIŞMASI	86
3.1 Yeşil Çatı Ön Anket Çalışması	86
3.2 Yeşil Çatı Sistem Modeli	94
3.3 Model Arayüzü ve Çıktı Algoritmaları	101
4 SONUÇ VE ÖNERİLER	114
KAYNAKÇA	119
A ULUSLARARASI KURUMLAR VE SERTİFİKASYON SİSTEMLERİ	128

B GRASSHOPPER ALGORİTASI	132
C ETİK KURUL ONAYI	133
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	134



SİMGE LİSTESİ

°	Derece
dB	Desibel
m ²	Metrekare
°C	Santigrat derece

KISALTMA LİSTESİ

ADHD	Attention deficit hyperactivity disorder (Dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu)
ASLA	American Society of Landscape Architects (Amerikan Peyzaj Mimarları Derneği)
B.E.S.T.	Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım
BIM	Building Information Modeling (Bina Bilgi Modellemesi)
BRE	Building Environmental Efficiency (Bina Çevre Verimliliği)
BREEAM	The Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi)
ÇATIDER	Çatı Sanayicileri ve İş Adamları Derneği
ÇEDBİK	Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Peyzaj Araştırma, Geliştirme ve İnşaat Derneği)
GRHC	Green Roof for Healthy Cities
HDPE	High Density Polyethylene (Yüksek yoğunluklu polietilen)
IGRA	International Green Roof Association (Uluslararası Yeşil Çatı Derneği)
KIA	Kentsel ısı adası
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik)
NRCA	National Roofing Contractors Association (Ulusal Çatı Mütahhitleri Birliği)
PA	Poliamid (Naylon)
PAN	Polikrolonitril
PET	Polietilen tereftalat
PP	Polipropilen

USGBC	U.S. Green Building Council (ABD Yeşil Bina Konseyi)
YeS-TR	Yeşil Sertifika Bilgi Sistemi



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Babil'in Asma Bahçeleri [6]	2
Şekil 1.2	Çayır örtüsü ile kaplı çatı örneği [7]	2
Şekil 1.3	Villa Savoye [12]	3
Şekil 2.1	Soldan sağa doğru ekstensif ve intensif bitkilendirme ([1], [4]'ün uyarlaması üzerinden erişilmiştir)	9
Şekil 2.2	Uygulama çeşidine göre yeşil çatı sistemleri [13]	12
Şekil 2.3	Modüler yeşil çatı sistemi	13
Şekil 2.4	Modüler yeşil çatıdaki kenet sistemi [29]	15
Şekil 2.5	Önceden ekili bitki battaniyeleri sedum sistemi	15
Şekil 2.6	Yeşil çatı sistem katmanları [50]	17
Şekil 2.7	Geleneksel (solda) ve ters çatı (sağda) kesitleri [27]	21
Şekil 2.8	Geleneksel çatılarda ve yeşil çatılarda yer alan çeşitli süreçleri temsil eden şematik anlatım [75]	47
Şekil 2.9	Yağmur suyu yönetimi şematik anlatım [79]	48
Şekil 2.10	Gürültü kirliliğini azaltma etkisi şematik anlatım [79]	49
Şekil 2.11	Yalıtım konumuna göre çatı sistemleri	71
Şekil 2.12	Yeşil çatı uygulamasında fotovoltaik panel kesiti [135]	80
Şekil 2.13	Dik yeşil çatılarda kullanılan petek bölümlemeleri [136]	82
Şekil 2.14	Yağmur suyu toplama sistemi [23]	84
Şekil 3.1	Model veri akış şeması	95
Şekil 3.2	Model algoritma şeması	99
Şekil 3.3	Arayüz açılış sayfası	102
Şekil 3.4	Geliştirilen modelin arayüzü	103
Şekil 3.5	Arayüz algoritması	104
Şekil 3.6	Görselleştirme algoritması	105
Şekil 3.7	Görselleştirme çıktılarında kullanılan katmanların lejantı	105
Şekil 3.8	Model sonucunda üretilen detay alternatifleri	106
Şekil 3.9	Bitki önerisi algoritması	107
Şekil 3.10	Ekstensif bitki arayüzü çıktısı-1	110
Şekil 3.11	Ekstensif bitki arayüzü çıktısı-2	110
Şekil 3.12	Ekstensif bitki arayüzü çıktısı-3	110

Şekil 3.13 İntensif bitki arayüzü çıktısı-1	111
Şekil 3.14 İntensif bitki arayüzü çıktısı-2	111
Şekil 3.15 İntensif bitki arayüzü çıktısı-3	111
Şekil 3.16 Bilgilendirme algoritması	112
Şekil B.1 Grasshoper algoritması	132
Şekil C.1 Etik kurul onayı	133



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Yeşil çatı örnek fiş 1-Birleşmiş Dünya Koleji	26
Tablo 2.2	Yeşil çatı örnek fiş 2-Garanti Bankası Teknoloji Kampüsü	28
Tablo 2.3	Yeşil çatı örnek fiş 3-Nanyang Teknoloji Üniversitesi	30
Tablo 2.4	Yeşil çatı örnek fiş 4-Le Cordon Bleu Paris	32
Tablo 2.5	Yeşil çatı örnek fiş 5-Kaliforniya Bilim Akademisi	35
Tablo 2.6	Yeşil çatı örnek fiş 6-Küçükçekmece Belediye Binası	37
Tablo 2.7	Yeşil çatı örnek fiş 7-Ümraniye Meydan AVM	39
Tablo 2.8	Yeşil çatı örnek fiş 8-Vancouver Kongre Merkezi	41
Tablo 2.9	Örnek karşılaştırma tablosu (Bilgisine ulaşılamayan kriterler için tanımlanamadı anlamına gelen "T" işareti kullanılmıştır)	42
Tablo 2.10	Firmalardan alınan örnek yeşil çatı sistem çözümleri (Bilgisine ulaşılamayan kriterler için tanımlanamadı anlamına gelen "T" işareti kullanılmıştır)	44
Tablo 2.11	Sürdürülebilirlik ile ilgili kurum ve kuruluşlar	59
Tablo 2.12	Ulusal kurumlar ve sertifikasyon sistemleri	65
Tablo 3.1	Anket soruları (AU: Açık uçlu sorular, ÇTS: Çoktan seçmeli sorular, ÇS: Çok seçenekli sorular)	87
Tablo 3.2	Firma listesi	90
Tablo 3.3	Model önerisi tasarım soruları ve ana parametre ilişkileri	98
Tablo 3.4	Parametre ve katman ilişkileri	100
Tablo 3.5	Ekstensif yeşil çatı sistemlerinde kullanılabilecek bitki türleri seçimi ([34]'ten uyarlanmıştır)	108
Tablo 3.6	İntensif yeşil çatı sistemlerinde kullanılabilecek ağaç ve çalı türleri seçimi ([27]'den uyarlanmıştır)	109
Tablo 3.7	Bilgilendirme çıktıları	113
Tablo A.1	Uluslararası kurumlar ve sertifikasyon sistemleri	128

PARAMETRİK YEŞİL ÇATI SİSTEM MODELİ OLUŞTURULMASI

Cemre AKALIN ER

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Togan TONG

Teknolojinin her geçen gün ilerlemesi ve hızla artan nüfus sonucunda değişen şehir yapısı; geçmişte sadece estetik ve keyif amaçlı kullanılan yeşil çatıların, iklimsel değişimleri iyileştirici ve enerji verimliliğini destekleyici farklı düzenlemelerine göre şekillenen sistemler olarak yön değiştirmesine sebep olmuştur. Artan yeşil çatı uygulamaları sonucunda bilimsel çalışma ve kaynak sayısı günden güne artsa da, özellikle ön tasarım sürecinde yeşil çatı sistem seçeneklerine ihtiyaç duyulduğu saptanmıştır. Yeşil çatı tasarımının; farklı uzmanlık alanlarını kapsayan ve çok katmanlı değişkenlere sahip bir alan olmasından dolayı, kullanıcılar tarafından tasarım aşamasında kullanılmadığı görülmüştür. Belirlenen bu ana problemin çözümü için ise parametrik bir sistem modeli ortaya konmuştur. Yeşil çatı tasarımının parametrik tabana dayandırılması üzerinden geliştirilmiş olan bu çalışmada; ilk olarak literatür taraması yapılarak tanımlar ve temel kavramlar açıklanmış, yeşil çatı yapım süreçleri, bunları içeren yapı örnekleri ve yeşil bina sertifikasyonları ile standartlar incelenip, yeşil çatı uygulamalarına yoğunlaşarak sistem ölçüt ve gereklilikleri ile sistem tasarımını etkileyen parametreler saptanmıştır. Ardından yeşil çatı tasarımı ve üretimi alanında faaliyet gösteren firmalar ile anket çalışması gerçekleştirilerek, alana dair bilgi toplanmıştır. Bu adımlardan elde edilen veriler doğrultusunda, yeşil çatı ön tasarımı için parametrik bir sistem modeli geliştirilmiştir. Ayrıca önerilen model için bir arayüz geliştirilmiştir. Model arayüzü; iki boyutlu sistem kesiti ve üç boyutlu modeli içeren görsel çıktı, yazı olarak verilen bilgilendirme çıktısı ve filtreleme seçeneği sunan bitkilendirme çıktısı sunmaktadır. Bu çalışmada mevcut çalışmalardan farklı olarak, yeşil çatı tasarımı için kullanılabilecek parametrik bir sistem modeli

önerisi oluşturulmuştur. Geliştirilen bu model arayüzünün; ön tasarım aşamasında ihtiyaç duyulan yeşil çatı sistem seçenekleri eksikliğini gidereceği düşünülmektedir. Ayrıca model arayüzünün; ön tasarım sürecini destekleyen bir karar mekanizması olarak rol oynaması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil çatı sistem modeli, parametrik model önerisi, parametrik yeşil çatı tasarımı, yeşil çatı arayüzü



Parametric Green Roof System Model

Cemre AKALIN ER

Department of Architecture

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Togan TONG

The daily advances in technology and the rapidly increasing population of urban structures have led to the change of direction in the past of green roofs used only for aesthetic and recreational purposes, shaped according to different regulations that improve climate change and support energy efficiency. Scientific work and resources are increasing from day to day as a result of increasing green roof applications, but it has been found that especially in the pre-design process green roof system options are needed. Green roof design has been found to be not used by users in the design phase, as it is an area that covers different areas of expertise and has multi-layer variables. To solve this problem, a parametric system model has been developed. In this study, which was developed based on the parametric basis of green roof design; firstly, definitions and basic concepts were explained by reviewing the literature, green roof construction processes, building examples, green building certifications and standards were examined. Then, system requirements and parameters that effects system design were determined by focusing on green roof applications. Afterwards, a survey was conducted with companies operating in the field of green roof design and production to gather information about the field. In line with the data obtained from these steps, a parametric system model has been developed for the preliminary design of green roofs. An interface has also been developed for the proposed model. The model interface provides a visual output including a two-dimensional system section and a three-dimensional model, an informative output with text, and a planting output with filtering options. In this study; unlike the existing studies, a parametric system model that can be used for green roof design has been proposed. This improved model interface is expected to address the lack of green roof system options needed in the

pre-design phase. In addition, the model interface is intended to play a role as a decision mechanism supporting the pre-design process.

Keywords: Green roof system model, parametric model proposal, parametric green roof design, green roof interface

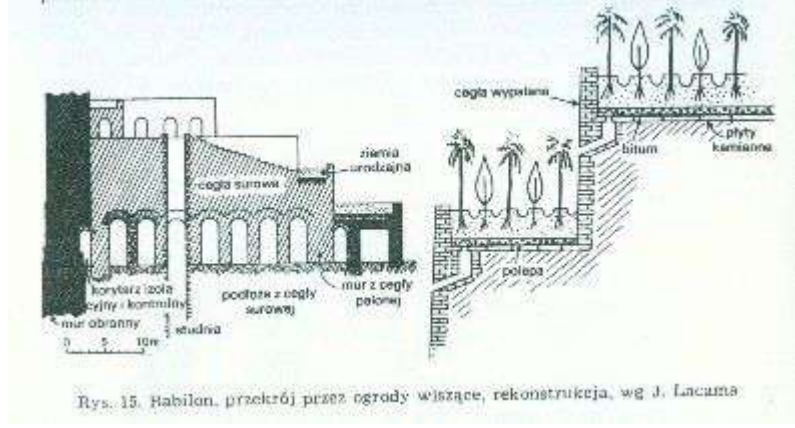


1.1 Literatür Özeti

Binaların çatısına bitki dikme düşüncesi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Yeşil çatıların çıkış noktası olan çatı bahçesi fikrinin ilk ortaya çıkışı; M.Ö. 2000 yılında kurulan ve şu anda Irak olarak bilinen antik Sümer şehirlerinden Ur'un büyük ziggurat ve mabetleri ile başlamıştır [1]. 1900'lerin başlarında yapılan kazılar esnasında, büyük ağaçların kulelerin üç kat üzerindeki teraslarda yetiştiği bulgularına rastlanmıştır. Bu suni kuleler moloz veya topraktan daha sağlam bir yapıya sahip olduğu için gerçek bir teras bahçesi olarak kabul edilmemiş ve Ziggurat bitkilendirmesi olarak adlandırılmıştır [2].

Osmundson'a göre gerçek teras bahçesi ise; M.Ö. 500 yılında, günümüzde dünyanın yedinci harikası olarak da bilinen, Babil'in Asma Bahçeleri'nde (Şekil 1.1) görülmüştür [1]. Bu bahçeler, kamış ve katran kombinasyonu kullanılarak, yapıyı rutubetten korumak üzere tasarlanan bir yalıtım sisteminden ve ağaç ve bitkilerle dikilmiş taştan yapılmış kemerlerden oluşmaktadır [3]. Toprak derinliği büyük ağaçların yetişmesine imkan sağlayacak seviyede olan bu teraslar; *Larix*, *Cupressus*, *Cedrus*, *Acacia*, *Betula*, *Populus* gibi iri cüsseli türleri kapsayan farklı çeşit geniş yapraklı ağaçlar, çalı ve üzüm bağlarını yetiştirilmek için kullanılmıştır ([4]'in aktarımıyla [5]). Aynı kaynaktan belirtildiği üzere; formal bir plan özelliği gösteren bu teras bahçeleri, eğlence için ayrılmış serin köşeler, fışkiyeli havuzlar, dekoratif çiçekler olmak üzere ağırlıklı olarak estetik ve rekreasyon alanı olarak kullanılan öğeler barındırmaktaydı. Bu bahçeler, nehre doğru bakmakta ve uzaktan yemyeşil bir tepeyi andırmaktadır.

İdeolojik açıdan günümüz yeşil çatılarının çıkış noktası olan çayır örtüsü ile kaplı çatılar, Kanada Viking Çağında, 800-1000 yılları arasında yaygın hale gelmiştir [7]. Çayır örtüsü ile kaplı çatılar İskandinav yapıları üzerindeki "sod roof"ların ilham kaynağıdır. Sod roof; hafif eğimli ahşap çatı tahtaları üzerinde birkaç huş ağacı kabuğu katmanının üzerinin çayır örtüsü ile kaplanması olarak tanımlanabilmektedir [1].



Şekil 1.1 Babil'in Asma Bahçeleri [6]



Şekil 1.2 Çayır örtüsü ile kaplı çatı örneği [7]

Klasik kültürün canlanması ve Rönesans döneminde bitki ithal etme furası, çatı bahçesi fikrine ilginin yeniden canlanmasına neden olmuştur [8]. [2]'nin aktarımına göre bu çatı bahçelerinin literatürde en sık rastlanan örnekleri ise; Casimo Medici'nin Villa Careggi'si, Graf Mafter'ın Verona'daki şatosunun bahçesi ve Maggiore Gölü üzerinde yer alan Borromeo Adalarında bulunan Isola Bella kıyılarındaki Borromeo Sarayının bahçesindeki 30 m yüksekliğinde 10 adet terastan oluşan asma bahçeleridir.

[9]'un aktarımına göre; 1800'lerde İskandinav yapılarında, ısı yalıtımı yapılması amacı ile yeşil çatı kavramı ortaya çıkmıştır. Bu amaçla evlere ısı yalıtımı sağlamak için çatılarını toprakla kaplamışlar ve bu toprağı sabitlemek amacıyla otsu türlerle bitkilendirmişlerdir. Bu yaklaşım daha sonrasında Kuzey Avrupa'da da çayır örtüsü kaplı çatılar ile yayılmıştır [10].

19. yüzyılın ikinci yarısında ise Paris Dünya Sergisi'nde Carl Rabitz adlı bir yapımcı Berlin'de kendi evinin çatısına düşündüğü çatı bahçesinin alçıdan bir modelini hazırlayarak sergilemiş ve çatı bahçeleri tasarımı örneği olarak bir dönüm noktası oluşturmuştur [2].

20. yüzyılda ise; geniş açıklıklı çelik ve su yalıtım malzemelerindeki gelişmeler, çatı bahçeciliğinin ilerlemesine büyük katkı sunmuştur. 1923'te Fransa'da Le Corbusier, çatı bahçelerinin kullanılmasını savunarak; "Şehir çatı payzajının güzelleştirilmesi, sıkışık şehir düzeninden boş zaman alanlarının kazanılması, çatı stabilizasyonunun arttırılması ve sıcaklığın çatı yapısı üzerindeki etkilerinin dengelenmesi" konularına değinen bir şema aracılığıyla yeni bir mimariye yönelerek, bunları konut projelerinin çoğuna dahil etmiştir [11]. Şekil 1.3'te görülebileceği üzere Le Corbusier; Villa Savoye'da, hem çatı bahçesi yaklaşımını benimsemiş hem de pilotiler üzerinde yükselttiği yapısında bahçe kullanımı için de imkân sağlamıştır [2].



Şekil 1.3 Villa Savoye [12]

Yıllar geçtikçe park alanı üzeri çatı bahçesi; yeni bir çatı bahçesi türü olarak daha yaygın hale gelmiş ve Londra'daki Sussex bahçelerindeki binalar ile kapalı park alanlarının üzerinin teras bahçesi olarak düşünülmesi fikri yaygınlaşmıştı [11]. Sussex bahçelerindeki aynı model, Kaliforniya'daki Kaiser Center ve Connecticut'taki Constitution Plaza gibi önemli örneklerde de görülmektedir. Kaizer Center Çatı Bahçesi, büyüklüğüne rağmen fazla ilave maliyet gerektirmeyen ve caddeden altı kat yüksekte gerçekleştirilebileceğini kanıtlayan ilk örneklerdendir [2].

Günümüze en yakın yeşil çatı tasarımları, 1970'li yıllarda Almanya'da başlamıştır [7]. Bu tarihten itibaren, iklimsel gereklilikler sebebiyle değişerek, kentsel ekolojinin bir parçası haline gelmeye bir adım daha yaklaşmıştır. 1980'li yıllarda ise Almanya'da, yeşil çatı sistem standartlarını belirlemek amacıyla Peyzaj Araştırma, Geliştirme ve Konstrüksiyon Topluluğu FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau) kurulmuştur. Bu kurum yeşil çatı uygulama tekniklerini belirledikten sonra; bitki türlerine yönelik araştırmalar yaparak, yeşil çatıların bina ve kent düzeyindeki etkilerini ortaya koyan çalışmaların yaygınlaşmasını sağlamıştır [13]. Aynı topluluk, çatılarda bitki yetiştirme konusunda araştırma yapılması amacıyla "Yerleşim alanlarındaki yeşil alanlar için bitki yetiştirme teknolojileri" adı altında bir alt komite kurmuştur [14].

Yeşil çatılar denince akla temelde; üzerinde bitkilendirme tabakası bulunan çatı

sistemleri gelmektedir. Ancak [15]'te de belirtildiği üzere; literatürde bitkilendirilmiş çatı sistemlerini tanımlamak için kullanılan daha spesifik olan, ancak genellikle birbirinin yerine kullanılan; bitkilendirilmiş çatılar, bitkilendirilmiş çatı teknolojileri, yaşayan çatılar, eko çatılar, kahverengi çatı, çatı bahçesi ve yeşil çatılar olmak üzere farklı terimler bulunmaktadır. Yine aynı kaynakta belirtildiği üzere Batı Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan eko-çatı ve yaşayan çatı terimleri, sıcak veya soğuk nedeniyle dinlenme halinde gibi görünen, belirgin bir mevsim döngüsünü tamamlayan sistemlerle ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle ekolojik veya canlı bir durumun ifadesi olarak anlaşılmaktadırlar.

Öte yandan, Birleşik Krallık'ta kullanılan bir terim olan kahverengi çatılar, bitki yetiştirme ortamı olarak bozulmuş arazideki toprakların kullanıldığı kentsel iyileştirme süreciyle ilişkilidir [16].

Literatüre göre en eski ve en yaygın terim olan çatı bahçesi ise, insanların yaşam alanı için yapay bir estetik alan yaratma amacı ile ilişkilendirilmektedir. Yeşil çatı terimi ise çağrıştırdığı iki adet anlama sahiptir: biri daha spesifik olan, insan yerleşimine yönelik tasarlanmamış olan ince bir yeşil alt katman ve bitki örtüsünü ifade eder; diğeri ise her türlü çatı bitkilendirmesini içeren geniş bir anlamdır [17].

Genel olarak, yeşil çatı teriminin kullanımı; tüm çatının, lokasyona özgü ve topluluğun çevresel faydalarını optimize etmek için toprak ve bitki örtüsü ile kaplanan geçirimsiz bir membran tabakası ile örtülmesini ifade etmektedir [15]. Bu tez çalışmasında ise; söz konusu sistemlerin tümünü kapsayan genel bir tanıma sahip olduğu düşünüldüğü için yeşil çatı ifadesi kullanılmıştır.

Günümüzde sürdürülebilirlik kavramının önemli bir parçası haline gelen yeşil çatıların tarihçesine bakıldığında; çatı bahçeleri olarak adlandırılan bu alanların öncelikli amacı estetik ve rekreasyon olma özelliğidir. Fakat teknolojinin her geçen gün ilerlemesi ve hızla artan nüfus sonucunda değişen şehir yapısı; geçmişte sadece estetik ve keyif amaçlı tasarlanan yeşil çatıların, iklimsel değişimleri iyileştirici ve enerji verimliliğini destekleyici farklı düzenlemelere göre şekillendiği sistemler olarak yön değiştirmesine sebep olmaktadır. Yeşil çatılar, kentsel ısı adası etkisini azaltmak, karbon salınımını dengelemek ve sel riskini azaltmak için verimli bir araçtır. Sürdürülebilirlik kavramını destekleyici ve bina ölçeğinde etkin bir öneme sahip olan yeşil çatılar ile ilgili Türkiye'de diğer ülkelere göre kısıtlı sayıda yapılan tasarım ve uygulamalarda çeşitli hasar ve sorunlar olduğundan yaygınlaşamadığı görülmektedir [7]. Yeşil çatıların sürdürülebilirlik alanındaki katkılarına ek olarak potansiyellerinin tam anlamıyla keşfedilmemiş olması, onu araştırılması ve geliştirilmesi gereken bir konu haline getirmektedir [18]. Yeşil çatıların potansiyel faydalarını değerlendirmek ve tasarım

sürecine yardımcı olmak için geliştiriciler ve mimarlar tarafından kullanılabilen kapsamlı tasarım araçlarına artan bir ihtiyaç bulunmaktadır [19]. Bilimsel çalışma ve kaynak sayısı günden güne artsa da özellikle tasarım sürecinde yeşil çatı sistem seçeneklerine ihtiyaç duyulduğu saptanmıştır. Yeşil çatılar; çok yönlü bir yapıya sahip olması ve çeşitli disiplinleri kapsamı sebebiyle ortak çalışma ilişkileri gerektirmektedir [1]. Bu hususlara çözüm önerisi olarak ise, bu çalışmada parametrik yeşil çatı tasarım modeli ortaya konmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında yeşil çatılara yönelik yapılan literatür araştırması sonucunda aşağıda özetlenen birçok kaynakla karşılaşmıştır. Literatürde yeşil çatılarla ilgili çalışmalar birçok konu başlığı altında çeşitlenmektedir. Bunlardan ilki yeşil çatıların sağladığı enerji verimliliğine yönelik yapılan enerji analizlerini içeren çalışmalardır. Bu alandaki çalışmaların özellikle son dönemlerde artış gösterdiği görülmektedir.

[20]'de; yeşil çatı sistemlerinin binaların ve çevrelerinin enerji performansı üzerindeki etkilerini ölçmek için, Brezilya'nın üç farklı iklimindeki yeşil çatı sistemlerini analiz etmişlerdir. [21]'de; yeşil çatıdan geçen ısı akışının performansını optimize etmek için yeşil çatı faaliyetinin performansını etkileyen faktörleri belirleyerek, yeşil çatı için deneysel veri tabalı matematiksel modelleme yaklaşımı önermiştir. [22]'de; dikey yeşil cepheler ve yeşil çatıları ekolojik kriterler bakımından inceleyerek enerji verimliliğini değerlendirmişlerdir. Yeşil çatı sistemlerinin ülkemiz sınırlarında dört farklı iklim bölgesindeki kullanımının yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri dikkate alındığında ne gibi sonuçlar doğuracağını tespit etmişlerdir. [23]'te; bir araştırma alanı kurularak örnek binada; yağmur suyunu toplayıp, biriktirip, yeniden kullanarak su tasarrufu sağlaması ve güneş paneli sayesinde depolanan enerji ile elektrik tüketimini azaltması yönünden uygun bir yeşil çatı sistemi tasarlayarak deneyler, ölçümler ve gözlemler yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre deneyin yapıldığı 8 ay boyunca yeşil çatıdan yağmur suyu toplanarak 560 litre su tasarrufu, güneş enerjisi sistemi ile elektrik üreterek 6801,2 watt elektrik tasarrufu sağlanmıştır. [19]'da ise; bitkilendirilmiş bir çatının enerji dengesinin fiziksel tabanlı bir modelini geliştirerek, EnergyPlus bina enerji simülasyon programına entegre etmiştir.

İkinci konu başlığı, hesaplamalı tasarım/optimizasyon olarak kategorize edilebilir. [24]'te; Şanlıurfa'daki yeşil çatıların, çatı üzerindeki sıcaklık düşümüne etkisini Yapay Sinir Ağları metodu kullanılarak incelemiştir. [25]'te; bina formu, dış cephe özellikleri, termostat ayarları ve yeşil çatı konfigürasyonları ile ilgili toplam 35 tasarım parametresini dikkate alarak, makine öğrenmesi ve grup akıllı algoritması aracılığıyla yeşil çatıya sahip pasif bir binanın tasarım optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. [26]'da

ise; yeşil çatılarda optimum sulama stratejisi geliştirmek amacıyla toprak nem değişimlerini simüle etmek için hava durumu verilerini kullanan yapay sinir ağı ve bulanık mantık yapay zeka algoritmalarını kullanmıştır.

Literatürdeki diğer konu başlığı ise; yeşil çatı sistemleri ve malzeme çeşitliliğini ele alan yapısal çalışmalardır. Örneğin; yeşil çatı sistemlerini inceleyen [27]'dir. Ekşi'nin kitabında; yeşil çatı planlama ve uygulama teknikleri ile yeşil çatılarda kullanılan bileşenler detaylı olarak açıklanmaktadır. [28]'de ise, yeşil çatılar üzerine sistematik bir literatür incelemesi yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda, yeşil çatı alt katmanlarına ilişkin araştırmaların çoğunun ya kontrollü laboratuvarlarda ya da seralarda yapıldığı belirtilerek, gerçek saha testlerine önem verilmesi gerektiği saptanmıştır. [29]'da yeşil çatılar için tasarım gereksinimleri, yapısal unsurlar, taşıyıcı sistem, drenaj, yetiştirmeye uygun bitki türleri, bakım, çevresel avantajlar ve yeşil çatı yatırımlarının getirilerinden detaylı olarak bahsedilmiştir. [30]'da yeşil çatılar için katmanlaşma modelini içeren tasarım seçenekleri geliştirilerek, sistem tasarım çıktıları oluşturulmuştur.

Yeşil çatılar ayrıca sürdürülebilirlik kapsamındaki sertifikasyon sistem kriterlerine katkı sağlamaktadır. Bu sebeple sertifikasyon sistemleri ile ilgil çalışmalarda da yeşil çatılara yer verilmektedir. [31]'de; Türkiye'de oluşturulmakta olan yeşil çatı bina değerlendirme sistemi için BREEAM ve LEED örnekleri incelenmiştir. [32]'de; yeşil çatıların sertifikasyon sistemlerindeki yeri incelenerek, yeşil çatı uygulamalarında hangi değerlendirme aracının en fazla öncelik ve fayda sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca FLL'nin 2002 yılında yayınlanan [33]'te ise; yeşil çatı tasarım aşamasında, inşa edilirken ve bakım aşamasında dikkat edilmesi gereken unsurlara dair birçok cevap bulunmaktadır.

Literatürdeki diğer araştırma konusu ise; yeşil çatılarda yetiştirilebilecek bitki tipleri ile yetiştirme ortam içerikleridir. [34]'te Marmara Bölgesinde doğal yollardan yetişen otsu bitkilerin yeşil çatılarda kullanımı incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında, İstanbul iklim koşullarında yetişen beş bitki türü açık arazi koşullarında test edilmiştir. [35]'te yeşil çatı yetiştirme ortamı içeriğinde kullanılmak üzere geri dönüştürülmüş kırılmış porselen ve köpüklü camın uygun alternatif malzemeler olup olmadıklarını görmek için kontrollü bir çalışma yürütülmüştür.

Ancak literatür çalışması kapsamında incelenen kaynaklarda, yeşil çatılarda sistemi parametrize eden veya parametrik bir sistem modeli sunan herhangi bir kaynağın yer almadığı görülmüştür. Yeşil çatı tasarımının çeşitli değişkenlere sahip olmasından ve çözümlenmesi gereken çokça detay içermesinden dolayı çok tercih edilmemesine çözüm önerisi olarak ise, bu çalışmada parametrik yeşil çatı tasarım modeli ortaya

konmuştur. Bu çalışmanın özellikle ön tasarım aşamasında ihtiyaç duyulan yeşil çatı sistem seçenekleri eksikliğini gidereceği ve kavramın çok disiplinli çalışma ortamı gereksiniminin dezavantajlarını azaltacağı düşünülmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı yeşil çatı ön tasarımı için parametrik bir sistem modeli geliştirmektir. Modelde; yeşil çatı sistemini tanımlayan tasarım girdilerinin belirlenmesiyle, sistemin parametrik tabana dayandırılması amaçlanmıştır. Tasarımcıların ön tasarım aşamasında; seçtikleri parametreler aracılığıyla gösterilen bilgilendirmeler doğrultusunda, kendi çıkarımlarını yaparak en uygun sistemi elde etmesi amaçlanmaktadır. Çalışma sonunda ortaya konulan model önerisinin ise; görselleştirme, filtrasyon ve yazı olmak üzere üç grup tasarım çıktısını içeren bir arayüz olarak kurgulanması amaçlanmıştır. Geliştirilen bu model arayüzünün; ön tasarım aşamasında ihtiyaç duyulan yeşil çatı sistem seçenekleri eksikliğini gidermesi amaçlanmaktadır. Ayrıca model arayüzünün; ön tasarım sürecini destekleyen bir karar mekanizması olarak rol oynaması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Yeşil çatı ön tasarımı için parametrik bir sistem modeli önerisi oluşturulmasına yönelik olan bu çalışmanın hipotezleri aşağıda sıralanmıştır:

- Yeşil çatı ön tasarım sürecinde, tasarımcıların karar verme sürecine yardımcı bir model geliştirilebilir. Bu sayede, tasarımcılar daha bilinçli kararlar almaya teşvik edilebilir.
- Yeşil çatı sistemleri konum, bitki tipi ve çatı eğimi üzerinden parametrize edilebilir. Bu sayede farklı parametre kombinasyonları için sistem kesitleri üretilebilir.
- Yeşil çatı sistemlerinde kullanılabilecek bitkiler; konum ve yeşil çatı tipine göre sınıflandırılabilir. Bu sayede tasarımcıların doğru bitki seçimi yapmalarını sağlayacaktır.
- Literatürdeki yeşil çatı tasarımına yönelik destek sistem eksikliği giderilerek, yeşil çatı sistemlerinin daha çok tercih edilmesi sağlanabilir.

2 YEŞİL ÇATILAR

2.1 Yeşil Çatı Sistemleri

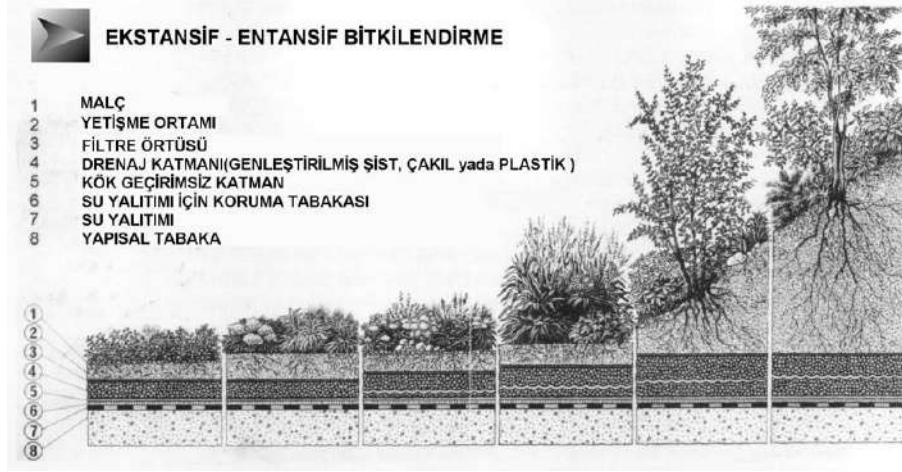
Çatılar, bütün kentsel yüzey alanlarının yaklaşık %20-25'ini oluşturmaktadır. Bu nedenle çatı bitkilendirilmesi, bina ve kentsel çevreyi değiştirmek için büyük bir potansiyele sahiptir [36]. Yeşil çatılar, insan yapımı bir yapının üzerindeki "kapsamlı" yeşil alan olarak tanımlanabilir. Bu yeşil alan, seviyenin altında, seviyesinde veya üstünde olabilir, ancak her durumda zeminden ayrıdır. Yeşil çatı sistemi, minimum standardında yüksek kaliteli su yalıtımı, kök tutucu, drenaj sistemi, filtreleme bezi /kumaşı, hafif bir yetiştirme ortamı ve bitkileri içeren mevcut çatının bir uzantısıdır.

Bitki Yoğunluğuna Göre Yeşil Çatı Sistemleri

Bitkilendirme çeşidinin değişmesi yeşil çatıların yapısal özelliklerini de etkilemektedir. Bu sebeple, yeşil çatılarda en önemli ayırım kriteri bitkilendirme tipidir [37]. Yeşil çatı sistemleri; bitkilendirme çeşidine ve buna bağlı olarak bitki yoğunluğuna göre iki ana çeşide ayrılmaktadır. Bunlar ekstansif (seyrek) ve intensif (yoğun) yeşil çatılardır. Birkaç on yıl öncesinde ise; yeşil çatı sistemlerinin çeşitlenmesi ile, iki ana tip yeşil çatı sisteminin bir araya getirilerek tasarlanması ile üçüncü yeşil çatı tipi olarak yarı intensif (yarı yoğunluklu) yeşil çatılar literatüre dahil edilmiştir.

Ekstensif (Seyrek) Yeşil Çatılar

Ekstensif, diğer adıyla seyrek yeşil çatılar; çok sığ bir toprak derinliğine veya yetiştirme ortamına sahip bir sistemi tanımlamak için kullanılmaktadır. Öncelikli olarak yağmur suyu yönetimi ve yalıtım özellikleri gibi çevresel faydaları için kullanılırlar. Nadiren sulanan, minimum bakım gerektirmesi beklenen sistemlerdir. Genellikle bir bahçe veya açık alan olarak kullanılmak üzere doğrudan erişilmesi amaçlanmamıştır, ancak asfalt yürüyüş yolları ve oturma alanları gibi açık alan olarak kullanımı da uygundur [38].



Şekil 2.1 Soldan sağa doğru ekstansif ve intensif bitkilendirme ([1], [4]’ün uyarlaması üzerinden erişilmiştir)

Bu tip çatılar bodur çalılar, tek ya da çok yıllık yabani otlar ve çayır örtüsüyle yapılan bitkilendirmeleri kapsamaktadır [4]. Bu bitkilendirme çeşidi çoğaltma için neredeyse hiç dış girdi gerektirmez. Kullanılan bitkiler, dikilecekleri yerlerde karşılaşılabilecekleri tüm koşullarla başa çıkmaya özellikle uygun olacak ve kendi kendilerine çoğalabilecekler türlerdendir. Tür seçimi aşamasında yerel flora dikkate alınmalıdır. Kural olarak, ekstansif bitkilendirme uygulaması ve bakımı en az maliyetli olanıdır. Bitkilendirme hedefine, bölgesel iklim koşullarına ve inşaat türüne bağlı olarak, besin temini gibi bazı seçilmiş bakım faaliyetleri gerektirebilmektedir [33].

Ekstensif bitkilendirme için aşağıdaki faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir:

- Rüzgarın ve güneş ışınlarının yoğunluğunun su stokları üzerindeki etkisi
- Kuru yerlerdeki bitkilerin katmanlı üstyapıdaki hava kaynaklarına olan talepleri
- Bu tür bitki örtüsünün aynı zamanda havadaki kimyasal kirliliğe, sıcak ve soğuk hava emisyonlarına karşı da hassas olduğu
- Gölge koşullarda veya ıslak alanlarda, örneğin sıfır eğime sahip olan çatılara, dönüşümlü olarak nemli veya sürekli nemli yerlerde bitki örtüsü biçimlerinin dönüşümü [33]

Ekstensif yeşil çatılar, daha ince bir alt katmana sahiptir ve nispeten hafiftir. Tipik olarak derinliği 15 cm’den fazla olmayan bir yetiştirme ortamına sahip olduğu görülmektedir. Sığ alt tabaka derinliğinin bir sonucu olarak, bitki örtüsü çeşitliliği az büyüyen ve kökleri çok uzun olmayan türler ile sınırlıdır. Ekstensif yeşil çatı sistemlerinde yetiştirme ortamının bileşimi çok önemlidir. Bitki türleri arasında

rekabeti teşvik edeceğinden ve düzensiz bir bitki örtüsüyle sonuçlanabileceğinden, aşırı verimli bir alt tabakadan kaçınmak önemlidir. İdeal senaryo, yıl boyunca sabit bir örtüyü koruyan orta derecede verimli bir alt tabakaya sahip olmaktır [39].

Sonuç olarak; bina üzerinde çok az veya hiç ek yapısal destek gerekmediği için daha geniş bir uygulama yelpazesi mümkündür. Ek yapısal desteğin istenmediği durumlarda yaygın olarak kullanılır. Tipik olarak, mevcut bir çatı 100 kg/m² ağırlığa kadar çıkabilen ekstensif bir sistemi destekleyebilecektir [39]. Ayrıca bu tip yeşil çatılar, bitki örtüsünün stabilize olmasını ve rakip yabancı otların bulunmamasını sağlamak için ilk birkaç yıl bakım gerektirir. İlerleyen süreçte bakım asgari düzeydedir ve yılda yalnızca bir ya da iki kez gerekebilir. Daha düşük bakım gereksinimleri ve azalan sulama ihtiyacı ile birleştiğinde, özellikle çatı yüzeyinin geniş alanlarının yeşillendirileceği yerlerde, ekstensif yeşil çatıların daha geniş çapta benimsenmesine yol açmıştır [40].

İntensif (Yoğun) Yeşil Çatılar

İntensif, diğer adıyla yoğun yeşil çatılar; en kapsamlı çatı bitkilendirme sistemleridir. Genellikle yeşil bir çatıdan elde edilebilecek çevresel faydaları en üst düzeye çıkarmak ve aynı zamanda kamusal çevreyi sağlamak için tasarlanmıştır. Yoğun yeşil çatılar gıda üretimini de destekleyebilir. Şehir çatılarında gıda üretimi, taze ürünlerin taşınması ihtiyacını ortadan kaldırmaya da büyük ölçüde azaltabilir ve böylece karbon emisyonlarını düşürebilir [39]. Bu tip yeşil çatılar; ağırlıklı olarak çim, yer örtücü, büyük çalılar ve ağaçlardan oluşan bitkilendirmeleri kapsamaktadırlar. Bitki sıklığı olarak çok yoğun olmayan bu çatı tipleri; kullanılan bitki türü, toprak kalınlığı ya da kullanılan sistemler bakımından yoğunurlar [4].

İntensif bitkilendirmenin amacı kendiliğinden yeşillenme süreçlerinin aksine, bitki örtüsü gelişimini kısa bir süre içinde başlatmak ve doğal bitki örtüsü dinamiklerinin yardımıyla kalıcı stoklar oluşturmaktır. İntensif bitkilendirme için aşağıdaki faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir:

- Açıkta bulunan çalılar ve ağaçlar rüzgara dayanabilmelidir
- Bazı münferit çeşitlerin, özellikle herdem yeşil olanların bitki örtüsünün sınırlı yoğunlukta olduğu yerlerde kış koşullarına tam olarak dayanıklı olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır
- Tüm bitki örtüsü havadaki kimyasal ve egzoz kirliliğine, ayrıca sıcak ve soğuk hava emisyonlarına karşı hassastır. Bazı bitki türleri ise, yansıyan ışığa ve termal birikime karşı hassastır [33]

İntensif bir yeşil çatı; hasat edilen su miktarını, alt tabakasının verimliliğini ve seçilen bitki örtüsü çeşitlerini dengelemelidir. Önemli olan diğer hususlar ise çatı güvertesinin yük kapasitesi, erişilebilirlik ve diğer çatı üstü yapılarıdır. Bu tip yeşil çatılar tipik olarak 15 cm'den daha büyük yetiştirme ortamı derinliği gerektirir. Bu durum ise, daha geniş bir bitki çeşitliliğinin yetişmesine olanak sağlar. Ancak, farklı bitki türlerinin yetiştirme ortamı, besin maddeleri ve su ihtiyaçları açısından farklı gereksinimleri vardır ve bu da sonuçta yeşil çatı sisteminde kullanılacak malzemelerin seçimini etkileyecektir. Bu nedenle, aralarından seçim yapılabilecek çok çeşitli bitkiler olduğunda bitki türlerinin seçimine ekstra önem verilmesi gerektiğinin farkına varılması önemlidir [39].

Yoğunluğun artması, daha fazla toprak derinliğine veya yetiştirme ortamına sahip olan sistemlere, bu da boyut ve bitki örtüsü türünde daha fazla çeşitliliğe izin verir. Genellikle yemyeşil bir bitki örtüsünden oluşan bu yeşil çatı sistemleri, diğer tiplerine kıyasla besin açısından daha zengin ve derin bir alt tabakaya sahip olduğundan; çoğunlukla ek sulama ihtiyacı ve daha yoğun bakım düzeyi gerektirmektedir [38]. İntensif bir yeşil çatının doymuş ağırlığı 1000 kg/m²'ye kadar çıkabilir [39].

Yarı-İntensif (Yarı-yoğunluklu) Yeşil Çatılar

Çatılarda bitkilendirmeye ilgili yayınların bir kısmında intensif ve ekstensif olmak üzere iki çeşitten bahsedilmektedir. Fakat birkaç on yıl öncesinde; bu iki türün bazı özelliklerini birleştiren yeni bir kavram ortaya çıkmaya başlamıştır. Çatı katının bitişik binalardan görülebildiği ancak erişim imkanının sınırlı olduğu ve çatı katının yapısal kapasitesinin yoğun bir yeşil çatıyı destekleyemediği durumlarda yarı ekstansif çatı sistemi uygundur.

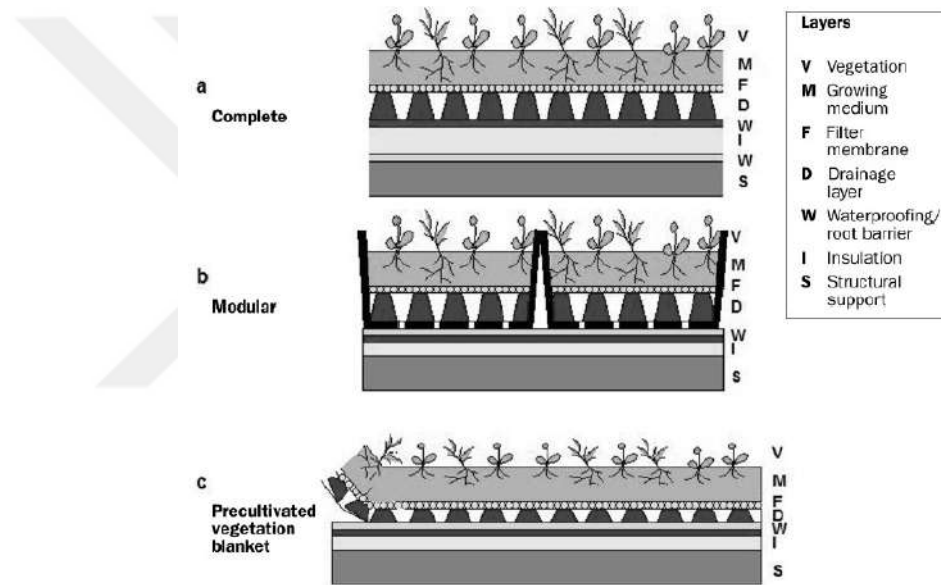
Yarı intensif yeşil çatılar; hem ekstensif hem de intensif yeşil çatıların özelliklerini gösterebilmektedir. Ekstansif sistemlerle aynı hafif malzemeleri ve katmanları kullanır, ancak biraz daha fazla yetiştirme ortamına sahiptirler. Bu nedenle çatının yapısal ek desteğine daha az ihtiyaç duyulur veya hiç ihtiyaç duyulmaz. Yetiştirme ortamı derinliği 10 cm ile 20 cm arasında olmaktadır. Orta kalınlığa sahip toprak tabakası sebebiyle küçük çalılar ve odunsu bitkilerden oluşan bitki örtüsüne sahip olmaktadır. Bu da ekstensif sistemlere kıyasla; daha geniş ve çeşitli bitki tipleri veya bitki örtüsü türlerinin yetiştirilmesi potansiyeline sahip oldukları anlamına gelmektedir [41].

Yarı intensif bir yeşil çatı, diğer yeşil çatılar gibi binaya ekstra bir yük uygular. Genel olarak bu tip yeşil çatılar, malzeme seçimine bağlı olarak 630 kg/m² ağırlığa kadar çıkabilir [39]. Sulama ve bakım faaliyetleri kullanılan bitkilerin

türüne bağlı olarak değişmekle birlikte, intensif sistemlere göre daha düşüktür. Estetik kaygılarla tasarlanacak binanın, intensif yeşil çatının ağırlığını taşıyamayacak durumda olmaması halinde, yarı-intensif yeşil çatılar akla gelmektedir [42].

Uygulama Çeşidine Göre Yeşil Çatı Sistemleri

Yeşil çatılar; uygulama çeşidine göre ise, yerinde uygulanan veya tam sistemler, modüler sistemler ve önceden ekili bitki battaniyeleri olmak üzere üç başlıkta gruplandırılabilir. Sistemin uygulamasına göre türler; çeşitli bireysel bileşenlerin geleneksel çok katmanlı oluşturma yöntemi, drenaj, toprak ortamı ve bitkileri bir arada içeren bağımsız modüler birimler ve önceden yetiştirilmiş bir bitki örtüsünden oluşan tek bir katmana ayrılmaktadır [43].



Şekil 2.2 Uygulama çeşidine göre yeşil çatı sistemleri [13]

Tam Sistemler

Tam sistemler, diğer adıyla yerinde uygulanan sistemler; yeşil çatı düzeneğinin çatı yüzeyi üzerine malzemelerin yerleştirilmesiyle oluşturulduğu daha geleneksel bir uygulama çeşididir [29]. Bu teknik, karmaşık ve uzun ömürlü bir çözüm sağlamaktadır. Çatı membranı da dahil olmak üzere bu sistemlerin her parçası katman katman doğrudan çatı sisteminin üzerine yerleştirilir. Bu sistem; kurulum için gerektirdiği zaman ve maliyetten ötürü, modüler sistemlerden daha pahalı olabilmektedir. Bitkilendirme, yetiştirme ortamı, drenaj, su yalıtım membranı ve diğer katmanların hepsi yerinde uygulanan yeşil çatının bir parçasıdır. Büyük ölçekli projelerde genellikle bu sistemleri tercih edilmektedir. Bu sistemin çok önemli bir avantajı da her proje için özelleştirilmiş tasarım seçenekleri sunmasıdır [16].

Bu yöntem; yeşil çatılarda kullanılabilecek köklü fidelerin dikimi, çelikleme veya tohum çoğaltma gibi bazı geleneksel dikim tekniklerini içermektedir. Bu klasik yöntemlere ek olarak bazı yenilikçi dikim teknikleri de mevcuttur. Bunlar arasında bitki kasalarını içeren modüler sistemler, "hidro seeding" veya "hidroplanting", biyoçeşitlilik destekli bitkilendirme yer almaktadır. Hydroseeding veya hydroplanting yönteminde; özel bir makine yardımıyla, bitki parçaları ve tohumlar belirli bir oranda gübre ve diğer maddelerle birleştirilerek, ekilecek alana püskürtülür. Geniş alanlar için hızlı ve güvenilir bir bitkilendirme yöntemi sağlar. Biyoçeşitlilik yardımı ile yapılan bitkilendirmede ise; ilk olarak yetiştirme ortamı çatı yüzeyine yerleştirilir, daha sonra bu yüzeyin bitki örtüsü doğanın şekillendirmesine bırakılır. Kahverengi çatılar olarak da adlandırılan bu teknik ile çevredeki türlerin çatıyı kaplaması öngörülmektedir. Bu strateji, bölgeye yerli bitki türlerinin getirilmesini amaçlamaktadır. Bu türler de doğal olarak sisteme katılacak ve mevcut çatı yüzeylerine eklenecektir [27].

Modüler Sistemler

Modüler yeşil çatılar, çatıda düzenlenmiş çiçekliklerden oluşan yeşil çatı sistemleridir. Bu ürünlerin çoğu, projenin bölgesel iklimine göre tasarlanmış toprak karışımları ve bitkileri içerir. Bu yöntem, yeşil çatının tasarımını ve kurulumunu çok basit hale getirir, çünkü modüller bağımsızdır ve alana çatıya yerleştirilmeye hazır olarak gelir. Bu yöntemde bitki kasaları ya da kaset sistemler de denilmektedir.



Şekil 2.3 Modüler yeşil çatı sistemi

Önceden dikilmiş modüller, tek bir uygulama ile yeşil çatının tamamlanmasına izin verecek şekilde çatıya taşınabilir ve konumlandırılabilir. Bu, modülleri özellikle sınırlı veya zor erişimi olan çatılar için cazip hale getirir. Modüller kolayca hareket ettirilebilir ve çatı yüzeyinin erişime hazır olmasını sağlar. Bu özellik, çatı sızıntılarının

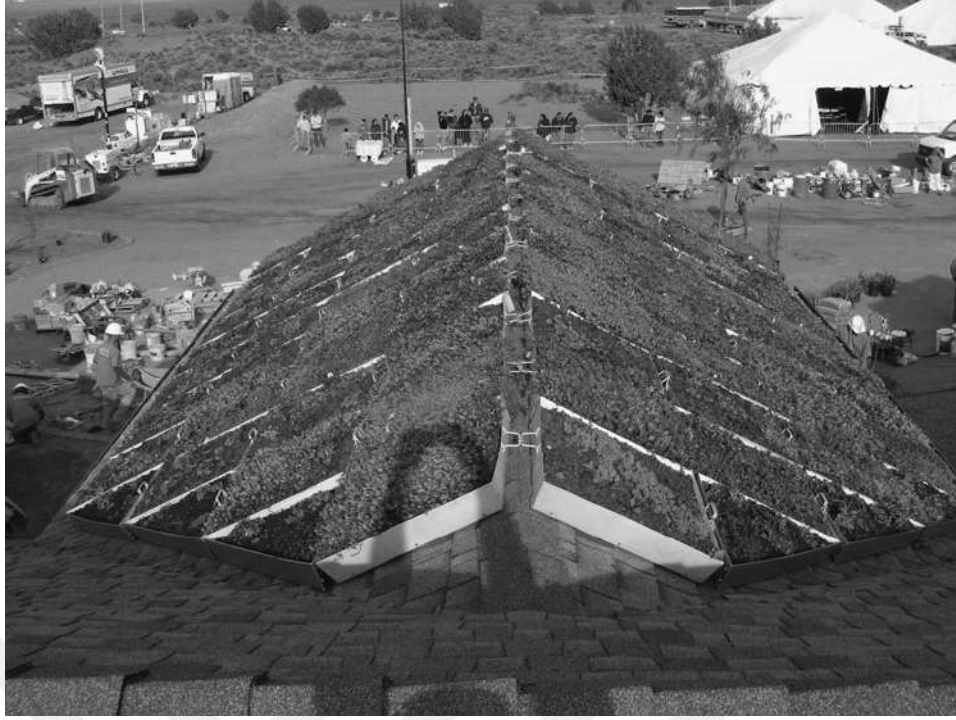
onarımı veya gelecekteki çatı ile ilgili değişiklikleri hakkındaki endişeleri kısmen gidermektedir. Bu sistemler; drenaj sistemi, yetiştirme ortamı ve bitkileri içermektedir [44].

Modüllerin bağımsız doğası; yeşil çatının kenarlarının, büyüme ortamını kapsayan kenarlık, bariyer veya herhangi bir sınırlayıcı kullanılmadan tanımlanmasına izin verir. Bu durum, yeşil çatının; zaman içinde veya bütçenin izin verdiği ölçüde modüller eklenerek, aşamalı olarak uygulanabileceği anlamına gelir. Rijit malzemelerden yapılmış modüllerin düzensiz veya eğrisel şekilli çatı alanlarına sığması daha zordur, kumaş modüller ise bu çeşit projeler için daha fazla esneklik sağlar. Fakat, rijit modüller şantiye dışında olgunlaşmaya kadar büyütülebilir ve anında yeşil bir çatı oluşturmak için teslim edilebilirken, kumaş modüllerin çatıda yerinde yetiştirilmesi gerekmektedir. Modüler sistemlerin çoğu, 15 cm'den daha az derinliğe sahip büyüme ortamları ve alçak yer örtücülerinden ve sukulentlerden oluşan bitki paletlerine sahip ekstensif yeşil çatılardır. Bazı modüller daha derin birimlerde mevcuttur; bununla birlikte, daha derin modüllerin ağırlığı, büyüme ortamıyla doldurulduktan sonra onları genellikle hareketsiz hale getirir. Modüler yeşil çatılar genellikle %33'e kadar olan eğimlerde ek destek olmaksızın kullanılabilir. Modüllerin daha dik eğimlerde kullanılması; modüllerin birbirine ve çatı eğiminin üst kısmı boyunca merkezi bir ankraj noktasına bağlanması gibi ek tasarım unsurları gerektirmesi açısından yoğun emek isteyen bir uygulama haline gelebilmektedir. Örneğin Şekil 2.4'de görülen projede, modüllerin çatı eğiminden dolayı aşağı kaymasını önlemek için; paslanmaz çelik kelepçeler ile modüller bağlantı noktalarından birbirine kenetlenmiştir [29].

Önceden Ekili Bitki Battaniyeleri

Önceden ekili, işlenmiş veya serilmeye hazır bitki örtülerini içeren bu yöntem; polyester veya sentetik keçe benzeri bir tabakanın üzerinde yetiştirme ortamı ve bitki örtüsünü içerir [27]. Bu sistemler mevcut bir çatı sistemi üzerine, kök bariyerleri ve gerekli yerlerde drenaj örtüsü ile birlikte kurulur. Şeritlere ayrıldıktan sonra, hasırlar rulo haline getirilir ve gelecekteki yeşil çatının bulunduğu yere hızlı bir şekilde teslim edilir [13]. Serilmeye hazır olan bu örtülerin kalınlığı 2 ila 5 cm arasında değişebilmektedir [27]. Bu sistemlerin çoğu zemin seviyesinde yetiştirilir, daha sonra rulo haline getirilir ve paletler üzerinde veya vinçle komple bir sistem olarak taşınır [45].

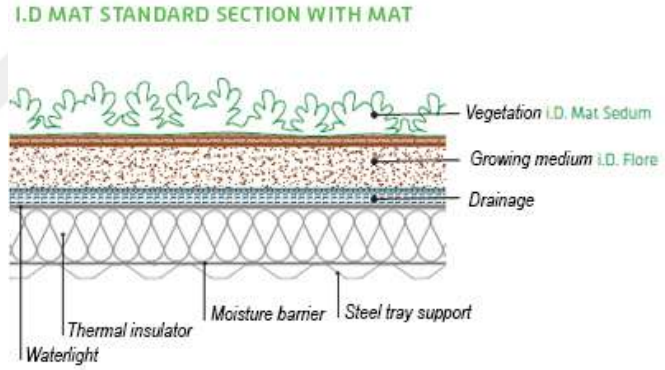
Bu sistem çok ince olduğundan, bitkilerin korunması ve seçim aşamasında esnek bir sistem değildir. Genellikle bitkiler sedumlardan seçilir. Çünkü bu tür, zorlu ortamlara direnç göstererek hayatta kalabilir. Kuruluş aşamasında, önceden ekili bitki battaniyeleri genellikle sulamaya ihtiyaç duymaktadırlar. Diğer sistemlere benzer



Şekil 2.4 Modüler yeşil çatıdaki kenet sistemi [29]



(a) Sedum battaniye sistemi [46]



(b) Sedum battaniye sistem kesiti [47]

Şekil 2.5 Önceden ekili bitki battaniyeleri sedum sistemi

şekilde, bu sistem de zorlu kurulum ve nakliye süreçleri nedeniyle pahalıdır. Özel uzmanlık ve ekipmana ihtiyaç duyarlar [48]. Ayrıca, kurulumdan önce battaniyelerin en az bir yıl boyunca yetiştirilmesi gerekir. Matlar rüzgarlı koşullar, çok eğimli alanlar ve tekdüze bitki çeşitliliğine ihtiyaç duyan kullanıcılar için verimli bir seçenektir. Erozyon nedeniyle neredeyse hiç kayba uğramazlar [16].

2.2 Yeşil Çatı Katmanları

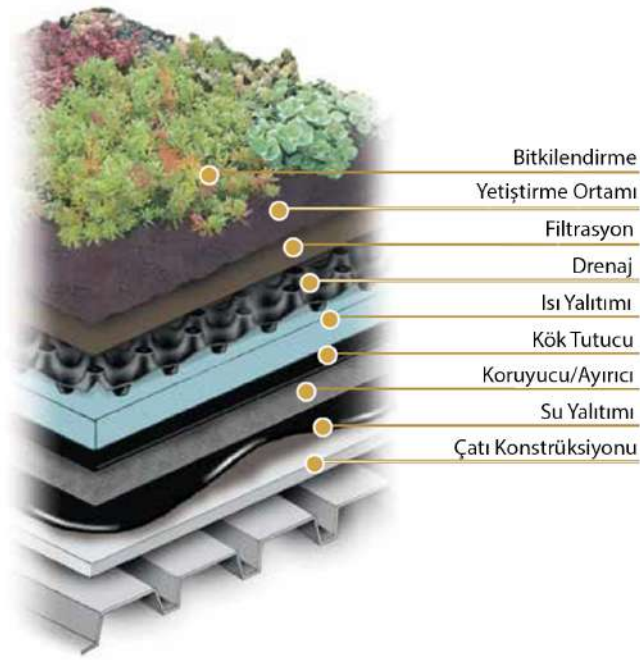
Yeşil çatı tasarımı, yeşil çatının ve üzerinde konumlandığı binanın bütüncül olarak düşünülmesi ile meydana gelir. Tasarım süreci, tasarlanmakta olan yeşil çatının çeşitli yönlerini tanımlamaya yardımcı olacak bir dizi soru sormakla başlar ve sorulara verilen cevaplar doğrultusunda yeşil çatı sistemi şekillenir [29].

Yeşil çatılar, çeşitli bileşenler içeren sistemler bütünüdür. Bir çatının başlıca katmanları temel olarak şu şekilde sıralanabilir; taşıyıcı konstrüksiyon, ısı yalıtımı, su yalıtımı ve bunları dış etkilere karşı koruyan bir kaplama. Kaplama malzemesinin yerine, bitki örtüsü kullanıldığında ise, çatının fonksiyonunu yerine getirebilmesi ve bitki örtüsünün yaşamını devam ettirebilmesi için çatının katmanları yetersiz kalır [49]. Bu sebeple, çatı katmanlarına bitki örtüsü eklendiğinde, ortaya çıkan yeni bileşenler, birer tasarım kriteri haline gelmektedir. Tasarım kriterleri ve özelliklerine göre özelleşmiş yeşil çatı çözümleri bulunmaktadır. Ancak bu sistemlerin düzgün işleyebilmesi için evrensel olarak kabul gören temel katmanları bulunmaktadır. Bu katmanlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Bitki örtüsü/Bitkilendirme Katmanı
- Yetiştirme Ortamı
- Filtre katmanı
- Drenaj katmanı
- Koruyucu/Ayırıcı katman
- Isı yalıtımı
- Kök tutucu katman
- Su yalıtımı (Şekil 2.6)

Bitki Örtüsü

Yeşil çatıların en üst kısmında yer alan bitki örtüsü katmanı, bölgenin iklimsel özelliklerine uygun olarak seçilen bitki türlerini kapsamaktadır. Bitki örtüsü katmanı, yeşil çatının en hayati ve heyecan verici kısmıdır ve her proje uygun bitki materyali seçimine ilişkin araştırma gerektirmektedir. Yeşil çatılarda alt katmanları da etkileyen en belirleyici kriter bitkilendirme tipidir. Yeşil çatının başarısı için, dikkatli bitki seçimi önceliklidir.



Şekil 2.6 Yeşil çatı sistem katmanları [50]

Bitki örtüsünü oluşturan bitkilendirme tipi; yeşil çatı tipine ve iklim koşullarına bağlıdır. Bir yeşil çatı projesinde; hayatta kalabilecek bitki türlerini sınırlayan bazı koşullar bulunmaktadır. Bunlar; bitkilerin yetiştirme ortamı gereksinimi, sulama, çatıdaki iklim, bitkilerin kuraklığa toleransı, dikim gölge toleransı ve çevresel koşullardır. Çatının iklimi ve bitkilerin dayanması gereken yakıcı sıcaklığı göz önünde bulundurmak gerekir. Ancak büyüme ortamının derinliği ve ısı toleransından çok, bitki seçimindeki en büyük sınırlayıcı faktör sulama ihtiyacıdır [29].

Binaların yapısal yük sınırlamaları ise, yüksek mineral konsantrasyonuna sahip hafif, genişletilmiş agrega bazlı yetiştirme ortamının sığ derinlikleri kullanılarak yeşil çatıların inşa edilmesini gerektirmektedir [29]. Ekstensif yeşil çatı için en uygun bitkilendirme sedumlardır. *Sedumlar* daha az bakım ve sulamaya ihtiyaç duyarlar. Soğuk mevsimlerde su tasarrufu sağlayabildikleri için de, yaz aylarında fazla miktarda suya ihtiyaç duymazlar [51]. *Sedumlar*, diğer sukulentler ve yer örtücüler az suyla yaşayabilir ve yüksek ısıya dayanabilirler. Buna karşılık, yerli otlar, çayır bitkileri ve sulak alan bitkileri, çatı ortamının kavurucu sıcaklığında hayatta kalabilmek için agresif sulama rejimlerine ihtiyaç duymaktadır [29].

İntensif yeşil çatı bitkilendirmeleri için çok daha geniş bir bitki çeşitliliği mevcuttur. Ekstensif yeşil çatılara uygun bitkiler ise, yarıklarda ve kayalıklarda, kuru çayırda, orman kenarlarında ve bozkırlarda bulunanlar gibi çok ince büyüme ortamına, sahip sert çevre koşullarında yetişebilen türlerdir. Alpin ve sulu meyveler gibi diğer aşırı hava koşullarına dayanıklı yer örtücüler ve bazı çiçekli otlar, soğanlar, yerli otlar,

yosunlar, kır çiçekleri ve diğer uzun ömürlü bitkiler, dayanıklılıkları, sığ kök yapıları ve yatay büyüme alışkanlıkları nedeniyle uygun seçimlerdir [43].

Yeşil çatı bitkilendirmesinde çeşitlilik oldukça önemlidir. Tek türle bitkilendirme; tek tip yükseklik, renk ve dokuya sahip yemyeşil bir bitki örtüsü halısı oluşturabilir. Fakat bu durum yeşil çatı projesini riske atabilir. İklim koşulları ve belirli türler için ölümcül olan zararlılar, monokültür bir yeşil çatıyı hedef alarak, projedeki tüm bitkileri yok edebilir. Bir projenin yıkıcı bitki hatalarına maruz kalmasını sınırlandırmak için, bunun yerine beş veya daha fazla farklı türden oluşan çeşitli bir bitki grubu kullanılarak çoğaltılmalıdır. Farklı yaprak yapısına sahip bitkilerin seçilmesi, çeşitli dokular oluştururken, farklı koşullar altında suyu farklı şekilde metabolize eden bitkileri kullanarak daha fazla sürdürülebilirlik sağlayacaktır [29].

Sonuç olarak; yeşil çatı sistemlerinde kullanılacak bitki türleri;öncelikli olarak uygulama alanının iklimsel özelliklerine, çatının yük taşıma kapasitesine ve sistem tipine göre değişiklik göstermektedir [27]. Ayrıca bitkiler ile yetiştirme ortamı tasarımı da paralel ilerlemesi gereken süreçlerdir. Özellikle yapı ile ilgili kısıtlamalarının olduğu yerlerde, olabildiğince sığ ve hafif yetiştirme ortamı ile dikim yapılmalıdır. Tüm bu hususlara bağlı olarak, yeşil çatı sistemlerinin bitki seçimi ve düzenlemeleri değişiklik göstermektedir.

Yetiştirme Ortamı

Seçilen bitkinin besin ihtiyacını karşılayan, toprak veya diğer özel malzemelerin karıştırılmasıyla oluşan alt yapılardır. Bitkilerin büyümesi için gereken tüm temel fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip yoğun bir kaynaktır. Bitkilerin yararına olan sızıntı sularını absorbe edebilmesi ve sadece fazla suyun drenaj yoluna geçmesine izin verebilmesi için stabil olması gerekir. Maksimum su içeriğine ulaşmış olsa bile, içine ekilen bitki türü için yeterli miktarda hava içerebilmelidir [33]. Bu katman, yaşayan bir çatının uzun vadeli başarısı için kritik öneme sahiptir. Büyüme ortamı, inorganik minerallerin organik malzemeye oranının yüksek olduğu son derece hafif mühendislik ürünü olan "tasarlanmış" toprak alt tabakasından oluşur [43]. İnorganik ve organik maddelere ek olarak su ve hava içermektedir. Topraksız yetiştirme ortamı girişimlerine 1920'lerin sonlarında başlanmıştır [16]. Yetiştirme ortamındaki inorganik bileşenler arasında genişletilmiş arduvaz ve killi şist, ekstrüde kil, ezilmiş geri dönüştürülmüş tuğla ve beton molozu, lav, taş yünü ve perlit gibi malzemeler yer alabilir. İyi çürümüş humus malzemesi (örneğin tavuk gübresi, guano veya mantar kompostu) gibi çok daha küçük oranlarda organik madde eklenebilir. Bu, organik lifli malzeme ve az miktarda kil parçacıkları ile takviye edilebilir. Bu karışım, toprak topluluğunun sağlığı için gerekli temel eser elementleri tutar ve yavaşça serbest bırakır

[43].

Yer seviyesindeki bahçelere oranla, yeşil çatılarda bitkilendirme ortamı gereksinimleri daha farklıdır. Öncelikle yeşil çatılar iyi bir drenaja ihtiyaç duymaktadır. Drenaj tabakası aracılığı ile toprak kaybının önlenmesi için, çürümeye dayanıklı filtre tabakası, yetiştirme ortamı ile drenaj katmanını birbirinden ayırmalıdır. Fazla suyun toprakta birikmesi, hem bitki köklerinin çürümesine yol açıp hem de çatıya ek yük getireceğinden; yetiştirme ortamı, filtre tabakasının tıkanmasını önlemek için milden arındırılmalıdır [4].

Su Yalıtım Katmanı

Su yalıtımı; su sızıntılarına ve nemlenmelere karşı koruma sağlamak amacıyla çeşitli kimyasallarla yapılan uygulama tabakasıdır. Su yalıtımının temel amacı; istenmeyen nemi, yağmur, kar, dolu ve yoğuşmayı yapıdan uzak tutmaktır. Geleneksel çatı sistemlerinden farklı olarak su yalıtımı; standart yeşil çatı sisteminin en alt tabakası, döşemenin ve altındaki yapının birincil koruyucu unsurudur. Ancak membran, asfalt organik bir ürün olduğundan ve dolayısıyla mikroorganizmaların besin kaynağı olduğundan kök penetrasyonunu önlemek için bu membranların yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) membran ile kaplanması gerekmektedir [52]. Su yalıtım membranının seçimi, montajı ve korunması, yapı üzerindeki herhangi bir ek bileşen veya sistemin başarısı ve uzun ömürlü olması için çok önemlidir. Bir su yalıtım membranının arızalanması, tüm canlı yeşil çatının veya peyzaj üstü yapının arızalanmasına yol açabilir [38]. Kullanılan su yalıtım ürünü kök dayanımına, sürme tipi olanlarda yüksek elastikiyete ve yüksek su geçirimsizlik özelliklerine sahip olmalıdır. Yeşil çatı uygulamalarında ortaya çıkan sorunların bir kısmı, su yalıtımının doğru bir şekilde uygulanmaması veya yanlış malzeme seçiminden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, yeşil çatı uygulamalarında su yalıtımının uygulanması ve kullanılacak malzemenin seçimi büyük bir öneme sahiptir. Avrupa’da, FLL veya buna benzer sertifikasyona sahip laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilen çeşitli testler aracılığıyla su yalıtım malzemelerinin kök geçirimsizlik veya kök dayanımına sahip olduğu onaylanmaktadır. Türkiye’de ise TS EN 13948 standart numarasıyla su yalıtım malzemelerinin uygunluk değerleri ölçülerek değerlendirilmektedir. Yeşil çatılarda su yalıtım malzemesi seçerken, bu standartlara sahip malzemelerin tercih edilmesi önemlidir [27]. Su yalıtım uygulaması yapıldıktan sonra, yeşil çatı sistemlerinin tüm kalite testlerinin yapılması ve sistemde su kaçağı olmadığına emin olunduktan sonra diğer sistem katmanlarının yerleştirilmesi gereklidir. Su kaçağı testi için 48 saat idealdir, fakat süre kısıtlaması var ise minimum 24 saat de yeterli olmaktadır. Su yalıtım ürününün zarar görmemesi

için kullanım aşamasında tüm sistemin doğru çalışmasının sağlanması ve yeşil çatıdaki tüm bakımların düzenli olarak yapılması gerekmektedir [53].

Su yalıtım membranının seçimi ve spesifikasyonunun, bir çatı sistemi içindeki diğer bileşenlerin seçimi ve spesifikasyonu ile koordine edilmesi esastır. Bu, bileşenlerin uyumluluğunun ve tüm sistemin uzun vadeli performansının sağlanmasına yardımcı olacak ve ayrıca üreticinin veya kurulumu yapanın garantisinin tüm gerekliliklerine uyulmasına yardımcı olacaktır. atı kaplama tiplerinin endüstri ve genel tanımları değişebilir, ancak düşük eğimli çatılar için genel olarak üç ana çatı tipi kabul edilmektedir:

- Örme ya da yerleşik membran
- Tek katlı membran (hibrit veya kompozit membran tiplerini içerir)
- Sıvı (uygulamalı) membran

Bu genel tiplerin her biri içinde malzeme bileşimi, imalat yöntemi veya yerleştirme tekniği değişebilir [38].

Isı Yalıtım Katmanı

Farklı sıcaklıktaki iki bölge arasında ısı geçişini azaltmak amacıyla yapılan uygulama tabakasıdır. Isı transferi her zaman sıcaktan soğuğa doğru gerçekleşir. Bu sebeple yapıya hiçbir zaman soğuk girmez, yapı içerisindeki sıcaklık yapıyı terk eder. Isı transferini engellemek için farklı sıcaklıktaki katmanlar arasında yalıtım kullanılır. Isı yalıtım katmanının kullanılmaması, bitkilendirilmiş çatı sistemini oluşturan genleşme katsayısı yüksek malzemelerde, sıcaklık artış ve azalışlarındaki yorulmalara bağlı olarak bozulmaların oluşmasına neden olabilir. İç-dış ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşacak olan ısı akımı nedeni ile sıcak mevsimlerde bina içi soğutma enerjisi, soğuk mevsimlerde ise bina içi ısıtma enerjisi ihtiyaçları artar. Çatıda ısı akımını kontrol etmek için, belirli düzeyde ısı geçişini engelleyen, istenilen düzeyde iç ortam sıcaklığı sağlayan ve bu sayede binada kullanılan ısıtma-soğutma enerjilerinin azalmasına katkı sağlayan bir ısı direnç faktörü oluşturulmalıdır. Bu faktör; ısı yalıtım malzemesi, kullanılan malzemelerin ısı iletkenlik katsayısının düşük olması ve bitki taşıyıcı katmanın ısı depolama özelliği sayesinde sağlanabilir [30].

Çatılardan kaynaklanan ısı kayıplarının yaklaşık olarak %20-%25 aralığında olduğu tahmin edilmektedir. Çatılarda ısı transferini düşürmek için taş yn, polistren köpükler, cam yn ve poliüretan vb. malzemeler ısı yalıtım tabakası veya örtüsü olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasında polistren tabakalar günümüzde en çok

tercih edilen ısı yalıtım malzemesidir. Isı yalıtım katmanı, çatı kabuğunun tipine bağlı olarak su yalıtımının üzerinde ya da altında yer alabilmektedir. Çatı sistemleri; ısı ve su yalıtımının konumu bakımından da değerlendirilmektedir. Genellikle geleneksel sistem olarak adlandırılan düz çatı sistemlerinde; su yalıtımı ısı yalıtımının üzerinde konumlanır. Eğim betonunun kullanılması su yalıtımını koruduğundan, çatı yüzeylerinde kullanımına rastlamak mümkündür. Bunun tam tersi olarak uygulanan, ısı yalıtım katmanının su yalıtımının üstünde konumlandığı sistemler ise ters çatı olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.7). Günümüzde sıklıkla tercih edilen bu uygulamalarda ısı yalıtımı katmanı; su yalıtımının üzerinde kullanıldığında, aynı zamanda koruma katmanı görevini de üstlenmektedir [27].



Şekil 2.7 Geleneksel (solda) ve ters çatı (sağda) kesitleri [27]

Drenaj Katmanı

Süzülen yağmur sularını, yağmursuz günler için depolayan, birikme fazla olduğunda ise bitkilerin çürümesini önlemek amacıyla drene ederek sistemden atan katmandır. Yeşil çatılarda yetiştirme ortamından süzülen su, filtre katmanından geçerek bu katmana gelir. Uygun malzeme kullanılması ya da sistem tipine göre eğim sayesinde suyun tamamı ya da bir kısmı biriktirilerek kalanı tahliye edilir. Böylece bu katman aynı zamanda bir su deposu görevi de görebilmektedir. Hem kök gelişimi için mevcut alanı arttırabilir hem de alttaki yapıyı koruyabilmektedir. Drenaj katmanının işlevleri; suyu biriktirme, su tahliyesi, suyun buharlaşma yoluyla üst katmanlara taşınması, havalandırma ve yük taşıma özelliği olarak özetlenebilir. Drenaj, katmanlı üstyapı boyunca ve yüzeyinde mevcut olmalıdır. Fazla suyu çatıdan hızlı bir şekilde tahliye etmek için kullanılabilecek üç farklı düzenleme vardır:

- Bitki örtüsü alanı içinde drenaj
- Bitki örtüsü alanı dışındaki drenaj
- Bitkilendirme yapılan ve yapılmayan alanlar için ayrı drenaj tesisleri

Çatı yüzeyinin büyüklüğüne bakılmaksızın, bitki örtüsü alanı içinde drenaj tesisleri

bulunan çatılarda en az bir akıntı tesisi ve en az bir acil durum taşması bulunmalıdır. Ayrıca çatı bitkilendirmesi ile bağlantılı olarak aşağıdaki hususlar önemlidir:

- Küçük ölçekli yeşil çatı alanlarında, yağmur suyu hacminin basınçlı tahliye sisteminin kendi kendini temizleme gücünü sağlamak için yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir
- Herhangi bir basınçlı deşarj sisteminde, örneğin intensif bitkilendirme, ekstensif bitkilendirme, çakıllı ve çakılsız çatılar gibi farklı deşarj gecikmesine sahip çatı yüzeylerinin bir kombinasyonundan kaçınılmalıdır
- Drenaj hattında büyük bir yüzey suyu haznesi bulunan bitkilendirmeler ayrı bir açık kanal sistemi ile drene edilmelidir, çünkü akış davranışını öngörmek zordur ve basınçlı sistemlerle çatı drenajı üzerindeki etkilere ilişkin net bir açıklama yapılamamaktadır.
- Drenaj sisteminin düzenli bakımını sağlamak gerekmektedir [33].

Uygulama aşamasında ise; drenaj katmanı bütün sistemin altına sürekli olacak şekilde yerleştirilmelidir. Geçmiş yıllarda, drenaj tabakası olarak çakıl veya kırma taş gibi malzemelerin kullanılması yaygın bir uygulamaydı. İşlev açısından bir sorun oluşturmamasına rağmen bu tip uygulamalar, kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları sebebiyle çatıya fazla yük getirmektedirler. Ayrıca yüksek katlı binada yer alan yeşil çatılara nakledilmesi ve depolanması zordur. Hem maliyeti arttıran hem de güvenlik riski taşıyan bu iki sebep yüzünden daha gelişmiş tekniklerin kullanılması günümüzde zorunlu hale gelmiştir [27].

Filtre Katmanı

Filtre katmanı basitçe, üst katmanlardan gelen suları filtreleyerek süzen tabakadır. İnce toprak ve substrat bileşenlerinin, bitki destek yolundan yıkanarak bir bulamaç halinde drenaj yoluna akmasını ve böylece buradaki su geçirgenliğini ters yönde etkilemesini önlemek için tasarlanmıştır. Su filtrelenmezse; yetiştirme ortamının kaybedilmesiyle binanın kanalları tıkanabilecektir. Bu durumun önüne geçmek için, filtre katmanı koruyucu bir bileşen olarak düşünülebilir. Filtre katmanı sağlam ve hafif bir malzemeden yapılır [16].

Filtre katmanı; örgüsüz kumaş, düzlem plak veya serbest (granül) malzemeden yapılabilir. Filtre katmanının işlevini, kalın serbest malzemeli bitki taşıyıcı katman ile ince ve serbest malzemeli drenaj katmanı yerine getirebilir. Verimli bir bitki taşıyıcı katman oluşturmak için drenaj katmanının üzerine, filtre katmanının yerleştirilmesi

gerekir. Bu filtre katmanı; poliamid (PA), polikrolonitril (PAN), polyester, polietilen (PET) ve propilen (PP) bazlı örgüsüz hasırlardan, cam lifleri veya taş yünü gibi malzemelerin liflerinden 0,7-2,5 mm kalınlığında olmaktadır [16].

En son gelişmeleri yansıtan mevcut uygulama, filtre tabakaları olarak dokunmamış kumaşlar şeklinde jeotekstillerin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu kumaşlar ya ayrı bir işlemle drenaj yolunun üzerine serilir ya da hazır drenaj örtüsünün ayrılmaz bir parçasını oluşturur. Dokunmamış kumaşlar, herhangi bir uzunlukta hizalanmış veya rastgele serilmiş liflerden oluşur. Bu lifler mekanik, kimyasal veya termal bir işlem ya da üçünün bir kombinasyonu kullanılarak bağlanabilir [33].

Çatı membranı; katran, asfalt veya diğer organik malzemeler içeriyorsa, membran ile bitki katmanı arasında sürekli bir bariyer olmalıdır. Çatının tamamen düz olmaması durumunda, herhangi bir su toplama sistemi bitki gelişimi için temel görevi görebilir, yine de köke gelen hasarı önlemek gerekmektedir [54].

Koruyucu/Ayırıcı ve Nem Tutucu Katman

Koruyucu katman, çatıdaki neme dayanıklı astar/kök geçiş bariyeri için ek koruma sağlar ve çatının kalıcı bileşenlerindendir. Çatı membranı; bina yapısının hareketine, gün içi sıcaklık değişimlerine, yeşil çatı kurulum işlemi sırasındaki hasara ve gübreye karşı savunma gerektirir. Bu koruyucu tabaka genellikle suya karşı dayanıklı ve bozulmayan malzemelerden yapılmaktadır [16]. Uygun malzemelerle desteklenmesi halinde ayırıcı katman olarak da kullanılabilir [33]. Kimyasal olarak uyuşmayan malzemelerin birbirinden ayrı tutulabilmesi için ayırıcı katmandan faydalanılmaktadır. Ayrıca yalıtım katmanlarını mekanik etkilere karşı koruyan veya su buharının geçişini sağlamak için konulan geçirimli bir katman görevi de üstlenmektedir. Bu sayede yoğuşmayı engellemektedir [34].

Su yalıtımını koruyan malzemeler, suyun birikmesi ve atılmaması gibi tehlikelerin önüne geçmek amacıyla kullanılır. Fakat buhar geçirgenliği yüksek ayırıcılar kullanmak; çatının yeşil kalması için de önemlidir. Çünkü bitki o suya ihtiyaç duyduğunda, suyun alt katmandan yukarıya doğru buharlaşarak bitkiyi beslemesi gerekmektedir [55].

Nem geçirmezlik ve koruma açısından bakıldığında, çeşitli alt alanlara bölünmüş bir çatı yüzeyinin sızdırmazlığı bir bütün olarak gerçekleştirilmelidir. Kök penetrasyonuna karşı koruma önlemleri bitki örtüsünün ekildiği alanlarla sınırlı olmamalıdır. Herhangi bir derz, bordür, çatıdan geçen özelliklerin olduğu yerler ve yapısal derzlerin köklerin penetrasyonuna karşı korunmalıdır [33]. Ağırlıklı olarak koruyucu/ayırıcı katman;

bakır folyo, kalın plastik levha, sert yalıtım örtüleri, beton tabaka veya farklı malzemelerin karışımından elde edilebilir [16]. Alçı-Bazlı Koruyucu Levhalar, Fesco Levha (Ağaç Lifi) ve kumaşlar bazı yaygın koruma malzemelerindendir. Bazı yaygın nem tutma malzemeleri ise; kumaşlar, jel paketler ve partiküller, kabuğumsu ve çukurlu keçeler, filtre kumaşlarıdır [54].

Kök Tutucu Katman

Kök tutucu katman; bitki köklerinin, başta su yalıtım katmanının malzemesi olmak üzere, zarar verebileceği ve işlevini kaybetmesine sebep olabileceği katman ve malzemelere ulaşmasını engelleyen tabakadır [30]. Su yalıtım membranının köklerin delinmesini veya delinmesi nedeniyle hasar görmesini önlemeyi amaçlar. Bu, özellikle su yalıtım membranlarının bozulmaya ve sonraki sızıntılara karşı en hassas olduğu membran ek yerleri ile çevre ve duvar bağlantılarında, bitki kökleri ve bitki rizomlarının (yeraltı filizleri) kök istilasına karşı kalıcı direncini içerir [38]. Kök tutucu katmanın da su yalıtım katmanları gibi, bitki köklerine karşı dayanıklı olduklarını gösteren sertifikaları olmalıdır. FLL sertifikası olmayan su yalıtım örtülerinin kullanılması, hiçbir sistem tipinde tavsiye edilmemektedir. Bu tür örtüler, özellikle yoğun yeşil çatılarda kullanılmamalıdır [27].

Kök tutucu katmanı oluşturmak için iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan ilki; kök penetrasyonunun önlenmesi için çatıda nem geçirmez kaplamanın üzerine ek bir koruyucu katman döşenmesidir. İkinci yöntem ise, bazı gerekliliklerin karşılanması koşuluyla uygun bir malzeme kombinasyonu kullanılarak bu işlev diğer katmanlara kazandırmaktır [33]. Bu yöntem, şap veya çatı taşıyıcı plakalar gibi beton yüzeylere kök tutma özelliği kazandırmak için farklı kimyasalların kullanılmasını içerir. Ayrıca, bitüm esaslı örtüler kök direnci özelliklerine sahip olduklarından ve ayrı malzemelerden daha ucuz oldukları için bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde su yalıtım katmanı olarak kullanılmaları önerilir [30]. Ayrıca, su yalıtım katmanı olarak kullanılan bitüm esaslı örtülerin, köklere karşı direnç sağlayarak ayrı bir malzemeye ihtiyaç duymadan uygun maliyetli çözümler üretmek için tercih edildiği günümüzdeki yeşil çatı örneklerinin birçoğunda görülmektedir.

Bitki tiplerine bağlı olarak kök dayanımı konusunda daha fazla önlem almak gerekebilir. Özellikle bambu ve çin sazı gibi güçlü kök yapısına sahip bitkiler kullanılırken, kök dayanımlı su yalıtım malzemeleri yetersiz kalabilir. Bu durumda, su yalıtım tabakasının üzerine beton yüzeyler yerleştirilerek bu yüzeyleri kök dayanımına karşı güçlendirmek önerilmektedir [4].

Çatıda, sadece bitkinin bulunduğu kısımlarda kök dayanımı sağlanması yeterli

olmaz. Çünkü, bitki taşıyıcı katman içerisinde bitki kökleri farklı doğrultulara yönlenebilmektedir. Bu sebeple yeşil çatı sistemi bütün olarak kök dayanımı mukavemeti gerektirmektedir [33].

2.3 Yeşil Çatı Örnekleri ve Etkileri

Yeşil Çatı Örneklerinde Katman Kullanımı

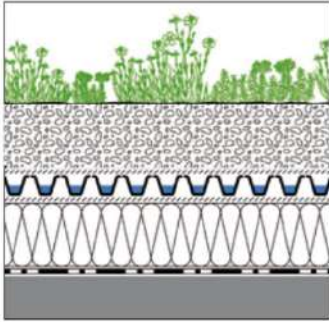
Çalışmanın bu bölümünde; araştırmanın temel amacı olan model önerisini oluşturmaya yönelik olarak, yeşil çatı örnekleri; malzeme, bileşenler ve tasarım yaklaşımlarını kapsayacak şekilde sistemsal açıdan incelenmiş ve yapım yöntemleri araştırılmıştır. Çeşitli ülkelerden farklı yeşil çatı örneklerine yer verilen bu kısımda; hem tasarım hem de uygulama bakımından öncü ve özgün olarak tanımlanabilecek ve bu şekilde kabul görebilecek nitelikteki yeşil çatı örnekleri, incelenmek üzere seçilmiştir. Yeşil çatı örnekleri;

- Yapım yılı
- Konum
- İklim
- Yapı tipi
- Eğim
- Yeşil çatı tipi
- Yalıtım sırası
- Havalandırma durumu
- Kullanılan bitkilerin çeşitliliği
- Kazanılan ödül ve sertifika sistemi
- Katmanlar başlıkları altında incelenmiştir.

Birleşmiş Dünya Koleji:

Birleşik Dünya Koleji, Küçük Kafkasya dağlarında Dilijan'da yer almaktadır ve Ekim 2014'ten beri faaliyet göstermektedir. Mimarlar için en büyük mücadele, binayı mümkün olduğunca çevresine entegre etmektir. Bereketli bir vadideki eski meyve bahçesi en kısa zamanda yeniden kurulacaktı. Bu nedenle proje,

Tablo 2.1 Yeşil çatı örnek fiş 1-Birleşmiş Dünya Koleji

ÖRNEK 1	BİRLEŞMİŞ DÜNYA KOLEJİ
YAPIM YILI	2014
KONUM	Ermenistan
İKLİM	Karasal iklim
YAPI TİPİ	Eğitim
EĞİM	% 10'a kadar
YEŞİL ÇATI TİPİ	Ekstensif
YALITIM SIRASI	Yalıtım sırasına göre çatı tipi; ters çatıdır.
HAVALANDIRMA	Havalandırma boşluğu bulunmadığından sıcak çatıdır.
BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ	Yerel bir çim tohumu olan Ermeni çayırı kullanılmıştır.
ÖDÜL-SERTİFİKASYON	Yeşil çatılar ve duvarlar için Uluslararası Yeşil Çatı Liderlik Ödülü'nü almıştır.
YEŞİL ÇATI RESİMLERİ	
	
YEŞİL ÇATI KATMANLARI	
	
Ekstensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı Filtre katmanı Drenaj Koruyucu ayırıcı katman Isı yalıtımı Kök tutucu + su yalıtımı	

yüksek derecede yerel olarak temin edilebilen hammaddelerden oluşan yeşil çatı ve cepheler içermektedir. Ermenistan toprakları volkanik kökenli materyal içerdiğinden, substrat yerel malzemedен karıştırılarak elde edilmiştir. Çim şeritleri yakındaki düz meralardan elle soyulmuş ve rüzgardan korunmak için her çatının

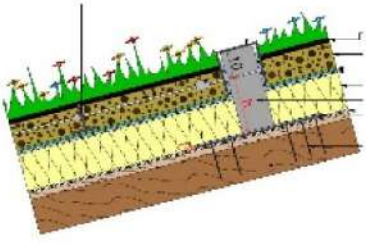
kenarlarına serilmiştir. Drenaj elemanları tüm çatı yüzeylerine alın derzli olarak döşenmiştir. Yüzde 10'a kadar değişken eğime sahip olan çatı yüzeylerindeki bitkilerin mümkün olduğunca doğal bir şekilde büyümesi istendiğinden ve biyoçeşitliliği arttırmak için bitkiler yılda sadece iki kez biçilmektedir. Ermenistan'da yerel çim tohumunun çıkarılması ve çim rulolarının üretimi bilinmemektedir. Ancak Sevan Gölü çevresindeki çayırardan çim şeritlerini kürekle elle soymak suretiyle çim otları elde etmek mümkündür. Bu "Ermeni Çayırı" yaklaşık 2 hektarlık bir alanda ve çatının büyük bölümünde kullanılmıştır [56]. Yeşil çatı katmanları, koruyucu levha ile başlayarak, kök dirençli, bitümlü su geçirmez çatı membranı üzerine yerleştirilmiş, ardından 40 mm derinliğindeki drenaj ve su depolama elemanları konumlandırılmıştır. Drenaj katmanı; su depolama hücrelerine, havalandırma ve difüzyon için açıklıklara ve baştan aşağı bir kanal sistemine sahiptir. Filtre levhası daha sonra drenaj tabakasına ve ardından "Ermeni Çayırı" ile bitki örtüsüne uygun 15 ila 20 cm'lik bir alt tabaka üzerine kurulur. Yerel üst toprak, çatı alt tabakasını oluşturmak için zeolit ve lav ile karıştırılmıştır. Volkanik kökenli bir ülke olan Ermenistan, lav ve pomza bakımından zengindir. Bu iki malzeme de, zeolit kadar alt katmanlar için uygun olan mineral bileşenlerdir. Yaklaşık 1 m genişliğinde yerel kaynaklı çim şeritleri çatı kenarı boyunca yerleştirilmiş, çatının diğer kısımlarında, küçük çiftçilerin yerel saman ahırlarından süpürüp topladıkları tohumlar filizlendirilmiştir [57]. Genel hedef, bitki örtüsünü doğal olarak geliştirerek yerel iklime uyum sağlamaktır. Bu nedenle; çatı alanları sadece kuru bir ağustos ayında hafifçe sulanır, aksi takdirde yerel yağış bitkilerin hayatta kalması için yeterli olmaktadır.

2015 yılında okul binalarının tamamlanmasının ardından; yeşil çatı ve duvarlar sayesinde Uluslararası Yeşil Çatı Liderlik Ödülü'nü almaya hak kazanmıştır. Bu proje ayrıca; İstanbul'da Uluslararası Yeşil Çatı Liderlik Ödülü (kategori: Trend Belirleyen Mimari), Uluslararası Mülkiyet Ödülü (Kamu Hizmetleri kategorisi, Birleşik Krallık sektörü) ve FIABCI World Prix d'Excellence in İstanbul gümüş (kategori Kamu Binaları). Ayrıca proje, Moskova'daki Mimarlık Bienalinde sunularak birçok uluslararası ödüle layık görülmüştür [56].

Garanti Bankası Teknoloji Kampüsü:

Proje, İstanbul, Pendik'de, D-100 ile TEM otoyollarının arasında, Sabiha Gökçen Havalimanı'nın yakınında yer almakta olup, eski bir endüstriyel kimya fabrikası arazisini teknoloji şirketi kampüsüne dönüştürmektedir. 2018 yılında tamamlanan yapı, sürdürülebilirlik ilkelerini, gün ışığına entegre aydınlatma, ısıtma ve soğutma sistemleri ile dinamik güneş kırıcı tek ve çift cidarlı cephe sistemlerinden, iç mekanlara yüzde yüz temiz hava sağlayan özel ısıtma ve soğutma sistemlerine kadar daha birçok farklı teknik altyapıyı barındırmaktadır ve LEED Gold sertifikası almaya

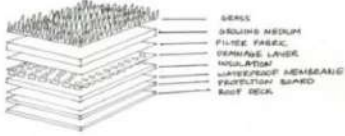
Tablo 2.2 Yeşil çatı örnek fiş 2-Garanti Bankası Teknoloji Kampüsü

ÖRNEK 2	GARANTİ BANKASI TEKNOLOJİ KAMPÜSÜ
YAPIM YILI	2018
KONUM	Türkiye
İKLİM	Akdeniz iklimi
YAPI TİPİ	Ofis
EĞİM	% 73'e kadar
YEŞİL ÇATI TİPİ	Ekstensif
YALITIM SIRASI	Yalıtım sırasına göre çatı tipi; düz çatıdır.
HAVALANDIRMA	Havalandırma boşluğu bulunmadığından sıcak çatıdır.
BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ	Çim ve yer örtücüler
ÖDÜL-SERTİFİKASYON	Yapı LEED Gold Sertifikası almıştır.
YEŞİL ÇATI RESİMLERİ	
	
YEŞİL ÇATI KATMANLARI	
	
Ekstensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı S kablo sistemi (kayma önleyici sistem) Koruyucu ayırıcı katman Su yalıtımı Isı yalıtımı Buhar tutucu katman	

hak kazanmıştır [58]. LEED sertifikası almaya yönelik sürdürülebilir uygulamalar kapsamında eğimli ve yuvarlak çatı üzerine ekstensif yeşil çatı uygulaması yapılmıştır. Garanti Teknoloji Kampüsü; Türkiye’de yuvarlak, amorf ve yüksek eğimli bir yüzeye kurulan ilk yeşil çatı örneğidir. BTM Optigreen Firması, "Tip S Kablo Sistemi" çözümü sunarak Türkiye’deki yeşil çatı pazarında bir ilki gerçekleştirmiştir. Bu proje; metraji büyük, değişken ve yüksek eğimde uygulanan özel bahçe çatı alanlarına sahip olması sebebiyle de uluslararası alanda dikkat çeken projelerinden biri olmuştur. Bitkilendirilmiş yeşil alanlar olarak tasarlanan tepelerin altındaki mekanların yaşam ve konfor faktörü göz önüne alınarak, kabuk döşemelerin su ve ısı yalıtımının en üst düzeyde sağlanması hedeflenmiştir. Değişken ve yüksek eğimdeki kabuk döşemelerin üzerindeki toprağı tutmak ve kaymayı engelleyecek şekilde toprak tutucu sistemleri yerleştirmek için her türlü statik yük hesabının yapılarak risklerin azaltılması amaçlanmıştır [59]. Bu doğrultuda, söz konusu proje için eğimlere en uygun ve uygulanabilirliği mümkün olan çözüm olarak; tüm yükü taşıyacak, birbirine paralel konumlandırılmış çelik kablo ve aralarına geçme olarak yerleştirilen hafif, sağlam plastik ayaklardan oluşan Tip S Kablo toprak tutucu sistem belirlenmiştir. Bu sistem; değişken eğimli yeşil çatı uygulama alanlarında toprak tutucu olarak kullanılan tüm yükü taşıyacak birbirine paralel yerleştirilmiş çelik kablo ve aralarına geçme sistem ile yerleştirilen hafif ve sağlam plastik ayaklardan oluşmaktadır. Bu bileşen hem drenaj hem de toprak tutucu işlevi görmektedir [60]. İlk olarak; uygulamanın yapılacağı eğimli alanlara ait topografik haritalar çıkarılmıştır. Daha sonra, toprak yükünü taşıyacak çelik halatlar ve toprak tutucu ayak askı noktaları eklenmiştir. Yalıtıma zarar vermemesi amacıyla, çelik kabloları taşıyan ankraj noktaları, ofis katlarının bulunduğu perde duvarlara monte edilerek, maksimum 10-12 cm kalınlığındaki hafifletilmiş bahçe çatı toprağı kullanılmıştır. Su ve ısı yalıtımı sağlanmış eğimli betonarme yüzeylerin üzeri ilk olarak, suyun akış yönünde kanallı bir yapıya sahip hem koruyucu hem de nem tutucu olan geotekstil malzeme ile kaplanmıştır. Sistemin esas ana bileşenleri olan çelik halatların ankraj noktalarına bağlantıları ve toprak tutucuların tümünün yerleşimi, eğimli alanlarda kaydırmazlık için üretilmiş olan bu geotekstil üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ardından toprak tutucu sistem üzerine, hafifletilmiş toprak karışımı yerleştirilerek yüzey bitkilendirilmeye uygun hale getirilmiştir. Eğimli yüzeylerde, bitkilerin toprağı tutunma ve büyüme evrelerinin uzun olmasına ek olarak, uygulamanın hızlı ve pratik olması sebebiyle bitki seçiminde sedum halılar tercih edilmiştir [59]. Eğimleri yaklaşık %73 olan 6 tepenin toplam yüzölçümü yaklaşık 8.000 m²’dir ve 10 cm yetiştirme ortamı derinliğine sahip sedum halılar kullanılmıştır. Çatı eğiminin yüksek olması nedeniyle yetiştirme ortamının ve bitki örtüsünün kaymasını önlemek için farklı tipte ankrajlar kullanılmıştır [42].

Nanyang Teknoloji Üniversitesi:

Tablo 2.3 Yeşil çatı örnek fiş 3-Nanyang Teknoloji Üniversitesi

ÖRNEK 3	NANYANG TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
YAPIM YILI	2006
KONUM	Singapur
İKLİM	Tropikal iklimi
YAPI TİPİ	Eğitim
EĞİM	% 60'a kadar
YEŞİL ÇATI TİPİ	İntensif
YALITIM SIRASI	Yalıtım sırasına göre çatı tipi; ters çatıdır.
HAVALANDIRMA	Havalandırma boşluğu bulunmadığından sıcak çatıdır.
BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ	Çatı çimlendirmesi, Zoysia matrella ve Ophiopogon olmak üzere iki çimin birleşiminden oluşur.
ÖDÜL-SERTİFİKASYON	Singapur Bina ve İnşaat Otoritesi'nden, çevresel sürdürülebilirlik konusundaki uygulamaları barındırdığından Green Mark Platinum Ödülü'nü almıştır.
YEŞİL ÇATI RESİMLERİ	
 	
YEŞİL ÇATI KATMANLARI	
	İntensif bitkilendirme
	Yetiştirme ortamı
	Filtre katmanı
	Drenaj
	Isı yalıtımı
	Su yalıtımı
	Koruyucu katman

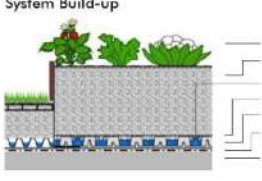
İki ile beş kat arasında değişen bina tasarımının temel özelliği, neredeyse 45 derecelik açığa sahip eğimli yeşil çatılardır. Üçüncü, daha küçük bir yay ile kenetlenen iki eğimli, sivrilen yaydan oluşan Sanat, Tasarım ve Medya Okulu'nun çatısı, yoğun nervürlü, betonarme olarak dökülmüştür. Binanın iki ana kolu arasındaki boşluktan oluşan avlu, iç mekandaki yüksek performanslı, çift camlı cam giydirmce cephelelerden yansıyarak görsel dinginlik yaratmaktadır. Yeşil çatılar, doğal bir dış mekan ortak alanı olarak estetik bir özellik olmanın ötesinde, ortam sıcaklığını düşük tutar ve gündüzleri ısıyı azaltır. Ayrıca orta avludaki yansıtıcı gölet, dersliklerden, laboratuvarlardan ve ona bakan ofislerden dışarı bakanlar için serin bir görsel soluklanma sağlamaktadır [61].

Yeşil çatının çimlendirmesi, Zoysia matrella ve Ophiopogon olmak üzere iki çimin birleşiminden oluşmaktadır. Eğimli çatılara, kenarlar boyunca merdivenlerle erişilebilir, ancak yeşil çatının altı bölümünden sadece biri, daha düşük eğimler nedeniyle oturma için en iyisi olarak düşünülebilmektedir. Çim çatının altında, ezilmiş volkanik kayalar, pomza ve yıkanmış kum (çimlerin köklenmesi için) ve ayrıca bir nem tutma matı içeren birbiriyle ilişkili dört katman bulunur. Çim, hasat edilen yağmur suyunu kullanan otomatik bir yağmurlama sistemi aracılığıyla yıl boyunca yeşil ve sağlıklı kalır. Yağmur suyu toplama sistemi, sulama için yeşil çatıya monte edilmiştir. Yağmur sensörleri de, yağmur yağdığında sulamanın durdurularak sulama sürecini otomatikleştirmek amacıyla yeşil çatıya monte edilmiştir. Nanyang Teknoloji Üniversitesi, 2011 yılında çevresel sürdürülebilirlik konusunda en iyi uygulamaları benimsediği için Singapur Bina ve İnşaat Otoritesi'nden (BCA) Green Mark Platinum Ödülü'nü almıştır. Yapının güçlü yönleri, yılda yaklaşık 120.000 kWh enerji tasarrufu sağlaması ve yılda 1.170 metreküpten fazla su tasarrufu sağlamasıdır ki bu da daha düşük işletme ve bakım maliyetleri gerektirmektedir. Tasarruf, binanın hareket ve fotosel sensörlü yüksek verimli ışıkları, yenilenen klima sistemi ve ayrıca yağmur sensörlü yağmur suyu toplama ve sulama sistemini içeren enerji ve su verimliliği özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yeşil çatı ve yüksek performanslı camın yanı sıra hava işleme ünitelerinde (hava taşıma birimleri) karbondioksit sensörlerinin kullanılması, kullanılan enerjinin azaltılmasına ve sağlıklı bir iç hava kalitesinin korunmasına yardımcı olur [62].

Le Cordon Bleu:

Le Cordon Bleu, 2016 yılında Paris, Fransa'da inşa edilmiş 1011 m² çatı bahçe alanına sahip uluslararası bir aşçılık okuludur. Temel unsur, çatının ekin bitkilerini yetiştirmek, hasat etmek için ve insanlar için bir eğitim ve eğlence alanı olarak kullanılmasıdır. Sebze, meyve, şifalı ot/aktariye gibi ihtiyaç duyulan mahsul bitkilerini yetiştirmek için düz çatı üzerine tasarlanmıştır. Bu bitkilerin başarılı bir şekilde yetiştirilmesi, düzenli sulamaya bağlıdır. Sulamanın yanı sıra, güneşlenme süresi de bitki büyümesini

Tablo 2.4 Yeşil çatı örnek fiş 4-Le Cordon Bleu Paris

ÖRNEK 4	LE CORDON BLEU PARİS
YAPIM YILI	2016
KONUM	Fransa
İKLİM	Okyanus iklimi
YAPI TİPİ	Eğitim
EĞİM	% 0
YEŞİL ÇATI TİPİ	İntensif
YALITIM SIRASI	Isı yalıtımı kullanılmamıştır.
HAVALANDIRMA	Havalandırma boşluğu bulunmadığından sıcak çatıdır.
BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ	Aşçılık okulunda kullanılmak üzere 1534 adet ot ve baharat bitkisi ile 1026 adet meyve ağaçları ve sebze mahsul bitkileri dikilmiştir.
ÖDÜL-SERTİFİKASYON	—
YEŞİL ÇATI RESİMLERİ	
	
YEŞİL ÇATI KATMANLARI	
System Build-up  Fruits and vegetables System Substrate "Lawn", ca. 30 cm Drimperline 100-L1 Wicking Mat DV 40 Aquatex® AT 45 Protection Mat ISM 50 Roof construction with root resistant waterproofing İntensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı Drenaj (su depolama hazneli) Koruyucu katman Kök dayanımlı su yalıtımı	

etkileyen önemli bir faktördür. Bina yüksekliği nedeniyle bitkiler, hem güneş ışığına hem de çevredeki binaların camlarından gelen ışığın yansımalarına maruz kalırlar. Bu nedenle, kurulumdan önce en güneşli noktalar analiz edilmiştir. Ayrıca çatıda 52 adet ekim yatağı bulunurken, bu yataklarda yetiştirme ortamı derinliği yaklaşık 23 cm dir. Ekim yataklarının etrafındaki derinlik yaklaşık 8 cm olup, yol şeklinde tasarlanmıştır. Çatıda yılda bir kez 50 kg bal üreten 4 arı kovani ve tozlaşmaya yardımcı olan bir böcek oteli bulunmaktadır [42]. Ekim alanı olarak kullanım için ideal olan bu sistemin, kentsel bir ortamda çiftçilik yapmaya iyi bir örnek olduğu düşünülmektedir. ZinCo Firması, gerekli mahsul bitkilerinin bir çatı lokasyonunda kalıcı olarak kurulması için özel “Kentsel Çatı Çiftçiliği” sistemi kurulumuyla koşullara uygun bir sistem sağlamıştır. İlk olarak kök dayanımı olan membranın, 0° eğimli beton çatı üzerinde uygulanması ile yeşil çatı uygulamasına başlanmıştır. Sistemdeki membran üzerine eklenen ilk katman, tüm alana 2 metrelik levhalar halinde yerleştirilmiş mekanik dayanımı yüksek koruma matıdır. Çatı alanı üzerinde paralel sıralar halinde 52 adet ekim yatağı oluşturulmuştur. Korozyona dayanıklı metalden yapılmış ve daha sonra ahşap döşeme tahtaları ile kaplanmış dikdörtgen kenarlar yaklaşık 25 ila 35 cm yüksekliğinde, yaklaşık 5 metre uzunluğunda ve 1 metre genişliğinde olduğundan, üzerinde çalışırken erişilmesi kolaydır. Farklı amaçlarla kullanılan alanlar, yeşil çatı yığılmasının geri kalanında da farklı drenaj ve su tutma elemanları gerektirir. Mahsul bitkilerinin başarılı bir şekilde yetiştirilmesi, doğal yağışlardan ve meydana gelen kuraklık dönemlerinden bağımsız olarak sürekli ve ihtiyaca dayalı bir su kaynağına bağlıdır. Bu sistemde kullanılan drenaj ve su tutma elemanı, verimli ve uygun maliyetli sulama için bir temel sağlar. Temel prensip, tek başına yaklaşık 17 l/m² su sağlayan su tutma elemanlarının hücrelerinde suyun dağıtılması ve depolanmasına dayanmaktadır. Yağış olmaması durumunda damlatıcı hatları su depolama elemanlarını besler. Bu damlama sistemi hatları elemanlara klipslenir ve otomatik regülasyon sistemine bağlanır. Burada belirleyici unsur, su tutma elemanlarının üzerine yerleştirilen ve suyu yukarı doğru çeken ve suyun doğrudan kök bölgesinde alt tabakaya ulaşmasını sağlayan kılcal etkili liflere sahip polyester keçedir. Bu sayede; suyun yüzeyde gereksiz yere buharlaştığı çim fiskiyelerinin kullanıldığı geleneksel yukarıdan sulamaya kıyasla su kaynağının %50’si yeterlidir. Ve diğer geleneksel damlatıcı hatlı sulama sistemlerinden farklı olarak, su drenaj ve su tutma elemanlarının tüm alanına dağıldığı için önemli ölçüde çok daha az damlatıcı hatta ihtiyaç duyulmaktadır [63].

Dikim yataklarına toplam 1534 adet ot ve baharat bitkisi ile 1026 adet meyve ve sebze bitkisi dikilmiştir. Elmalar ve armutlar, kafesli meyve olarak daha büyük oluklarda büyür. Limon otu ve Eryngium gibi egzotik bitkiler ve yenilebilir çiçekler, geleneksel bitki türlerinin yanında yetişir. Bal bitkileri; çatıdaki dört adet arı kovani

ve bir adet böcek oteli sayesinde tozlayıcıları çatıya çekmektedir. Güvercin gibi istenmeyen misafirleri en sevdikleri yiyeceklerden, turp, lahana, havuç, roka gibi turpgillerden uzak tutmak için koruyucu ağlar kullanılmaktadır. Bahçe ve mutfaktan gelen gübrelenebilir atıklar ise, yağmur suyuna benzer şekilde sahada toplanır. Sarnıcına bahçe hortumu bağlanarak hasat edilen ürünün direk çatıda yıkanabilmesi sağlanmaktadır. Bunlara ek olarak, binanın yapısal gereksinimleri toplam maksimum 250 kg/m²'lik, doymuş durumda ek bir yeşil çatı ağırlığına izin vermektedir [63].

Kaliforniya Bilim Akademisi:

1853 yılında kurulan Kaliforniya Bilim Akademisinin yapı strüktürü; 1989 yılında gerçekleşen Loma Prieta depreminden dolayı zarar gördüğünden, yeniden tasarlanarak inşa edilmiştir. Yeni bina, orijinali ile aynı konumu ve yönelimi korudu, tüm işlevler, giriş lobisi ve koleksiyonlar için önemli bir merkez görevi gören merkezi bir avlu etrafında düzenlenmiştir. Bu bağlantı noktası, ortada açık, örümcek ağını andıran ağısı bir yapıya sahip içbükey cam bir gölgelik ile örtülmüştür. Sergi alanı, eğitim, koruma ve araştırmayı tek çatı altında birleştiren Akademi, aynı zamanda doğa tarihi müzesi, akvaryum ve planetaryumu da bünyesinde barındırmaktadır. Tasarımcı, bu binanın insanlar için saydam ve çevreyle uyumlu olmasını istemiş, bu yüzden tasarımına yeşil çatılar, doğal aydınlatma ve gökyüzü ışığını içeri alan bir düzenlemeyi dahil etmiştir. Dalgalı bir forma sahip yeşil çatı altında yerli bitkiler, planetaryum ve kamu sergi alanları farklı formlarda bir araya gelmektedir. Tasarım sürecinde su ve enerji verimliliği, doğal ışık, doğal havalandırma, iç mekan kalitesi ve sürdürülebilir arazi yönetimine vurgu yapılmıştır [64]. Yeşil çatının etrafındaki şeffaf gölgeliği oluşturan iki cam panel arasında bulunan fotovoltaiik hücreler; müzenin ihtiyacı olan elektriğin %5'inden fazlasını sağlamaktadır. Malzeme seçimi, geri dönüşüm, doğal aydınlatma, doğal havalandırma, su kullanımı, yağmur suyu geri kazanımı ve enerji üretimine göre mekanların konumlandırılması: tüm bu tasarım konuları projenin ayrılmaz bir parçası haline gelerek, yapının LEED platin sertifikası elde etmesine yardımcı olmuştur [65].

Yeşil çatının formu çelik ve beton ile inşaa edilmiştir. Çatının en düşük ve en yüksek noktaları arasında yaklaşık 12,2 m'lik yükseklik farkı bulunmaktadır. Üst tabakada yer alan bitkilendirme tabakası, gabion tel kafes ızgara ile yapılan bir toprak tutma sistemi ile tasarlanmıştır. Kafesler yüzey suyunun akışını kontrol altında tutmak için kullanılmaktadır. Ayrıca suyu çevre drenaj sistemlerine doğru yönlendirmektedir. Yetiştirme ortamı ise, suya doyduğunda 151,3 ila 175,8 kg/m²'lik bir ağırlığa ulaşmaktadır. Mevcut yetiştirme ortamında % 55 mineral bileşeni ile yerel bir volkanik malzeme kullanılmıştır. Organik malzeme olarak ise hindistan cevizi lifi denenmiştir. Çatıdaki su yalıtımı; ek koruma sağlayan kök tutucu tabaka ile birlikte,

Tablo 2.5 Yeşil çatı örnek fiş 5-Kaliforniya Bilim Akademisi

ÖRNEK 5	KALİFORNİYA BİLİM AKADEMİSİ
YAPIM YILI	2008
KONUM	Amerika
İKLİM	Karasal iklimi
YAPI TİPİ	Eğitim
EĞİM	% 65'e kadar
YEŞİL ÇATI TİPİ	Ekstensif
YALITIM SIRASI	Isı yalıtımı kullanılmamıştır.
HAVALANDIRMA	Havalandırma boşluğu bulunmadığından sıcak çatıdır.
BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ	Yapılan dikim testleri sonucunda, bitki listesi en başarılı 7 bitki türüne kadar daralmış ve sonuç olarak 4 bitki türü seçilmiştir.
ÖDÜL-SERTİFİKASYON	Malzeme seçimi, geri dönüşüm, doğal aydınlatma, doğal havalandırma, su kullanımı, yağmur suyu geri kazanımı ve enerji üretimine göre mekanların konumlandırılması sayesinde LEED Platin almaya hak kazanmıştır.
YEŞİL ÇATI RESİMLERİ	
	
YEŞİL ÇATI KATMANLARI	
	Ekstensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı Filtre katmanı Drenaj Koruyucu katman Su yalıtımı

monolitik sıcak kauçuk asfalt uygulamasından oluşmaktadır. Kullanılan rezervuar tipi drenaj sistemi, bünyesinde su tutmakta ve yağmur suyu, bu sistemle binaya bitişik yeraltı şarj odalarına yönlendirilmektedir. Yeşil çatının alt yüzeyinde sulama sistemi kuruludur çünkü bu sistem özellikle dik yamaçlarda su akışı ve buharlaşma nedeniyle, bitkiler için sulamada en etkili yöntemdir. Çiçek ve otların birçok türü; sulama, gübreleme ve bakım gerektirmeden performans göstermesi ve çekici bir görünüm sağlaması için bir yıl boyunca araştırılmıştır. Bitkiler San Fransisko'nun ikliminde ayakta kalabilmek için kuru havalarda genellikle uzun bir süre uyku hali dönemine girmektedirler. Yeşil çatı içerisindeki her bitki türünün konumu ayrı bir sorun teşkil etmektedir çünkü yüksekte büyüyen bu bitkiler, güneş radyasyonunun farklı miktarda etki etmesi nedeniyle yamacın orta ve alt noktalarından daha az neme sahip olacaktır. 2003 yılı mayıs ayında yapılan dikim testi sonucunda, bitki listesi en başarılı 7 bitki türüne kadar daralmış ve sonuç olarak 4 bitki türü seçilmiştir. Listede yer alan bu bitkiler, rüzgar ve güneşe adapte olabilen türlerden seçilmiştir [16].

Küçükçekmece Belediye Binası:

Küçükçekmece Belediyesi Yeni Hizmet Binası, belediyenin artan mekan ihtiyacı ile birlikte yeni yeni bir anlayışla geliştirilerek bulunduğu bölgeyi dönüştürecek potansiyele sahip olması öngörülmüştür. Bu projede BREEAM-BESPOKE kriterleri kullanılmış, BRE-GLOBAL ise projenin iklimine ve bina tipine uygun kriterler oluşturmuştur. Türkiye'nin BREEAM sertifikası alan ilk kamu binası olacak bu projenin, çevre bilinci de dahil olmak üzere çeşitli iyileştirmeler getirmesi beklenmektedir.

Binanın yüksek oranda pasif iklimlendirme ve doğal aydınlatma sağlayan çift cidar ve galerilerinin yanı sıra minimum su kullanımı, geri dönüştürülebilir malzeme seçimleri, yeşil çatısı ve uygun çevre bitkileri, "yeşil bina" adını kazandıran başlıca özelliklerdir. Üç daire formunun yan yana yerleştirilmesiyle oluşturulan plan şeması, merkezden dışa doğru her yöne eşit mesafede bulunduğundan, ışık ve görüş olanağını en üst düzeye çıkarırken, iç mekanlarda daha homojen bir aydınlatma ve dış mekanın her yönden eşit algılanmasını sağlamaktadır [66].

Hizmet binasının üstünde yer alan teras alanı, 3600 m² yeşil çatı olarak düzenlenmiştir. Ayrıca otoparkın üstündeki alanlarda da 1600 m²'lik uygulamalar yapılmıştır. Binanın çatısı; bakım gerektirmeyen örtücü bitkiler ile kaplanarak yeşil çatı olarak düzenlenmiştir. Bina; yeşil çatının komşu binalara estetik katkısının yanı sıra binaya gürültü ve ısı yalıtımı sağlama, yağmur suyunu toplama ve atmosfere ısı yansımalarını azaltma özelliklerinden de faydalanmaktadır. Kapsamlı bir yaklaşım kullanılarak, yüzey suyu kontrolü, enerji kullanımı, CO₂ emisyonları, su tüketimi,

Tablo 2.6 Yeşil çatı örnek fiş 6-Küçükçekmece Belediye Binası

ÖRNEK 6	KÜÇÜKÇEKMECE BELEDİYE BİNASI
YAPIM YILI	2014
KONUM	Türkiye
İKLİM	Akdeniz iklimi
YAPI TİPİ	Kamu
EĞİM	2%
YEŞİL ÇATI TİPİ	Ekstensif
YALITIM SIRASI	Yalıtım sırasına göre çatı tipi; ters çatıdır.
HAVALANDIRMA	Havalandırma boşluğu bulunmadığından sıcak çatıdır.
BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ	Yer örtücü bitkiler kullanılmıştır.
ÖDÜL-SERTİFİKASYON	BREEAM sertifikası almaya hak kazanmıştır.
YEŞİL ÇATI RESİMLERİ	
 	
YEŞİL ÇATI KATMANLARI	
	
Ekstensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı Filtre katmanı Drenaj Isı yalıtımı Nem tutucu katman Kök tutma özellikli su yalıtımı	

malzeme seçimi, atık yönetimi, kirlilik kontrolü, sağlık ve ekoloji dikkate alınarak bir ön derecelendirme yapılmıştır. Peyzaj ve bahçe düzenlemelerinde de geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımına özen gösterilmiştir.

"Yeşil bina" fikrinin önemli bileşeni yapının mekanik donanımıdır. Üçlü enerji kaynağı olan binanın "Trijenerasyon" sistemi, elektrik üretmek için doğalgazı ve sıcak su sağlamak için soğuk su kullanmaktadır. Soğutma sistemi üçüncü aşamada sıcak su ile beslenmektedir. Bu sistemin enerji hazancı 1/6 oranındadır. Trijenerasyon sisteminin atık ısısı, bina ısıtma gereksiniminin 1/4'ünü sağlamaktadır. Yine soğutma için gereken enerjinin de 1/4'ü bu sistemle karşılanmaktadır. Bunlara ek olarak, sıcak su gereksiniminin büyük bir kısmını 'güneş panelleri' sağlayacaktır. Lavabo ve duşlardan gelen atık suyun işlenmesiyle elde edilen 'gri su', tuvalet rezervuarlarında geri dönüşüm suyu olarak ihtiyacın %54'ünü karşılarken, yağmur suyunun depolanması ile tüm iç bahçe ve peyzaj bölgelerinin sulanmasında kullanılmaktadır [67].

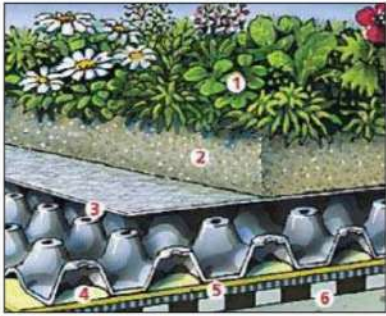
Ümraniye Meydan AVM

2007 yılında kullanıma açılan alışveriş merkezi projesi; İstanbul'da "şehir meydanı" konsepti ile yola çıkan ilk alışveriş merkezi olma özelliğini taşımaktadır. Bir açık hava etkinlik merkezi olan Meydan'ın hedefi, "çevresiyle birlikte gelişen bir kent meydanı" yaratmaktır. M1 Meydan Alışveriş Merkezi, dünya çapında giderek yaygınlaşan "yeni nesil yaşam merkezlerinin" İstanbul'da vücut bulmuş hali olarak hizmet vermektedir. Tasarımın ortasında yer alan açık bir meydan, tüm yüzeyleri birbirine bağlayan bir rampa ve merdiven ağı işlevi görmektedir. Ayrıca Meydan; bir aktivite merkezi ve yakındaki mağazalar için sirkülasyonu ve estetiği geliştiren çok amaçlı bir alan olarak işlev görmektedir. Güneybatı yönünden gelen yaya aksını meydana bağlayan yürüme yolu ve her iki tarafa yayılan yeşil çatıdan oluşan yeni bir topografya oluşturularak meydana bağlanmıştır. Belirli noktalarda yeşil çatı, ziyaretçilerin yeşil alana çıkmasını sağlayan rampa ve merdivenlerle yaya yollarına bağlanmaktadır. Yeşil alandan meydana bakan bir seyir terası bulunmaktadır [68].

Doğal bir bitki örtüsü elde etmek amacıyla projede zaman zaman çok dik eğimli çatı yüzeylerine rastlamak mümkündür Çatı konumu çeşitliliği ve farklı kullanımları dolayısıyla; 25° ye kadar eğimli ve 35° ve daha fazla eğime sahip olmak üzere farklı yeşil çatı sistemleri kullanılmıştır. Proje yeşil çatı çeşidi olarak intensif ve ekstensif yeşil çatıdan oluşmaktadır. Aşağıdan yukarıya doğru sistemde yer alan tabakaları sıraladığımızda, taşıyıcı tabaka, buhar kesici tabaka, ısı yalıtım tabakası, nem tutucu tabaka ve su yalıtım tabakası, drenaj tabakası, filtre tabakası, yetiştirme ortamı ve bitkilendirme tabakası yer almaktadır [16].

Projenin aldığı ödüller sırasıyla; 2008 Avrupa Topluluğu Çevre Ödülü Türkiye

Tablo 2.7 Yeşil çatı örnek fiş 7-Ümraniye Meydan AVM

ÖRNEK 7	ÜMRANIYE MEYDAN AVM
YAPIM YILI	2007
KONUM	Türkiye
İKLİM	Ilıman iklim
YAPI TİPİ	Ticari
EĞİM	% 0-125 arası
YEŞİL ÇATI TİPİ	İntensif + Ekstensif
YALITIM SIRASI	Isı yalıtımı kullanılmamıştır.
HAVALANDIRMA	Havalandırma boşluğu bulunmadığından sıcak çatıdır.
BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ	Çim, yer örtücüler, çalılar ve ağaççıklar kullanılmıştır.
ÖDÜL-SERTİFİKASYON	—
YEŞİL ÇATI RESİMLERİ	
	
YEŞİL ÇATI KATMANLARI	
	Bitkilendirme
	Yetiştirme ortamı
	Filtre katmanı
	Drenaj
	Koruyucu/ayırıcı katman
	Nem tutucu katman
	Kök tutma özellikli su yalıtımı

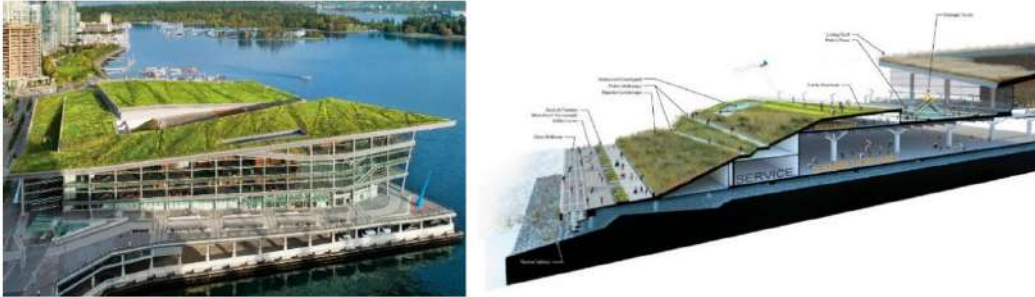
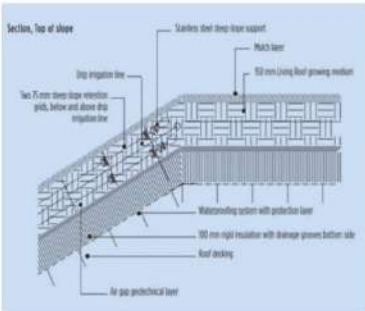
birinciliği, 2008 ULI Avrupa Mükemmellik Ödülü, 2008 çevreci ve sürdürülebilir özelliği ile Avrupa En İyi Gayrimenkul ödülü, ArkiPARC Gayrimenkul Ödülü, Alışveriş Merkezi birinciliği, 2009 ICSC Alışveriş Merkezi Resource Ödülü, 2010 sürdürülebilirlik kategorisinde ICSC En İyinin En İyi ödülü almaya hak kazanmıştır [69].

Vancouver Kongre Merkezi

Dünyanın en yeşil merkezlerinden biri olan bu yapının en dikkat çeken özelliklerinden biri; şehrin her yerinden görülebilen ikonik yeşil çatısıdır. PWL Partnership Peyzaj Mimarları tarafından tasarlanan bu yeşil çatı altı dönümlük alan kaplamakta ve kongre merkezi restoranına bal sağlayan yaklaşık 400.000 yerli bitki ve 240.000 arıya ev sahipliği yapmaktadır. Dalgalı çatı, çevredeki topografyayı ve North Shore Dağları'nı taklit eder ve buna ek olarak doğal çatı drenajını destekler. Yaklaşık 15 cm yetiştirme ortamına sahip olan yeşil çatı ziyarette kapalıdır. 24 tür yerel ot ve çayır otu, soğan ve kayakoruğu gibi otları içeren kıyı otlak florasından ilham alır. Bu bitkiler iklime uyum sağladığından kuraklık dönemleri dışında ek sulamaya ihtiyaç duymazlar. Kongre merkezinde kullanılan atık su, kurak dönemlerde bitkilerin sulanması için arıtılmaktadır. 6000 metrekairelik yeşil çatıya sahip olan yapıda; çözülmesi gereken ilk zorluklar arasında ağırlık endişeleri, yağmur suyu yönetimi, yetiştirme ortamının eğimli yüzeylerde suyu tutma kabiliyeti, sulama suyu hacmi ve bitki türleri vardı. Bu sorunlara çözüm olarak yaşayan bir çatı sistemi (çayır bitkileri) önerilmiştir. Sığ toprak derinlikleri çayır bitkilerinin büyümesini destekleyebilir. Ayrıca uzun süreli yaz kuraklıklarına ve yoğun kış yağışlarına dayanabilirler. Yetiştirme ortamı içeriği; kum, organik malzemeler ve lav kaya karışımından oluşmaktadır. Bu karışım etkili bir drenaj sağlamaktadır. Sistemin doymuş ağırlığı metreküp başına 1,29 tondur. Çatı bitki örtüsü ve yetiştirme ortamı yağmur akışını büyük ölçüde yavaşlatsa bile, çatı kesitinin boyutu nedeniyle çatı yüzeyindeki yağmur suyu akışı dikkatle yönetilmelidir. Bunun kontrolü için, çatıdaki yetiştirme ortamını yönetmek gibi adımlar atılmıştır. Çatı için bir damla sulama sistemi planlanmıştır. Çatıdaki bitkilerin Vancouver'daki uzun ve kurak yaz mevsiminde hayatta kalabilmelerini sağlamak için bir nem sensörü sistemi kullanılmıştır [16].

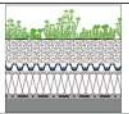
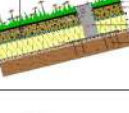
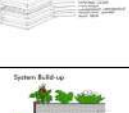
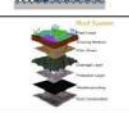
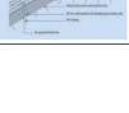
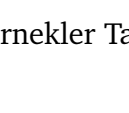
Deniz habitatı ise binayı destekleyen kazıkların etrafına inşa edilen özel tasarlanmış deniz habitatı eteği ile teşvik edilmektedir. Habitat eteği, beş metrelik gelgit bölgesinin tamamını kapsayan su sütununda asılı durmaktadır. Bu; gelgitin düşük olduğu zamanlarda eteğin beş metrelik seviyesinin tamamının su üstünde görülebileceği ve gelgitin yükseldiği zamanlarda ise çoğunun veya tamamının su altında olabileceği anlamına gelmektedir.

Tablo 2.8 Yeşil çatı örnek fiş 8-Vancouver Kongre Merkezi

ÖRNEK 8	VANCOUVER KONGRE MERKEZİ
YAPIM YILI	2009
KONUM	Kanada
İKLİM	Akdeniz + ılıman iklim
YAPI TİPİ	Ticari
EĞİM	% 3-54 arası
YEŞİL ÇATI TİPİ	Yarı intensif
YALITIM SIRASI	Yalıtım sırasına göre çatı tipi; ters çatıdır.
HAVALANDIRMA	Havalandırma boşluğu bulunmadığından sıcak çatıdır.
BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ	24 tür yerel ot ve çayır otu, soğan ve kulakotu gibi otları içeren kıyı otlak florasından bitkiler kullanılmıştır.
ÖDÜL-SERTİFİKASYON	Hem inşaat aşaması için, hem de işletme ve bakım için LEED Platin ödülü almaya hak kazanmıştır.
YEŞİL ÇATI RESİMLERİ	
	
YEŞİL ÇATI KATMANLARI	
	
Bitkilendirme Yetiştirme ortamı (kayma önleyicili) Filtre katmanı Drenaj Isı yalıtımı Kök tutucu katman Su yalıtımı	

Yenilenebilir hidro-elektrikle çalışan yüksek verimli bir deniz suyu pompası, ısıtma ve soğutma sağlayarak tipik kongre merkezlerine kıyasla enerji kullanımında %60'lık azalma sağlamaktadır. Su koruma ve yeniden kullanım sistemi ve tüm atık suları sulama ve içme amaçlı olmayan kullanımlar için filtreleyen ve yerinde geri dönüştüren bir siyah su arıtma tesisi sayesinde su kullanımı da %70 oranında azaltılmıştır [70]. Kongre Merkezi, Kanada Yeşil Bina Konseyi tarafından Platin seviyesinde LEED sertifikasına layık görülmüştür. Bu seviyede LEED sertifikası alan Dünyadaki ilk kongre merkezidir.

Tablo 2.9 Örnek karşılaştırma tablosu (Bilgisine ulaşamayan kriterler için tanımlanamadı anlamına gelen "T" işareti kullanılmıştır)

	YAPI ADI	DETAY / ÇİZİM	YIL	ÖLÇÜM/İKLİM	YAPI TİPİ	YALITIM SİRSİ		EGİM	BİTKİ YOĞUNLUĞU		HAVALANDIRMA		KATMANLAR
						TERS ÇATI	DUZ ÇATI		EKSTENSİF	İNTENSİF	SICAK ÇATI	SOGUK ÇATI	
1	Birleşmiş Dünya Koleji		2014	Ermenistan/ Karasal	Eğitim	X		% 10'a kadar	X		X		Ekstensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı Filtre katmanı Drenaj Koruyucu ayırıcı katman Su yalıtımı Kök tutucu + su yalıtımı
2	Garanti Bankası Teknoloji Kampüsü		2018	Türkiye/ Akdeniz	Ofis		X	% 73'e kadar	X		X		Ekstensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı 5 kablo sistemi (kayma önleyici sistemi) Koruyucu ayırıcı katman Su yalıtımı Su yalıtımı Bahar tutucu katman
3	Nanyang Teknoloji Üniversitesi		2006	Singapur/ Tropikal	Eğitim	X		% 60'a kadar		X	X		İntensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı Filtre katmanı Drenaj Su yalıtımı Su yalıtımı Koruyucu katman
4	Le Cordon Bleu Paris		2016	Fransa/ Okyanus	Eğitim		T	% 0		X	X		İntensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı Drenaj (su derinliği hassas) Koruyucu katman Kök dayanıklı su yalıtımı
5	Kaliforniya Bilim Akademisi		2008	Amerika/ Karasal	Eğitim		T	% 65'e kadar	X		X		Ekstensif Yetiştirme ortamı Filtre katmanı Drenaj Koruyucu katman Su yalıtımı
6	Küçükçekmece Belediye Binası		2014	Türkiye/ Akdeniz	Kamu	X		% 2			X		Ekstensif bitkilendirme Yetiştirme ortamı Filtre katmanı Drenaj Su yalıtımı Nem tutucu katman Kök tutma özellikli su yalıtımı
7	Ümraniye Meydan AVM		2007	Türkiye/ Akdeniz	Ticari		T	%0 - %125 arası	X	X	X		Bitkilendirme Yetiştirme ortamı Filtre katmanı Drenaj Koruyucu/ayırıcı katman Nem tutucu katman Kök tutma özellikli su yalıtımı
8	Vancouver Kongre Merkezi		2009	Kanada/ Ilıman	Ticari	X		%3 - %54		Yarı-İntensif	X		Bitkilendirme Yetiştirme ortamı (kayma önleyici) Filtre katmanı Drenaj Su yalıtımı Kök tutucu katman Su yalıtımı

İncelenen örnekler Tablo 2.9'da karşılaştırılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yeşil çatının uygulandığı yapılara bakıldığında; sekiz örneğin de yeni tasarlanan yapı olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin; yeşil bina ve sürdürülebilirlik politikalarının geliştirilmesinin yanı sıra, iklim değişikliğine bağlı olarak değişen düzenin etkili olduğu düşünülmektedir.
- Yeşil çatıların uygulandığı yapıların fonksiyonları incelendiğinde, genellikle

bireysel kullanıcılardan ziyade kamusal ya da kuruluşlar tarafından yaptırıldığı ve kullanıldığı görülmüştür.

- İncelenen örneklerin çoğunda, mimari tasarımcılara ek olarak sadece yeşil çatı tasarım ve uygulaması için ayrı bir uzman ekiple çalışıldığı görülmüştür.
- Yeşil çatı eğiminin % 0'dan başlayarak, gerekli koşullar sağlandığında %125'e kadar çıkabileceği görülmüştür.
- Yeşil çatı tipi bakımından çoğunlukla ekstensif yeşil çatıların tercih edildiği görülmüştür.
- Yeşil çatının uygulandığı yapılar; genellikle havalandırma boşluğu bulunmadığından sıcak çatı olarak tanımlanabilmektedir.
- Yeşil çatı örneklerinin çoğunda ısı yalıtım tabakası su yalıtım tabakasının üstünde yer aldığından soğuk çatı kategorisine girmektedir. Örneklerden üç tanesinde ise ısı yalıtımının kullanılmadığı görülmüştür.

Bu örneklerle ek olarak, yeşil çatı tasarımı ve uygulaması alanında faaliyet gösteren ulusal ve uluslararası firma çözümleri üzerinden uygulama detayları incelenmiştir. İnceleme; ters veya düz çatı olma durumu, eğim yüzdesi, bitki yoğunluğu, yetiştirme ortamı kalınlığı, sistem ağırlığı ve su depolama kapasitesi kriterleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. İnceleme sonucunda elde edilen veriler Tablo 2.10'da listelenmiştir. Bu detaylardaki katman dizilimleri, 3.3 bölümündeki sistem çıktılarının üretilmesinde kullanılmıştır. İnceleme sonucunda aşağıdaki çıkarımlara ulaşılmıştır:

- Toprak kalınlığı hem sistem ağırlığına hem de su depolama kapasitesine en fazla etki eden etmendir.
- Toprak kalınlığı da bitki yoğunluğuna göre şekillenmektedir.
- Eğimin %20 ve üzerinde olduğu durumlarda kayma önleyiciye ihtiyaç duyulmaktadır.
- Birden fazla katmanın işlevini tek başına yerine getiren yenilikçi çözümler geliştirilmiştir.
- Kök tutucu katman gerekiyorsa; ısı yalıtım katmanının üzerine değil, altına serilmelidir.
- Kullanılacak su tutucu ve koruyucu katman, bitki türüne göre seçilmelidir.

Tablo 2.10 Firmalardan alınan örnek yeşil çatı sistem çözümleri (Bilgisine ulaşamayan kriterler için tanımlanamadı anlamına gelen "T" işareti kullanılmıştır)

FİRMA	DETAY / ÇİZİM	TERS ÇATI	DÜZ ÇATI	EĞİM	BİTKİ YOĞUNLUĞU EKSTENSİF	INTENSİF	TOPRAK KALINLIK (cm)	SİSTEM AĞIRLIĞI (kg/m ²)	SU DEPOLAMA KAPASİTESİ (l/m ²)	KATMANLAR
1	FİRMA 1		X	min %2	X		11-13	80-100	40-50	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre katmanı - dröna - nem tutucu + koruyucu katman - kök tutucu + su yalıtımı
2	FİRMA 1		X	T	X		14	65-90	10-20	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre - dröna (su depolama hazneli) - nem tutucu + koruyucu katman - kök tutucu + su yalıtımı
3	FİRMA 1		T	%20-%40 arası	X		13-15	80-100	30-40	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı + kayma deneyici file - dröna (su depolama hazneli) - nem tutucu + koruyucu katman - kök tutucu + su yalıtımı
4	FİRMA 1		X	%40-%100 arası	X		12	155	68	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı (pasak bölünmesi için) - koruma + su depolama matı - kök dayanıklı su yalıtımı - su yalıtımı - buhar kesici
5	FİRMA 1		X	T	X		11-13	80-100	35-40	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre katmanı - dröna - buhar geçirgenliği yüksek ayırıcı katman - su yalıtımı - kök tutucu + su yalıtımı
6	FİRMA 1		X	min %2		X	20-25	min 150-250	min 68	- intensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre katmanı - dröna - koruyucu katman - kök tutucu + su yalıtımı
7	FİRMA 2		X	%2-%11	X		10	111.2	32	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre + dröna + koruyucu katman - ayırıcı katman + su yalıtımı - su yalıtımı - buhar kesici
8	FİRMA 2		X	%2-%11	X		10	122.5	41.4	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre - dröna (su depolama hazneli) - koruyucu katman - ayırıcı katman + su yalıtımı - su yalıtımı
9	FİRMA 2		T	max %11	X		10	71.2	30	- ekstensif biki, brüpa/metal çatılar için - yetistirme ortamı - fibre katmanı - dröna (su depolama hazneli) - koruyucu katman - ayırıcı katman + su yalıtımı - su yalıtımı
10	FİRMA 2		X	%2 ile %22 arası	X		10	123.8	27	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı (dröna ve filtreleme katmanları ile) - koruyucu katman - ayırıcı katman + su yalıtımı
11	FİRMA 3		X	min %2	X		12-16	150 (doğgun)	T	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre - dröna (su depolama hazneli) - koruyucu + nem tutucu katman - kök tutucu katman - su yalıtımı
12	FİRMA 3		X	min %2		X	40-120	500-1200 (doğgun)	T	- intensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre katmanı - dröna (su depolama hazneli) - koruyucu + nem tutucu katman - kök tutucu katman - su yalıtımı
13	FİRMA 4		X	%2 ile %22 arası	X		20-40	300-400	T	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre katmanı - dröna - koruyucu + nem tutucu katman - kök tutucu katman - su yalıtımı - su yalıtımı
14	FİRMA 5		X	max %16	X		8-16	70	T	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre katmanı - dröna - su yalıtımı - kök tutucu katman - su yalıtımı
15	FİRMA 5		X	%100'e kadar	X		9-33	80-100	T	- ekstensif bikiendirme - yetistirme ortamı + kayma deneyici metal sistem - dröna - su yalıtımı - koruyucu katman - su yalıtımı
16	FİRMA 5		X	%100'e kadar		X	20-90	110-1200	T	- intensif bikiendirme - yetistirme ortamı - fibre katmanı - dröna - su yalıtımı - kök tutucu katman - su yalıtımı

Yeşil Çatıların Faydaları

Bilinçli ya da bilinçsiz bir şekilde, Antik dönemlerden günümüze kadar uygulanan yeşil çatılar; hava kirliliği, ekolojik kaygılar ve yüksek orandaki betonlaşma gibi birçok çevre felaketini önlemektedir. Kentte giderek azalan yeşil alanların; yeşil çatılar aracılığıyla telafi edilmeye başlanması, görsel, psikolojik açıdan sosyal ve çevresel açıdan birçok fayda sağlayıp ekolojik alanların artmasına olanak sağlamaktadır. Yeşil çatıların; çevresel ve ekolojik, ekonomik ve sosyal olmak üzere hem kent hem de bina ölçeğinde birçok faydası bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

- Kentsel ısı adası etkisinin azaltılması,
- Düşük enerji maliyetleri ile ısı yalıtımı,
- Ses yalıtımı,
- Enerji tasarrufu,
- Yağmur suyu yönetimi ve sel taşkınlarının önlenmesi,
- Hava kirliliğini emme ve filtreleme,
- Biyoçeşitliliği artırma ve ekosistemin onarılması potansiyeli,
- Artan çatı hizmet ömrü,
- Sosyal etkileşim ve psikolojik refah sağlamaktır.

Çalışmanın bu bölümünde yeşil çatıların avantajları çevresel ve ekolojik, ekonomik ve sosyal açıdan faydalar olmak üzere üç ana başlık altında incelenmektedir.

Çevresel ve Ekolojik Faydalar

Yeşil çatı, sürdürülebilir kent yaşamını destekleyerek, çevresel problemlerin olumsuz etkilerini en aza indirebilecek ekolojik bir yöntemdir. Yeşil çatılar kentsel alanlarda kent ormanlarının, sokaktaki ağaçların veya çayırların yerini alamasa da, kentteki geçirimsiz ve kullanılmayan çatı yüzeylerini değerlendirerek iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı bir araç olarak kullanılabilir. Bu bölümde ekosistem hizmetlerinin bir parçası olarak yeşil çatının faydaları aktarılmaktadır.

Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılması:

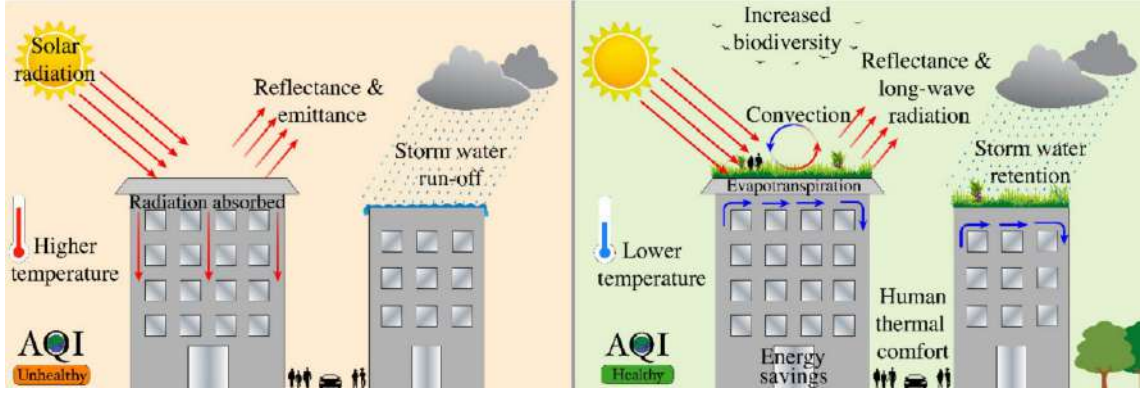
Kentsel Isı Adası (KIA) yapılı çevrenin; kentsel çevrenin sıcaklığı ve nemi üzerindeki etkisiyle ilgilidir. KIA etkileri, şehirdeki sıcaklıkların normalde gündüzleri kırsal

çevreden daha düşük, geceleri ise daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu termal fark üç nedenden meydana gelmektedir; gün boyunca güneş radyasyonunu (kısa dalga) hapseden ve geceleri yeniden yayan (uzun dalga) geçirimsiz malzemelerin varlığı, gölgeler ve kentsel gölgelikler oluşturan farklı yükseklik ve boyutlardaki binaların varlığı ve doğrudan sokakta veya binaların içinde antropojenik ısı üretimi. Son faktör bazı durumlarda tüm fenomenin itici gücü olarak görülebilir, gün içinde bile pozitif KIA üretir, daha yüksek kentsel sıcaklıklar büyük ölçüde arabalardan ve bina iklimlendirmesinden kaynaklanır [71].

Şehir içindeki ve çevresindeki yeşil alanlar ile ormanlar ve su kütleleri de incelendiğinde; kentsel alanlardaki yaz yüzey sıcaklıklarının, ormanlık ve bitki örtüsüne sahip olan çevredeki kırsal alanlardan ortalama 7,2-8,9 santigrat derece daha sıcak olduğu görülmüştür. Bu durum, güneş enerjisinin beton ve asfalt sokak yüzeylerinin yanı sıra gündüzleri koyu renkli bina çatıları ve geceleri ısının gökyüzüne kaçmasını engelleyen yüksek binalar tarafından emilmesinden kaynaklanmaktadır [72]. Bina işletimi kentsel çevre ile iki faktörle bağlantılıdır; bir yandan binalar çevreyi ısıtan ısı üretirken, diğer yandan kentsel çevre KIA etkisiyle bina performansını değiştirir [73].

Kentsel ısı adası etkisi küçük şehirleri bile etkileyen önemli bir sorundur ve yapılı çevre geliştikçe ve şehirler büyüdükçe artmaya devam etmektedir. Etkinin şiddeti belirli bir şehrin büyüklüğüne, yapısına ve konumuna bağlıdır, ancak genel olarak yaklaşık bir milyon nüfusa sahip bir şehrin yıllık ortalama hava sıcaklığı çevresinden 1 ila 3°C daha sıcak olabilir ve doğru koşullar altında 12°C'ye ulaşma potansiyeli vardır. Bu etki; bölgesel ölçekte enerji talebini, hava kalitesini ve halk sağlığını etkileyebilir. Kentsel alanlardaki enerji dengesindeki değişikliklerden kaynaklanan kentsel ısı adası, kentsel alanların kırsal alanlardan birkaç derece daha yüksek hava sıcaklıklarına sahip olması olarak da tanımlanabilir. Kentsel ısı adası, hastalık ve rahatsızlıktan ısıya bağlı ölüme kadar birçok olumsuz duruma neden olabilir. Hastalık ve ölümlere ek olarak, hava kirliliğini şiddetlendirmekte, elektrik ve su tüketimini arttırmaktadır [74].

Günlük çiğ ve buharlaşma döngüsü sayesinde, dikey ve yatay yüzeylerdeki bitkiler sıcak yaz aylarında şehirleri serinletebilir ve KIA etkisini azaltabilir. Aksi takdirde bitki örtüsü tarafından emilen ışık, ısı enerjisine dönüşecektir. KIA, kentsel ortamdaki en sıcak yüzeylerden bazılarının, siyah çatıların, kaplanmasıyla da azaltılır. Yeşil çatılar aynı zamanda toz ve partikül maddelerin şehir genelindeki dağılımını ve duman üretimini azaltmaya da yardımcı olabilir. Bu, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında ve kentsel alanların yazları daha sıcak geçen gelecekteki bir iklime adapte edilmesinde rol oynayabilir [76].



Şekil 2.8 Geleneksel çatılarda ve yeşil çatılarda yer alan çeşitli süreçleri temsil eden şematik anlatım [75]

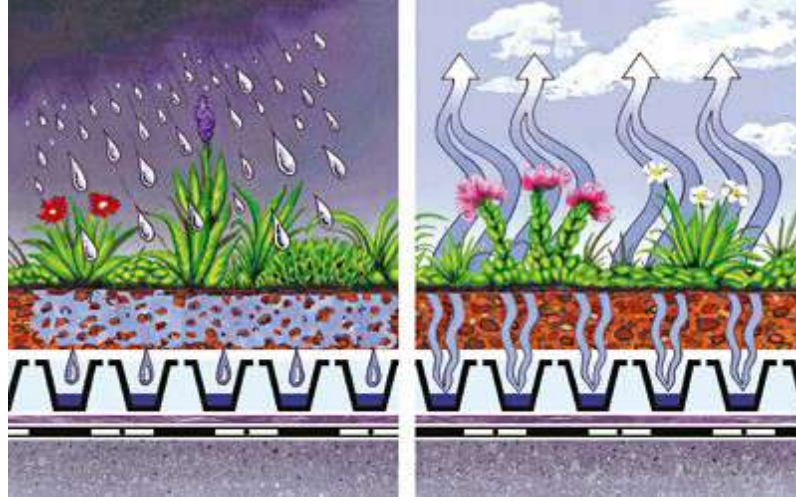
2002 yılından itibaren NASA ve New York City (NYC) kurumlarından bilim insanları uydudan elde edilen görüntüler ve diğer verilerle çalışarak kent ve çevresindeki alanların yüzey ve arazi örtüsü haritalarını üretti. Haritalar yaz yüzey sıcaklıklarındaki farklılıkları göstermektedir. Bu haritalar, New York'un ne kadarının sokak asfaltı, beton ve koyu renkli çatılar gibi "geçirimsiz" yüzeylerden oluştuğunu inceleyen 2002 tarihli bir bilgisayar modelinin temelini oluşturmuştur (bu yüzeyler New York'un yüzölçümünün yaklaşık %13'ünü, şehir genelinde yaklaşık 30 mil karelik bir alanı oluşturmaktadır. NASA'nın çalışması ayrıca New York şehrinin çatılarındaki en yüksek yüzey sıcaklıklarının yeşil çatılara göre gündüzleri ortalama 20C daha sıcak, geceleri ise 8C daha soğuk olduğunu göstermiştir. Yaz aylarında ise bina içi sıcaklıkların yeşil çatıya sahip binalarda 15C daha düşük olduğunu göstermiştir [72].

Yağmur suyu Yönetimi:

Küresel iklim değişikliği ve kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin genişlemesi sel riskini artırmıştır. Önlem olarak çatı bitkilendirmesi, yağmur suyunun kentsel drenaj sistemine girmesini önlemek için ilk bariyer görevi görerek yağmur suyu akışını etkili bir şekilde azaltabilir.

Yeşil çatılar; geçirimsiz yüzeyler olan çatıların geçirimli hale gelmesine imkan sağlamaktadır. Yeşil çatılar yapısal katmanları sayesinde suyu emer ve bir kısmı bitki örtüsü tarafından tutulup buharlaşma yoluyla atmosfere bırakılmaktadır. Kalan su ise, çatıdaki drenaj aracılığıyla sistemden uzaklaştırılır. Bu sayede, kanalizasyon sistemlerine deşarj edilen pik akışların ve hacimlerin azaltılmasına olanak sağladıkları için yüksek oranda kentleşmiş alanlarda yağmur suyu kontrolü için etkili olarak kullanılan araçlardır [77]. Bu sebeple de sürdürülebilir kentsel drenaj sistemlerinde kullanılan ana altyapılardan biri haline gelmişlerdir [78].

NASA'nın çalışması yağmur suyunun sadece %61'inin New York şehrinin kanalizasyon



Şekil 2.9 Yağmur suyu yönetimi şematik anlatım [79]

sistemi tarafından arıtıldığını ve yeşil çatıların standart çatılara kıyasla yağışın %80'ini emdiğini göstermiştir. On ile on beş cm derinliğindeki tipik bir yeşil çatı, çatı alanının metrekaresi başına bir galon su tutabilir. Columbia Üniversitesi ve NASA araştırmacıları, büyük ölçekli yeşil çatı kullanımının potansiyel uzun vadeli faydalı etkilerini incelemek için New York'taki çeşitli bina türlerine bu bitkilendirilmiş çatıların yerel versiyonlarını dikmekle ilgilenmektedir [72].

Yeşil çatılar sayesinde geçirimsiz çatı yüzeylerini geçirimli hale getirmek mümkün olduğundan; yapılan birçok araştırmanın içeriği, genellikle yeşil çatıların su tutma kapasitesi ve yağmur suyu yönetimi üzerine olmaktadır. Sonuç olarak; suyun gözenekli alanlar ve emici malzemeler tarafından tutulduğu, bitkiler tarafından fizyolojik süreçlerde buna terleme de dahil olmak üzere kullanıldığı ve yetiştirme ortamı tarafından alıkonulduğu gözlemlenmektedir [80]

Hava Kirliliğini Emme ve Filtreleme

Kentsel çevrede her projenin; bir su havzasının ve bir hava havzasının parçası olarak, dolayısıyla bölgesel ve nihayetinde küresel bir sistemin parçası olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Yeşil çatı sistemleri yerel olarak hava ve su sistemleri üzerinde olumlu etkilere sahip olabilir ve bunun uzantısı olan kümülatif etkileri küresel olabilir. Bu olumlu etkiler hava ve su kalitesindeki iyileşmede ölçülebilir olarak görülebilmektedir [38]. Yeşil çatıların en üst katmanını oluşturan bitkiler; havadaki kirleticiler ile atmosferik birikimi yakalayabilir ve ayrıca zararlı gazları filtreleyebilirler. Yeşil çatıların sıcaklığı dengeleyici etkileri, enerji santrallerine olan talebi azaltabilir ve havaya salınan CO₂ ve diğer kirletici yan ürünlerin potansiyel olarak miktarını düşürebilir [76].

Özellikle intensif yeşil çatıların genellikle hava kirliliğini azaltabileceği düşünülmektedir. Çatılarda bitki yetiştirmek, inşaat sırasında tahrip edilen bitki örtüsünü kısmen telafi etmektedir. Currie ve Bass, ağaçların hava kirliliğini azaltmada en etkili bitkiler olduğunu ortaya koymuştur [81]. Tan ve Sia Singapur'da yeşil çatıların entegre edilmesinden önce ve sonra hava kirliliği seviyesini, özellikle sülfür dioksit, araştırmıştır Bulgular, yeşil çatıların yaygın olarak kullanılmasıyla %37'ye varan kirlilik giderimini ortaya koymaktadır [82].

Yeşil çatıların hava kirliliğinin azaltılması üzerindeki faydalarını değerlendirmenin bir diğer olası yolu da binalarda enerji tasarrufu ve KIA etkisinin azaltılmasına yönelik kapasitelerini değerlendirmektir. KIA, binaların radyan sıcaklığını ve soğutma yüklerini artırdığından, yeşil çatıların ısı adasını azaltmadaki etkinliği dolaylı olarak KIA etkisinin azaltılmasıyla sonuçlanacaktır [83].

Gürültü Önleme

Yeşil çatılar, ses emilimi ve gürültü yalıtımı bakımından sağladıkları potansiyeller nedeniyle de tercih sebebi olmaktadır. Toprak, bitkiler ve bitkiler ile bina yüzeyi arasında sıkışan hava tabakası ses yalıtımı için kullanılabilir. Bitkiler daha yüksek frekansları bloke ederken, alt tabaka daha düşük frekansları bloke etme eğilimindedir. Yeşil çatılar, özellikle düşük frekanslı sesler için mükemmel gürültü azaltma özelliğine sahiptir. Ekstensif bir yeşil çatı dışarıdan gelen sesi 40 desibel azaltabilirken, intensif bir yeşil çatı sesi 46-50 desibel azaltabilir [84].



Şekil 2.10 Gürültü kirliliğini azaltma etkisi şematik anlatım [79]

Ses seviyesinin bölmeler yoluyla azalma derecesi olarak iletim kaybına atıfta bulunan ampirik bir analiz, yeşil çatıların iletim kaybını düşük ve orta frekanslarda 5 ila 13 dB, yüksek frekanslarda ise 2 dB ila 8 dB arasında artırdığı sonucuna varmıştır [85]. Başka bir çalışmada ise, geleneksel tip bir referans çatının ve iki yeşil çatının ses iletim kaybı ölçülmüştür. Bunlar özdeş olup, tek fark alt tabakanın derinliği idi. Yetiştirme

ortamı; Yeşil Çatı 1 (YÇ1) için 7,5 cm ve Yeşil Çatı 2 (YÇ2) için 15 cm'dir. Analiz, farklı frekanslarda YÇ1 üzerinden iletim kaybı artışının daha az tutarlı olduğunu, YÇ2 üzerinden ilgili iletim kaybı artışının ise daha güvenilir olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca bulgular yetiştirme ortamı derin olan yeşil çatının düşük ve orta frekans bantlarında (50-2000 Hz) iletim kaybını 5 dB'den 13 dB'ye çıkardığını ve daha yüksek frekanslarda 6 dB'den az olduğunu göstermektedir [86]. Ayrıca, kent ölçeğine odaklanıldığında, Yang ve diğerleri ile Connelly ve diğerlerinin deneylerine dayanarak, yeşil çatıların, bitki örtüsü katmanının yüksek emme katsayısı sayesinde kentsel alanlarda sokak seviyesindeki gürültüleri önemli ölçüde azalttığı kanıtlanmıştır [87]. Bu fayda alçak binaların üzerindeki yeşil çatılarda daha belirgindir, çünkü bitki örtüsü tabakasının etkili bir emici yüzey olabilmesi için doğrudan kentsel ses alanına maruz kalması gerekmektedir [88].

Biyçeşitliliğin Korunması/Arttırılması ve Habitat Oluşturması

Yeşil çatıların diğer bir önemli faydası da; ekolojik koruma sağlayarak özellikle yabani türler için habitat yaratmasıdır. Yeşil çatılar çeşitli bitkileri ve omurgasızları yaşatabilir ve çeşitli kuş türleri için habitat sağlayabilir. Göç eden kuşlar için bir atlama taşı habitatı görevi görerek, aksi takdirde parçalanacak olan türleri birbirine bağlayabilirler. Biyçeşitliliğin artırılması ise dolaylı olarak üç alanı olumlu yönde etkileyebilir. Bunlar ekosistem, ekonomik etkenler ve sosyal refahtır. Çeşitlilik gösteren ekosistemler, daha az tür içeren ekosistemlere kıyasla çevresel değişim dönemlerinde yüksek verimlilik seviyelerini daha iyi koruyabilmektedir. Stabilize edilmiş ekosistemler, ekolojik malların (örneğin gıda, inşaat malzemeleri, tıbbi bitkiler) ve hizmetlerin (örneğin hidrolojik döngülerin sürdürülmesi, su ve havanın temizlenmesi, besin maddelerinin depolanması ve döngüye sokulması) sunulmasını sağlayarak ekonomik açıdan katkı sağlar. Görsel ve çevresel çeşitliliğin ise toplumsal ve psikolojik refah üzerinde olumlu etkileri olabilmektedir [76]. Son zamanlarda ise yeşil çatı kavramı sıklıkla kentsel tarımın, özellikle de sebze üretiminin geliştirilmesiyle ilişkilendirilmektedir [89].

Çeşitli çalışmalar, yeşil çatıların biyçeşitliliğin artırılması ve habitat kayıplarının azaltılmasına yönelik etkisine odaklanmıştır. Genellikle intensif yeşil çatıların yabani türlere habitat oluşturarak, biyçeşitliliğin korunmasına katkısı olduğu üzerinde durulmaktadır. Ekstensif yeşil çatılar genellikle bitkiler ve hayvanlar için tür bakımından nispeten yetersiz alternatif habitatlar olarak görülmüş, sadece oldukça hareketli öncü türler tarafından yerleşilmiş ve yerde yaşayan organizmalar için kalıcı habitatlar olarak uygun görülmemiştir [88]. Yapılan araştırmalar, birçok yeşil çatı yüzeyinin düşük biyotik çeşitliliğinin öncelikle ince alt katmanlardan kaynaklandığını göstermiştir. Fakat İsviçre'nin Basel şehrindeki ekstensif yeşil çatıların ekolojik

telafi potansiyeline odaklanan araştırma programları tarafından; iyi tasarlanmış yeşil çatıların, arazi kullanımı değişikliklerinden etkilenen nadir ve nesli tükenmekte olan türler için habitat telafisi sağlayabileceği ortaya konmuştur. Biyoçeşitlilik için özel olarak tasarlanmış yeşil çatılarda böcek ve örümcek türlerinin sayısının üç yıllık bir süre içinde arttığını, buna karşın geleneksel geniş yeşil çatılarda inşaattan hem üç hem de beş yıl sonra yaklaşık aynı sayıda tür bulunduğunu göstermiştir. Tasarım faktörünün; yeşil çatı biyoçeşitliliği üzerindeki etkisine ek olarak doğal substratların kullanılması da önemlidir. Tasarımın yeşil çatı biyoçeşitliliği üzerindeki etkisini incelemenin yanı sıra doğal substratların kullanılmasının önemini de göstermiştir. Sonuç olarak tüm bu faktörler göz önünde bulundurulduğunda, çatılarda doğala yakın habitatların kurulabileceği kanıtlanmıştır [90]. Kentsel alanlarda biyolojik çeşitliliğin korunması ve geri kazanılması için potansiyel bir araç olarak yeşil çatıların süs bahçeciliği ve enerji tasarrufu perspektifinden ziyade bölgesel peyzaj ve ekolojik planlama perspektifinden görülmesi gerekmektedir.

Ekonomik Faydalar

Yeşil bir çatıya sahip olmanın önemli ekonomik faydaları da bulunmaktadır. Yeşil çatıların başlıca ekonomik avantajları, artan enerji verimliliği sayesinde enerji tasarrufu sağlaması, çevresel unsurlardan korunma sayesinde daha uzun ürün ömrü sağlaması ve uygulandıkları binalarda estetik değeri arttırmasıdır.

Enerji Tüketiminin Azaltılması

Yeşil çatılar, hem sıcak hem de soğuk iklimlerde iç ortam sıcaklığının değişimini azaltmada ve bina enerji tüketim seviyesini düşürmede oldukça etkilidir. Bununla birlikte, bina özellikleri de yeşil çatıların olası katkısında önemli bir rol oynamaktadır. Yalıtımsız binalarda yeşil çatıların etkisi yalıtımlı olanlara göre çok daha yüksekken, çatının yalıtımı ne kadar iyiye yeşil çatının katkısı da o kadar düşük olmaktadır [91]. Yeşil çatılar, sıcak iklimlerde çatı katmanını gölgeleyerek ve güneş ışınlarının doğrudan etkisini önleyerek iç ortam sıcaklığını düşürür. Ekstensif yeşil çatıların yüksek sıcaklık ve şiddetli yağmura sahip subtropikal bölgelerin iklimleri için büyük bir potansiyele sahip olduğunu belirtilmektedir [92]. Başka bir çalışmada ise Yunanistan'da yeşil çatıların soğutma için kullanılan enerjiyi, yeşil çatının kapladığı alana bağlı olarak %2 ile %48 arasında azalttığı ve iç ortam sıcaklığını 4 kata kadar düşürdüğü bulunmuştur [93]. Hong Kong'un sıcak ve nemli ikliminde yeşil çatıların etkenliğini analiz eden Jim'e göre (çim, yer örtücü bitki ve çalı olmak üzere üç plantasyonu karşılaştırarak) ise, yeşil çatılardaki plantasyon türü soğutma etkilerinde kayda değer bir rol oynamaktadır. Sonuçlar, bitki formunun, türünün ve biyokütle yapısının soğutma potansiyeline yönelik önemini göstermektedir. Farklı

seviyelerde gözlemlenen sıcaklık değişimlerine atıfta bulunan çalışma, biyokütle miktarı ve karmaşıklığının enerji tasarrufu için etkinlik üzerinde en etkili faktörler olduğu sonucuna varmaktadır [94].

Son zamanlarda, aynı yapının avantaj ve dezavantajlarını keşfetmek için farklı iklimlerde aynı yeşil çatıyı inceleyen çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Sun ve arkadaşları, ABD'deki Princeton Üniversitesi ve Çin'deki Tsinghua Üniversitesi'nde bulunan iki vaka çalışmasını ele almış ve her iki yerde de yeşil çatıların yüzey sıcaklığını ve ısı kayıplarını azaltmadaki etkinliğini doğrulamıştır [95]. Ayrıca, Nardini ve arkadaşları yeşil çatılarda farklı bitkilerin kullanılmasıyla termal yüklerin azaltıldığını göstermiştir. Bu çalışma, alt tabaka derinliğinin termal yükün azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu, alt tabaka su içeriğinin ise küçük bir rol oynadığını göstermiştir [96]. Sailor ve diğerleri ise, Houston, New York City, Phoenix ve Portland olmak üzere dört ABD kentinde enerji performansının karşılaştırmasını yapmış ve yeşil çatının enerji performansının özellikle her kentteki bitkilendirme yoğunluğunun artmasıyla iyileştiğini göstermiştir [97].

Çok sayıda çalışma, farklı araçlarla gerçekleştirilen sayısal simülasyonları kullanarak yeşil çatıların termal davranışını analiz etmiştir. Bu tür çalışmaların çoğu EnergyPlus ve DesignBuilder (EnergyPlus simülasyon motorunun bir arayüzü) ile elde edilebilecek enerji tasarrufunu araştırmıştır [98]. Geyikli ve Canan'ın çalışmasında; farklı parametreler kullanılarak simülasyonlar yapılmış ve Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesi için yıllık toplam enerji tüketimi, yıllık ısıtma tüketimi ve yıllık soğutma tüketimi karşılaştırılmıştır. Simülasyonlarda yeşil çatı ve yeşil duvar kullanımının hangi iklim bölgesinde geleneksel çatı ve geleneksel duvarlara göre daha olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir. Hesaplamalarda, yeşil çatı ve yeşil duvar kullanımının tüm bölgeler için yıllık toplam enerji tüketiminde önemli bir azalma sağladığı sayısal olarak kanıtlanmıştır [22].

Yeşil çatının bitki örtüsü ve diğer bileşenleri, gölgesiz binalara kıyasla güneş enerjisi kazancını %90'a kadar azaltabilir [80]. Bina içi hava sıcaklığındaki her 0,5 C'lik düşüşün, iklimlendirme için elektrik kullanımını %8'e kadar azaltabileceği tahmin edilmektedir [44]. Daha büyük enerji tasarrufu ise; su zayıf bir yalıtkan olduğundan, alt tabaka parçacıkları arasındaki boşlukların daha sık hava ile dolduğu yaz aylarında gerçekleşir [9].

Bitkilendirilmiş bir çatının enerji süreçlerinde kilit rol, bitkiler ve dış ortam arasındaki gizli ısı alışverişini içeren evapotranspirasyon tarafından oynanır ve çoğunlukla yaz koşullarında faydalı olan gözle görülür pasif soğutma etkileri üretir [99]. Akdeniz kıyı iklim bölgesinde yer alan ekstensif bir yeşil çatı üzerinde üç ardışık yazın izlenmesi

yoluyla gerçekleştirilen deneysel bir çalışma; yoğun bitki örtüsünün çatıya giren termal kazancı, bitki örtüsü olmayan çatıya kıyasla %60 oranında azalttığı sonucuna varmıştır. Yoğun bitki örtüsü için, yaz boyunca giden enerji gelen enerjiden yaklaşık %9 daha fazla olduğu için pasif soğutmanın etkili olduğu kanıtlanmıştır [100].

Çatı Membranının Ömrünün Uzatılması

Bir çatının üzerine yerleştirilen bitki örtüsü, çatının ömrünü üç şekilde uzatır. İlk olarak, çatının katmanlarını ve dış membranını ultra-viyole ışınlarından korur. Bu da, çatı malzemesinin aşınmasını yavaşlatır. İkinci olarak, çatıyı delinmelerden, yırtılmalardan ve diğer, insan faktörü veya hava koşullarından kaynaklanan fiziksel hasarlardan korur. Son olarak yeşil çatılar; bitkiler ısının çoğunu emdiği ve yaz aylarında enerjiyi fotosentez için kullandığından çatıyı aşırı sıcaklık değişimlerinden korur. Bu, çatı malzemesindeki genleşme ve gerilmelerden kaynaklanan tipik hasarı en aza indirdiği için faydalıdır. Yeşil çatı ayrıca çatıyı sert kış koşullarında don ve buzdan koruyabilir [101].

Yeşil çatının çeşitli bileşenleri su yalıtım membranını güneş ışınlarına ve ultraviyole radyasyona karşı korur. Çatı membranı, sıcaklıktaki büyük değişimlerden kaçınarak, bitkilendirilmemiş çatılarda olduğu gibi genleşmez ve büzülmez. Kanada’da yapılan bir çalışmada, bitki örtüsüyle kaplı olan ve olmayan membranların ve yeşil çatının ilgili kısımlarının ulaştığı maksimum sıcaklıklar karşılaştırılmıştır. Yeşil çatının bileşenleri tarafından korunan membran 25 °C sıcaklığa ulaşırken, bitki örtüsü ile kaplı olmayan membranın 70 °C sıcaklığa ulaştığı kaydedilmiştir [102]. Yeşil çatıda yalıtım değeri hem bitkilerde hem de yetiştirme ortamındadır. Yetiştirme ortamının derinliğine ve seçilen bitkilerin türüne bağlı olduğu için hangisinin en fazla faydayı sağladığı belirsizdir olmakla beraber; kapsamlı bir uygulama, yoğun bir uygulamaya göre yalıtkan olarak çok daha etkilidir. Örneğin karıştırılmış çimleri barındıran katman, sınırlı türde çim barındıran katmandan daha iyi performans gösterir. Bu koşullar altında, yeşil bir çatının bitki örtüsü tarafından korunan bir membranın, bitki örtüsü ile kaplı olmayanının yaşam döngüsünün iki ila üç katı kadar faydalı olması oldukça olasıdır [80].

Mülk Değerindeki Artış

Eklenen doğal güzelliklerin emlak değeri artışına yol açtığına dair bir anlayış vardır. Bu katma değeri ölçmek zordur, ancak yeşil yoğunluklu bölgelerdeki emlak fiyatlarının kıyasla daha yüksek olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Manchester, Connecticut’ta yapılan bir araştırmada, ağaçların bulunduğu bölgelerdeki konut emlak değerleri incelenmiş ve ağaçların bulunmadığı benzer bölgelerdeki emlak değerleriyle karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizde tüm olası değişkenler dikkate

alınmış ve sonuçlar ağaçların mülk değerlerine katkıda bulunduğunu göstermiştir. İyi bitki örtüsünün evlerin değerine yaklaşık %6 oranında katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu rakam, ABD Orman Hizmetleri tarafından yürütülen bir çalışmada, emlak değerlerine %7 ila %15 arasında bir katkı sağlandığı görülmüştür. Bunlara ek olarak yeşil çatıların, bulunduğu binanın pazarlanabilirliğini artırabildiği göz önünde bulundurulmalıdır [103]. Yeşil çatıların emlak fiyatları üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak sosyal etkileri konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

İstihdam Yaratma

Yeşil çatıların yaygınlaşmasının istihdam yaratma faydaları olduğunu öne süren bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Peck ve diğerleri yeşil çatı üretimi, kurulumu ve bakımı ile ilgili birkaç farklı pazarda iş yaratma ve geliştirmeye atıfta bulunmaktadır [84]. GRHC'ye göre ise, yeşil çatı pazarlarının büyümesi, üretim, bitki yetiştirme, tasarım, kurulum ve bakım ile ilgili yeni iş fırsatları sunmaktadır [76]. American Rivers Şirketi, 10 milyar dolarlık bir yatırımın 48,5 milyar metrekarelik yeşil çatı alanı inşa ederek 190.000 istihdam yaratabileceğini veya nüfusu 50.000'in üzerindeki her toplulukta Amerika Birleşik Devletleri'nin çatı alanının sadece yüzde birini oluşturabileceğini öne sürmektedir. Daha önce kullanılmayan yoğun kentsel alanlarda yeni büyüme için önemli bir potansiyel yaratmaktadır. Ancak, bugüne kadar yeşil çatı projelerinin işsizliğin azalmasına yol açacağına dair bir gösterge yoktur.

Sosyal Faydalar

Yeşil çatıların çevresel ölçekte ve bina ölçeğinde getirdiği yararlarının yanısıra kullanıcının sosyal, psikolojik ve estetik doyumuna katkı sağlamasından da söz etmek olanaklıdır. Yeşil alanlar ve doğayla etkileşim şansı, kent sakinlerine psikolojik bir esenlik duygusu sağlayarak yaşam kalitesini arttırmaktadır. Kent parkları geleneğinde, yeşil çatılar kent sakinlerine gelişmiş bir estetik yaşam kalitesi sağlayabilir. Birçok yeşil çatı alanı, sosyal etkileşimi ve komşular arasında bağlantı hissini teşvik etmek için oturma alanlarıyla birlikte tasarlanmaktadır [72]. Yeşil çatıların; emlak fiyatları üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak, sosyal etkileri konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir [75].

Nicel olarak değer biçmek zor olduğundan ikincil fayda olarak adlandırılırsalar da, bu faydalardan çoğu birincil faydalar kadar önemlidir. Şehirlerde, evlerde ve ofislerde yeşil alanların varlığının insanlar üzerinde olumlu psikolojik etkileri olduğu uzun zamandır bilinmektedir. İnsan-çevre araştırma laboratuvarı tarafından yürütülen bir çalışma, daha fazla yeşil alana sahip toplulukların daha fazla topluluk duygusuna,

daha az suç riskine, daha düşük şiddet seviyelerine ve yaşam talepleriyle daha iyi başa çıkma kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Dünyanın çeşitli yerlerinde yapılan çalışmalar, yeşil alanın zihinsel ve kişisel sağlıkla olumlu bir şekilde ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu konuda çalışmalar yapılmış olsa da, tüm dış test değişkenlerini sabit tutarken insanların refahını niceliksel olarak ölçmek zordur. Fiziksel faydaların daha iyi hava kalitesi, binada daha az sıcaklık dalgalanması ve nem kontrolünden kaynaklandığı düşünülürken, zihinsel faydaların ise bitkilerin görsel, işitsel (esinti) ve kokusal keyiflerinden kaynaklandığı düşünülmektedir [101]. Dikey bahçelerin dalları ve yaprakları arasında hareket eden rüzgarın ürettiği beyaz gürültü de bireyin psikolojik refahını artırmada olumlu bir rol oynayabilir [84].

Bazı yeşil çatılar sadece bitkileri, çalıları ve diğer bitki örtüsünü barındırmakla kalmaz, aynı zamanda çiçek, meyve, sebze ve ot da yetiştirebilir. Bu sayede kentsel tarıma katkıda bulunabilmektedir. GRHC tarafından da belirtildiği gibi, yeşil çatılarda gıda yetiştirme, işleme ve dağıtma açısından yerel ekonominin desteklenmesi, şehir için daha taze ürünlerin yanı sıra yeşil çatının maliyetini karşılamaya yardımcı olacak bir miktar gelir sağlayabilmektedir. Örneğin, Vancouver'daki Fairmount Waterfront Hotel'in bitki, çiçek ve sebze yetiştiren yeşil çatısında; kendi ürünlerini yetiştirerek yılda 30.000 dolar tasarruf ettiklerini tahmin edilmektedir. Ancak çatıda gıda yetiştirmenin zorlukları mevcuttur. İlk olarak, ekstensif bir çatıya kıyasla ekstra bakım gerektirecektir. Bu da büyüyen mahsullerin bakımı için fazladan çalışma saati anlamına gelecektir. İkinci olarak, özellikle sert kış koşullarını içeren iklimlerde, herhangi bir koruyucu veya örtüleme sistemi olmadığı sürece, bahçe yalnızca yaz ve bahar aylarında değerli olacaktır. Son olarak, gıdanın büyümesi için gereken ortamı desteklemek üzere binanın tasarımında ek yapısal maliyetler söz konusu olacaktır [76].

Yeşil çatılar sadece görsel olarak daha cazip olmakla kalmaz, bazıları aynı zamanda aşağısındaki ofislerde çalışanlar için özel bahçeler veya öğle yemeği için ortak toplanma alanları da sağlar. Şehirlerde gayri resmi rekreasyon için alan çok azdır ve çatı bahçeleri sokak seviyesindeki eşdeğer bir alana göre daha tenha, daha az kirli ve daha az gürültülü olabilir. Eğer üst örtü alınırsa, yeşil çatının bir kısmı ilkbaharın başlarında ve sonbaharın sonlarında rekreasyon için kullanılabilir veya hatta sebzelerden çiçeklere veya iç mekan saksı bitkilerine kadar 'sıcak ev' mahsulleri yetiştirmek için kullanılabilir. Özetle yeşil çatıların sosyal tesis alanı olarak etkileri arasında; çevreye uyum sağlamaları, bina sakinleri için bahçe veya toplanma alanı sağlaması, yeşil alan görmesinin insanlar üzerindeki psikolojik etkileri gibi faydaları bulunmaktadır [103].

Araştırmalar ayrıca doğal manzaralara maruz kalmanın sağlık açısından faydalarını

da belgelemiştir. Estetik olarak tercih edilen manzaralara verilen olumlu duygusal tepkiler stresi azaltır ve sonuç olarak onarıcıdır [104]. Yapılı bir çevreye bitki örtüsü getirme yöntemi olan yeşil çatılar, insanların biyolojik olanla kurdukları olumlu ilişkiye bağlı olarak estetik tepkileri iyileştirebilmektedir. Biyofili Hipotezi, doğal ortamlara yönelik tercihlerin, insanların biyolojik şeylere karşı doğuştan gelen çekiciliği ile açıklandığını öne sürmektedir [105]. Bu hipotez de yeşil çatıların, tedavi edici değer kazandırdığından sağlık ve refahı yükseltmesini desteklemektedir.

Bu konuda çalışmalar yapılmış olsa da, tüm dış test değişkenlerini sabit tutarken insanların refahını niceliksel olarak ölçmek zordur. Fiziksel faydaların daha iyi hava kalitesi, binada daha az sıcaklık dalgalanması ve nem kontrolünden kaynaklandığı düşünülürken, zihinsel faydaların ise bitkilerin görsel, işitsel (esen rüzgar) ve kokusal keyiflerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer faydalar arasında ADHD'li çocukların dikkat süresini uzatmak, hastanede yatan hastaların iyileşme süresini kısaltmak, öğrencilerin dikkat testlerinden aldıkları puanları artırmak, kalp atış hızını ve kan basıncını düşürmek ve stres yönetimini kolaylaştırmak sayılabilir. Michigan Üniversitesi tarafından yapılan bir çalışma, "ister pasif olarak gözlemlensin ister aktif olarak katılınsın, doğa deneyiminin psikolojik refahın önemli bir bileşeni olduğunu" kanıtlamıştır. Sadece kişisel sağlığa yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda çalışanların verimliliğini de artırabilir. 1990 yılında Almanya'da bir şirket, binalarından birinde geçirilen hastalık günleri ile diğerinde geçirilen hastalık günleri arasında önemli bir fark olduğunu tespit etmiştir. Bulunan tek fark, bir binada yeşil çatı varken diğerinde olmamasıydı. Yukarıda bahsedilen tüm çalışmalar aynı ana sonuca varmaktadır. Kesin rakamlar bilinmemekle birlikte, yeşil alanın bir kişinin zihinsel ve fiziksel sağlığını iyileştirdiği gösterilmiştir [101].

Yeşil Çatıların Getirdiği Olumsuzluklar

Yeşil çatı sistemlerinin birçok olumlu özelliğinin yanında, bir takım zorlukları da bulunmaktadır. Yeşil çatılar düzenli bahçe gibi değildir. Doğal oluşumların aksine, insan eliyle üretilen sistemler olduğundan; tasarım ve fabrikasyon gerektirmektedir. Yeşil çatı erişim sorunları da karşılaşılan sorunlar arasındadır. Bir yeşil çatı zeminden 20 kat yukarıdaysa ve sınırlı ulaşılabilirliği varsa, yetiştirme ortamı ve bitkiler dahil tüm malzemeler alana taşınmalıdır. Asansör kullanılması veya vinç kiralınması, araziye malzemelerin ulaşımı açısından güvenli olacaktır. Bitkilerin belirli koşullarda davranışı, seçimi ve bakım şekillerini etkilemektedir. Doğru bitki seçimi yeşil çatı bitkilendirmesinin en dikkat edilmesi gereken konularından bir tanesidir. Örneğin sulama olmadan ve 20 cm'nin altındaki organik yetiştirme ortamına sahip Kuzey Amerika'daki çatılarda, değişik bitki türlerinin sürdürülmesi olanağı zayıftır. Yeşil

çatı bitkilendirmesinin diğer bir başka dezavantajı ise yüksek kurulum maliyetleridir ve yatırım getirisi uzun sürmektedir [16]. Yeşil çatıların yaygın kullanımı; yüksek kurulum maliyeti, ekstra yapısal yük gereksinimleri ve yüksek açılı çatı eğimlerinin bir kısmına uygulanabilirliğinin düşük olması nedeni ile sınırlıdır [106].

Yeşil çatıların mevcut yapılara entegre edilmesiyle, yapıya ekstra ağırlık getirmesi de olumsuz özelliklerinden biri sayılabilir. Bu nedenle mevcut bir çatıya yeşil çatı uygulaması yapılmadan önce statik hesaplamalar yapılarak, bu hesaplar doğrultusunda yeşil çatının tipi ve uygulama detayları gibi tasarım parametrelerine ilişkin kararlar alınmalıdır. Özellikle bitki ağırlığının ve yetiştirme ortamının fazla olduğu, yüksek su depolama debisine sahip drenaj sistemlerinin kullanıldığı uygulamalarda daha dikkatli olunması şarttır. Aksi takdirde çatı döşemesi, yeşil çatı sisteminin getirdiği yükten zarar görebilmektedir. Kurulum ve bakım maliyetinin değişkenlik göstermesi de yeşil çatıların bir diğer olumsuz özelliği olarak nitelendirilebilir. Yeşil çatı sistemleri genellikle su yalıtım malzemesi ve çatı döşemesini dış etmenlere karşı koruyup ömrünü uzatsa da yeşil çatıların başlangıç maliyeti caydırıcı olabilmektedir. Bu nedenle, yeşil çatı tasarlanırken bitki ve sistem ürünlerinin seçimi, maliyetleri göz önünde bulundurularak yapılmalıdır [53].

İklim koşullarına bağlı olarak, belirli türlerin kullanımını kısıtlanabilir ve sulama sistemi etkilenebilir. Bu sebeple her bir yeşil çatı tasarımında, bulunduğu bölgenin iklim koşulları dikkate alınmalıdır [13]. Tüm bunlara ek olarak yeşil çatılara yönelik olumsuz estetik tepkiler; büyük ölçüde dağınıklık ve yersizlik hissiyle ilişkilendirilmiştir. Jungels ve diğerlerinin araştırması, izleyicilerin ve ziyaretçilerin estetik tepkilerinin önemli olduğu ve yeşil çatılarda potansiyel olarak dağınık bir görünümünden kaçınmaya özen gösterilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. [107]. Sonuç olarak yeşil çatıların avantajlarına kıyasla dezavantajlarının daha küçük ölçekli sorunlar olduğu görülmekle birlikte; bu olumsuzlukların planlı ve verimli çözümlerle azaltılmasının olası olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

2.4 Yeşil Çatı Planlamalarındaki Standart ve Gereklilikler

Dünya nüfusu birkaç yüz milyon iken görmezden gelinebilen iklim değişikliği, nüfus arttıkça görmezden gelinemez kritik bir küresel sorun haline gelmiştir. GRHC verilerine göre, şehirlerin % 75'i geçirimsiz yüzeylerle kaplıdır. Çatıların da önemli bir kısmını oluşturduğu bu yüzeyler, yeşil ve açık arazilerin hızlı bir şekilde kaybolması sebebiyle artmıştır [76].

Birleşmiş Milletler, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yaklaşık üçte birinin şehirlerde yaşayacağını tahmin etmektedir [108]. Bu nedenle, şehirlerin sürdürülebilir

kalkınmasını sağlamak için kentsel alanların inşa edilme ve yönetilme şeklini önemli ölçüde dönüştürmek şarttır. Kentsel ekosistemler, yeşil alan eksikliği nedeniyle kentsel ısı adası etkisi, hava ve su kirliliği ile sık sık sel baskınlarına maruz kalmaktadır [109]. Bu koşullar göz önüne alındığında, yeşil çatılar gibi doğaya dayalı çözümler, kentsel ekosistemler üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle giderek daha fazla popülerlik kazanmaktadır [75].

Sürdürülebilir yapılar; enerji, su ve diğer doğal kaynakları verimli bir şekilde kullanırken güvenli ve verimli bir iç mekan sağlar. Bu yapılar kaynakları ve enerjiyi; çevresel etkileri en aza indirgeyerek kullanmayı amaçlamaktadırlar [110].

Çalışmanın bu bölümünde sürdürülebilirlik ile ilgili Tablo 2.11’de listelenen kurum ve kuruluşların faaliyetleri ve sertifikasyon sistemleri incelenmiştir. İnceleme ulusal ve uluslararası olmak üzere iki başlık altında gerçekleştirilmiştir. Kurumların önerdiği sertifikasyon sistemlerinin yeşil çatılarla doğrudan ya da dolaylı olarak ilgili maddeleri incelenerek, tasarımında dikkat edilmesi gereken kriterler belirlenmiş ve 2.5 bölümünde açıklanmıştır.

Uluslararası Kurumlar ve Sertifikasyon Sistemleri

Dünyadaki enerji tüketiminin büyük bir kısmı inşaat sektöründen kaynaklanmaktadır [111]. Bir yapının çevresinde yarattığı etki, üretiminden yıkımına kadar geçen süreçlerden oluşmaktadır [31]. Bu süreçlerde, verimli olmayan malzeme ve yöntemlerin kullanılması enerji israfına yol açmaktadır. Küresel ısınma, iklim değişikliği ve enerji kaynaklarının tükenmesi gibi sorunlar göz önüne alındığında enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan inşaat sektörünün çevreye verdiği olumsuz etkilerin azaltılması gerekmektedir. Bu durum doğayla uyumlu, çevre dostu, doğal kaynakları verimli kullanabilen yani sürdürülebilir yeşil bina kavramını geliştirmiştir.

Bir yapının sürdürülebilirliği, bağlamına bağlıdır [112]. Bu sebeple her ülkenin sürdürülebilirlik için kendi koşullarına göre oluşturdukları kurumları ve sertifikasyon sistemleri bulunmaktadır. Tablo ??’de bunlardan bazıları ve sertifikasyon sistemleri listelenmiştir.

Tablo ?? incelendiğinde NRCA, ASLA, GRHC ve IGRA’nın sertifikasyon sisteminin bulunmadığı ancak sürdürülebilirliğe yönelik eğitimler ve ödül programları düzenledikleri görülmektedir. Sertifikasyon sistemi bulunan diğer kuruluşlar incelendiğinde sadece FLL’nin doğrudan yeşil çatılara yönelik düzenlemeleri olduğu görülmüştür. Diğer sistemlerde ise su yönetimi, enerji verimliliği, hava kalitesi, ve

Tablo 2.11 Sürdürülebilirlik ile ilgili kurum ve kuruluşlar

YAPISI	YIL	ÜLKE	KURULUŞ
Uluslararası	1886	A.B.D.	NRCA (National Roofing Contractors Association)
Uluslararası	1895	A.B.D.	ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
Uluslararası	1899	A.B.D.	ASLA
Uluslararası	1989	Kanada	British Columbia University
Uluslararası	1990	İngiltere	BRE (Building Research Establishment)
Uluslararası	1996	Fransa	ASSOHQE (Association pour la Haute Qualité Environnementale)
Uluslararası	1998	A.B.D.	USGBC (U.S. Green Building Council)
Uluslararası	1998	Kanada	Green Building Challenge
Uluslararası	1999	A.B.D.	GRHC
Uluslararası	2002	Almanya	FLL (Peyzaj Gelişimi ve Peyzaj İnşaatı Araştırma Kurumu)
Ulusal	2002	Türkiye	ÇATIDER (Çatı Sanayici ve İş Adamları Derneği)
Uluslararası	2003	Japonya	Japan Sustainable Building Consortium (JSBC)
Uluslararası	2003	Avusturalya	GBCA (Green Building Council of Australia)
Uluslararası	2006	Çin	Çin Bilim ve Teknoloji Bakanlığı ve Tsinghua Üniversitesi
Uluslararası	2007	Avusturalya	IGRA (International Green Roof Association)
Uluslararası	2007	Hindistan	MNRE (Ministry of New and Renewable Energy, Government of India)
Ulusal	2007	Türkiye	ÇEDBİK (Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği)
Uluslararası	2009	Almanya	DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)
Ulusal	2018	Türkiye	İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi)
Ulusal	2022	Türkiye	Çevre ve Şehircilik İklim Değişikliği Bakanlığı

malzeme yönetimi gibi dolaylı olarak yeşil çatıları kapsayan maddeler bulunmaktadır. Bu sebeple çalışmanın devamında FLL ile birlikte en yaygın kullanılan LEED ve BREAM incelenmiştir.

FLL

FLL kar amacı gütmeyen bağımsız bir kuruluştur. "Bitki araştırmalarının ve planlanan uygulamalarının ilerletilmesi ve yaygınlaştırılması yoluyla çevresel koşulların iyileştirilmesi" amacıyla 1975 yılında sekiz meslek örgütü tarafından kurulmuştur. FLL yeşil çatı çalışma grubu, uzun bir kılavuz ve çalışma talimatları listesi yayınlamış olan 40 komiteden yalnızca biridir [113]. FLL Yeşil Çatı Kaplama Kılavuzu ilk olarak 1982 yılında "Yeşil Çatı Kaplama İlkeleri" olarak ortaya çıkmış ve 1992 yılından bu yana "Yeşil Çatı Kaplama Planlama, Yapım ve Bakım Kılavuzu - Yeşil Çatı Kaplama Kılavuzu" olarak birçok kez elden geçirilmiştir [114]. Yeşil Çatı Alanlarının Planlanması, Uygulanması ve Bakımı için oluturulan FLL Kılavuzu, yeşil çatı tasarım kılavuzları için bir dönüm noktasıdır. "Yeşil Çatıların Planlanması, Yürütülmesi ve Bakımı için Yönerge" başlıklı İngilizce versiyonu 2002 yılında yayınlanmıştır. Bu kılavuz; yeşil çatıların planlanması, uygulanması ve bakımı için esas belgelerden biridir ve Almanya'da kabul görmüş en son teknolojiye güncel gelişmeleri yansıtmaktadır. Tüm yeşil çatı sorunlarına çözüm getirmese de, sadece Almanya'da değil tüm dünyada güvenilir ve yüksek kaliteli yeşil çatıların inşası için temel bir araçtır [113]. Bunun sebebi ise, Alman yönergelerinin aktarım imkanının tartışmaya açık olması ve farklı iklim koşullarına ve bölgelere uygulanabilirliğidir. FLL Kılavuzu; inşa edilen neredeyse milyonlarca metrekaarelik yeşil çatı uygulamasının deneyimine dayandığı için verimli bir kaynaktır. Ayrıca bu kılavuz; yaygın olarak kabul görmesinin yanında, bazı komşu ülkelerde kendi yönetmeliklerini geliştirmek için temel oluşturmuştur [110].

FLL Kılavuzunun 2008 baskısı ile; 2002 baskısının kanıtlanmış içeriği korunmuş ve en yeni gelişmeler ve bilgilerle genişletilmiştir. Değişen veya revize edilen yönetmeliklere uyum ile birlikte, çeşitli malzemelerin yük taşıma ve su depolama gibi planlama değerleri genişletilmiş ve güncellenmiştir [114]. FLL Kılavuzunun yeşil çatılara dair; bitki örtüsü alt tabakalarının malzeme ve içerikleri, bitkilendirme türleri ve yetiştirme şekilleri gibi gerekliliklerine ek olarak sunduğu çok daha fazla unsur mevcuttur. Saha koşullarının belirlenmesi, bitki örtüsü alanlarının inşası ve malzemelerle ilgili gereklilikleri, tasarım yükleri için referans değerler bölümlerinde yeşil çatı tasarım aşamasında, inşa edilirken ve bakım aşamasında nelere dikkat edilmesi gerektiğine dair birçok cevap bulunabilmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi örneklenebilir;

- İklim ve hava koşullarına bağlı faktörler
- Hangi çatı eğimlerinin uygun olduğu
- Düşmelere karşı koruma
- Malzemelerin birbiri ile uyumu

- Çevresel uyumluluk
- Kök penetrasyonuna karşı koruma
- Rüzgar yüklerinin çatının farklı kısımlarına olan etkisi
- Yeşil çatıların yangın dayanımı
- Birleşim yerleri ve sınırlar
- Malzeme grupları ve tipleri
- Çatıdaki çıkışlarındaki hava veya egzozun yeşil çatıya etkisi
- Tasarım yüklerinin nasıl ayarlanması gerektiği
- Mekanik etkilere karşı koruma yöntemleri

LEED

ABD Yeşil Bina Konseyi (USGBC) tarafından geliştirilen ve bir yeşil bina derecelendirme sistemi olan LEED, binaların ve mahallelerin çevresel açıdan sürdürülebilir tasarımı, inşası ve işletilmesi için bir dizi standart sunmaktadır. LEED'in gerektirdiği ana ve alt başlıklar üzerinde proje ekibi tarafından tamamlanan çalışmalar doğrultusunda elde edilen kredi sayısına bağlı olarak projeler; 40-49 kredi arasında Sertifikalı (Certified), 50-59 kredi arasında Gümüş (Silver), 60-79 kredi arasında Altın (Gold), 80 kredi ve üzerinde Platin (Platinum) olmak üzere dört sertifika çeşidinden birini kazanmaktadır [112]. LEED'in ayırt edici özelliği, LEED komiteleri tarafından önerilen teknik kriterlerin şu anda USGBC'yi oluşturan 10.000'den fazla üye kuruluş tarafından onaylanmak üzere kamuya açık bir şekilde gözden geçirildiği açık ve şeffaf bir süreçle sahip olmasıdır. Bu nedenle Uluslararası alanda en çok tanınan sürdürülebilir bina sertifikasıdır [115].

LEED Yeşil Bina Sertifika Sisteminin değerlendirme kategorileri aşağıdaki gibidir;

- Bütünleşik süreç
- Konum ve ulaşım
- Sürdürülebilir arazi
- Su Verimliliği
- Enerji ve atmosfer

- Malzeme ve kaynak kullanımı
- İç Mekan Çevre Kalitesi
- İnovasyon ve Tasarım Süreci
- Bölgesel Öncelik [116]

Yeşil çatılar, USGBC'nin yeşil bina derecelendirme sisteminin aşağıdaki kategorilerinde LEED kredilerine katkıda bulunabilir:

- Sürdürülebilir Araziler: Yeşil çatı kullanımı bu kriter altında bulunan arazi müdahalesinin azaltılması ve açık alanın korunması maddelerine katkı sağlayabilir. Yeşil çatı uygulamaları kentsel ısı adası etkisini ve karbon ayak izini azaltmaya katkı sağlamaktadır. LEED'e göre yeşil çatılar açık alan olarak sayılmaktadır. Ayrıca yeşil çatılarda yerel bitkilerin kullanılması bu başlık altında yer alan habitatın korunması ve onarılması maddesine katkı sağlamaktadır.
- Su Verimliliği: Yeşil çatılar, yağmur suyu yönetimine katkı sağlayarak su verimliliğini arttırmaktadır. Bu sayede su kullanımının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu sebeple bu kriterde yeşil çatıların kullanımı teşvik edilmektedir. Ancak bitkilendirme katmanının su ihtiyacı göz ardı edilmemelidir. Daha az sulama gerektiren veya hiç sulama gerektirmeyen bitkilerin seçilmesi bu kredinin elde edilmesine yardımcı olabilir.
- Enerji ve Atmosfer: Yeşil çatılar, yapılara doğal ısı yalıtımı sağlayarak enerji performansını arttırmaktadır. Ayrıca üzerlerinde bulunan bitkilendirme katmanı sayesinde yeni habitat oluşturarak atmosferin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır.
- Malzeme ve Kaynak Kullanımı: Yeşil çatı uygulamalarında geri dönüştürülmüş ve yerel malzemelerinin kullanılması bu kritere katkıda bulunabilir.
- İnovasyon ve Tasarım Süreci: Yeşil çatılar, klasik çatılara göre yenilikçi kabul edildikleri için bu kritere de katkı sağlamaktadır.

Yapılarda yeşil çatı kullanımı LEED standartlarını sağlamaya yardımcı olmaktadır. Ancak bu standartlar sağlanmaya çalışırken LEED'in son ürüne odaklandığı unutulmamalıdır. Örneğin, deri gibi organik malzemelerin kullanımı LEED'e göre olumlu sayılmaktadır. Ancak bu malzemelerin üretim sürecinde çevreye verdikleri zararlar göz ardı edilmektedir. Üretim sürecinde zararlı kimyasallar kullanmayan ve daha sürdürülebilir üretime odaklanan diğer ürünler, çevresel kaygılara dikkat ettikleri

için herhangi bir ek puan kazandırmamaktadır. Bu sebeple LEED'in bir tasarım aracı değil, ölçüm aracı olarak kabul edilmelidir. Ayrıca LEED henüz iklime özgü bir sistem değildir, ancak en yeni sürümünde eklenen bölgesel öncelik bölümüyle bu zayıflığı kısmen giderilmeye çalışılmıştır [117]..

BREEAM

BREEAM; İngiltere'de 1990 yılında BRE tarafından geliştirilmiş olup, Dünyadaki ilk yeşil bina değerlendirme sistemidir. İngiltere tabanlı olan bu sistemin diğer ülkelere de verimli bir şekilde adapte edilebilmesi için tasarımcının, yapı tasarım aşamasındayken BREEAM sertifika yetkilisiyle beraber çalışma zorunluluğu şart koşulmuştur [118]. BREEAM değerlendirmesi, bir binanın özelliklerini, tasarımını, yapımını ve kullanımını değerlendirmek için belirlenmiş ölçütlere göre ayarlanmış, tanınmış performans ölçütlerini kullanır. Kullanılan ölçütler, enerjiden ekolojiye kadar geniş bir kategori ve kriter yelpazesini temsil etmektedir. Her kategori, azaltılmış karbon emisyonları, düşük etkili tasarım, iklim değişikliğine uyum, ekolojik değer ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi en etkili faktörlere odaklanır [119]. Bu sertifikasyon sisteminin; BREEAM New construction (Yeni İnşaat), BREEAM Refurbishment and fit out (Yenileme ve Donatım), BREEAM In-use (Kullanımdakiler), BREEAM Communities (Topluluklar) olmak üzere dört tipi bulunmaktadır. BREEAM Uluslararası Yeni İnşaat Versiyon 6 programı, yeni binalar için performans dayalı bir değerlendirme yöntemi ve sertifikasyon değerlendirmesidir. Bu değerlendirmenin temel amacı yeni binaların çevre üzerindeki yaşam döngüsü etkilerini etkin ve uygun maliyetli bir şekilde azaltmaktır. BREEAM Uluslararası Yeni İnşaat Versiyon 6'daki değerlendirme kategorileri aşağıdaki şekildedir;

- Yönetim
- Sağlık ve esenlik
- Enerji
- Nakliye
- Su
- Malzemeler
- Atık
- Arazi kullanımı ve ekoloji
- Kirlilik

- İnovasyon

[120]

Uluslararası Yeni İnşaat programı kapsamında, yeni bir binanın performansını derecelendirmek için kullanılabilecek bir dizi değerlendirme türü tanımlanmıştır. Bunlar konut fonksiyonuna sahip yapılar için; tam donanımlı ve kısmen uygun, diğer yapılar için ise; tam donanımlı, kabuk ve çekirdek, sadece kabuk olmak üzere sınıflandırılmaktadır [120].

Yeşil çatılar, BREEAM sertifikasyon sistemi kredilerine aşağıdaki kategorilerde katkıda bulunabilir:

- Sağlık ve esenlik: Yeşil çatıların kent sakinlerine esenlik duygusu sağlayarak yaşam kalitesini arttırmakta faydalı olduğu kanıtlanmıştır.
- Enerji: Yeşil çatıların yapıya doğal ısı yalıtımı sağlayabilmesinin yanı sıra, güneş enerjisi ekipmanlarının verimini artırarak yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimine katkıda bulunmaktadır.
- Malzeme ve Atık: Yeşil çatı bileşenleri; inşaat sonrası arta kalan malzemeler gibi tüketici olmayan kaynaklardan elde edilen malzemelerden oluşturulabilmektedir. Bu sayede sistemi oluşturan unsurların geri dönüştürülmüş içeriğini ve geri dönüştürülebilirliğini gösteren sertifikalara sahip malzemelerin kullanılması ile yeşil çatılar, hem malzeme hem de atık kategorisine katkıda bulunabilir.
- Su Verimliliği: Yeşil çatıların yağmur suyu yönetimine katkı sağlayarak; depolanan suyun yapı içinde gri su olarak veya sulama amacıyla kullanılması, su verimliliğini arttırmaktadır.
- Arazi Kullanımı ve Ekoloji: Yeşil çatılar; yeni ve çeşitli ekolojik habitat oluşturup, biyoçeşitliliği arttırmaktadır. Bu sayede yapının inşaatının ayak izi üzerindeki etkisini azaltabilmektedir.

BREEAM standardı tarafından benimsenen çeşitli maliyet azaltma unsurları ekonomik görünümü iyileştirmiş ve inşaat sektöründe sürdürülebilirliğe katkıda bulunan bir unsur olarak benimsenmesini teşvik etmiştir. Çevresel, sosyal ve teknik stratejileri içeren bu sertifikasyon sistemi; binaların değerini yükselten, talep ve tercih yaratan bir mekanizmaya dönüşmüştür [119].

Tablo 2.12 Ulusal kurumlar ve sertifikasyon sistemleri

KURULUŞ	SERTİFİKA	YEŞİL ÇATI	HİZMET/ÇALIŞMA
ÇATIDER (Çatı Sanayici ve İş Adamları Derneği)	-	-	*Ulusal çatı ve cephe konferansları *Çatı kaplama malzemeleri uygulama detayları kılavuzu *Ücretsiz e-öğrenme sitesi (Yapı Okulu)
ÇEDBİK (Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği)	B.E.S.T. (Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım Sertifikası) - Konut Sertifikası	Dolaylı *Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi *Su verimliliği *Enerji verimliliği *Sağlık ve konfor *Malzeme ve kaynak kullanımı *Konutta yaşam	-
İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi)	İstanbul İmar Yönetmeliği	Doğrudan * Yeni yapılacak yapılarda yeşil çatılara dair düzenlemeler getirilmiştir.	-
Çevre ve Şehircilik İklim Değişikliği Bakanlığı	Ulusal Yeşil Sertifika Sistemi (YeS-TR)	Dolaylı *Bütünleşik bina tasarım, yapım ve yönetimi *İç mekan çevre kalitesi *Yapı malzemesi ve yaşam döngüsü *Enerji kullanımı ve verimliliği *Su ve atık yönetimi	-

Ulusal Kurumlar ve Sertifikasyon Sistemleri

Bu çalışma kapsamında sürdürülebilirliğe yönelik Türkiye’de dört adet kurum belirlenmiştir. Tablo 2.12’de listelenen bu kurumların üçünde sürdürülebilirliğe yönelik standart ve sertifikasyon sistemi bulunmaktadır.

ÇATIDER (Çatı Sanayici ve İş Adamları Derneği) 10.07.2002’de İstanbul’da kurulan bir sivil toplum örgütüdür. Kurumun temel amacı; çatı konusunda kamuoyunu ve sektörü bilinçlendirmektir. Buna yönelik olarak çatı malzemeleri üreticileri, distribütörleri ve uygulamacı firmalar için ulusal çatı ve cephe konferansları düzenlemektedir. Ayrıca çatı kaplama malzemeleri için uygulama detayları kılavuzu ve ücretsiz çevrimiçi eğitim sitesi bulunmaktadır. Ancak kurumun çatı kaplama malzemeleri ve uygulama detayları uygulama kılavuzunda [121] doğrudan yeşil çatılar ile ilgili herhangi içerik bulunmamaktadır.

ÇEDBİK (Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği), yapı sektörünün sürdürülebilir ilkeler ışığında gelişmesine katkı sağlamak amacıyla 2007 yılında kurulmuştur [122]. Dernek, enerji ve çevre duyarlılığının ve eko-malzeme kullanımına yönelik duyarlılığı arttırmak için çalışmaktadır. Aynı zamanda ulusal bir yeşil bina sertifika sistemi geliştirerek bu sistemin yasal mevzuata geçirilmesi hedefiyle 2013 yılında B.E.S.T. (Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım) sertifikasyon sistemini oluşturmuştur. Konutlara yönelik geliştirilen bu sistemde projeler 9 farklı kategori üzerinden değerlendirilerek onaylı, iyi, çok iyi ve mükemmel olmak üzere dört farklı dereceden biri ile sertifikalandırılmaktadır. Ancak bu değerlendirme kriterleri içerisinde doğrudan yeşil çatılar ile ilgili bir madde bulunmamaktadır.

Çevre ve Şehircilik İklim Değişikliği Bakanlığı’nın sürdürülebilirliğe yönelik 2022 yılında yürürlüğe giren YeS-TR (Ulusal Yeşil Sertifika Sistemi) sertifikasyon sistemi bulunmaktadır [123]. E-devlet ile entegre çalışan bu sistem ile binalar sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirilerek belgelendirilmektedir. Bütünleşik bina tasarımı, iç mekan çevre kalitesi, yapı malzemesi ve yaşam döngüsü, enerji kullanımı ve verimliliği, su ve atık yönetimi gibi dolaylı olarak yeşil çatılarla ilişkili kriterleri bulunan sistemin doğrudan yeşil çatılar ile ilişkili bir maddesi bulunmamaktadır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul İmar Yönetmeliği’ne 2018 yılında doğrudan yeşil çatılarla ilgili maddeler eklenmiştir [124]. Bu maddelere göre kamu binaları da dâhil olmak üzere yeni yapılacak, toplam inşaat alanı 60.000 m² üzerindeki binalarda yeşil çatı uygulaması zorunlu hale getirilmiştir. Toplam inşaat alanı 30.000 m² üzerindeki binalarda ise; teras çatı yapılması durumunda yeşil çatı uygulaması zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca binalarda ortak alan olarak düzenlenen yeşil çatılarda toprak kalınlığı minimum 50 cm olarak belirlenmiş olup, parapet yüksekliğine toprak dolgu

ilave edilmemelidir. Bunlara ek olarak; binanın taşıyıcı sistemi çözülürken toprak yükü de hesaplamalara dahil edilerek, çatıda su ve ısı yalıtımı yapılmalıdır.

2.5 Yeşil Çatı Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Kriterler

Yeşil çatı yapım süreçleri, günümüzdeki teknolojik imkanların sunduğu olanaklar sayesinde kısalmıştır. Ülkemizde de yeşil çatıların önem ve gerekliliğinin anlaşılması üzerine; firmalar malzeme çeşitliliğini arttırarak, bileşenler konusunda uzmanlaşmıştır. Bu sayede tasarım çeşitliliği ve uygulama farklılıkları oluşmuştur. Fakat yeşil çatı sistemlerinin uygulama çeşitliliği göz önüne alındığında, yapım süreci öncesinde dikkat edilmesi gereken temel konular bulunmaktadır. Bu bölümde; tasarım süreci, arazi ve yapı ile ilgili dikkate alınması gereken kriterler, yeşil çatıların kurulum ve bakımına yönelik bilgiler ele alınmaktadır. Binanın tasarım aşamasında, yeşil çatı yüzeyinin kullanım amacına ve dolayısıyla yeşil çatının tipine karar verilmelidir. Çünkü tasarım aşamasında; yapının bulunduğu iklim koşulları, binanın fonksiyonu, çatı alanı vb. özellikler tasarımcıyı yönlendirerek, tasarım kararlarını netleştirecektir. Yeşil çatılar yaygın olarak %2 eğime sahip yalıtılmış düz çatılara uygulanmaktadır. Su yalıtımı ve ısı yalıtım katmanlarının konumu, düz çatıların performans ve ömrünü etkileyen çeşitli değişkenlerden sadece biridir.

Yeşil çatılar inşa edilirken, çatının taşıyabileceği yük belirlendikten sonra metrekare başına düşen ağırlık dikkate alınmalıdır. Bu hesaplamalara yağmur ve kar yağışının ağırlığı, bitki toprağının kuru ve suya doymuş halinin ağırlığı ve eğer insan kullanımına açık olacaksa insan yoğunluğu da dahil edilmelidir. Yeni yapı tasarımlarında yeşil çatı öngörülen yükü çatı tarafından karşılanabilecek şekilde tasarlanırken, eski yapılarda taşıyıcı bileşenler güçlendirilerek metrekare başına düşen yük miktarı arttırılabilir [125]. Yeşil çatılarda bitki seçimine yönelik tercihler ise; bakım gereksinimleri, yerel iklim, ortam koşulları, rüzgar ve sıcaklık gibi parametreler dikkate alınarak yapılmalıdır [126].

Planlama, Değerlendirme ve Ön Tasarım

Bir projeye başlarken, fizibilite çalışması genellikle ilk sırada yer alır. Projenin finansal, estetik, çevresel, inşaat ve lojistik hedefleri seçilmelidir. Bir yeşil çatı sisteminin ekonomik fizibilitesi genellikle sınırlayıcı bir kısıtlamadır. Bu sebeple tasarım sürecinin başlarında bütçe kısıtlamaları göz önünde bulundurulmalıdır [38]. Fizibilite ve ön tasarım aşamasında; çevresel etki analizleri, kurumlar tarafından yapılan analiz ve raporlar, rüzgar, güneş, bitki örtüsünü içeren saha analizleri ile jeolojik incelemelerin yapılması gerekmektedir. Planlama sürekli bir süreçtir, dolayısıyla her seviyede değişir.

Planlamanın temel amacı, bir projenin ihtiyaçlarını ve gerekli tasarım bileşenlerini belirlemektir. Malzeme türleri ve beklenen yağmur suyu miktarı da bu adımda belirlenir. Her projenin programatik özellikleri farklılık gösterecektir.

Programatik gereklilikler araştırılırken aşağıdaki sorulara cevap aranması gereklidir:

- Yapı sahibi yeşil çatıyı yağmur suyu yönetimi ve estetik değer sağlamak için mi kullanacak?
- Yapı sahibi kullanılabilir bir açık alan yaratacak mı?
- Alan kimlerin kullanımına açık olacak ve erişim nasıl sağlanacak?
- Yapı sahibi yeşil çatı için nasıl bir bakım stratejisine sahip?
- Yeşil çatı ne gibi avantajlar sunacak ve bakım maliyeti ne kadar olacak?
- Bakım için hangi erişilebilirlik standartları gereklidir?

Konsept tasarım sürecinde, her detayın net olarak tanımlanmış olması gerekmektedir. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir.

- Vaziyet planı, yapı plan ve kesitleri
- Bina ve çatı kesitleri de dahil olmak üzere konsept detayları
- Strüktürel analiz
- Elektrik ve mekanik sistemlerin analizi
- İnşaat mühendis raporu
- Yağmursuyu yönetimi için gereklilikler
- Mülkiyet, imar, izin, yönetmelikler ve kısıtlamalar dahil olmak üzere yasal gereklilikler [38]

Potansiyel inşaat harcamaları için maliyet büyüklüğü tahmini ve maliyet-fayda analizi konuları ekonomik etki analizinde dikkatle değerlendirilmelidir. Yeşil çatı sisteminin tasarımcısı, tüm bu faktörleri göz önünde bulundurarak, bütüncül bir yaklaşım ile konsept tasarımındaki sınırlarını ortaya koyabilecektir.

Eğim, malzeme, bitki türü ve boyutu, derinlik, sistemdeki katmanlar, kullanılan bitki sayısı, kurulum ve bakım maliyetleri, bitkilerin ömrü ve çatının kendisi gibi sahaya

özgü faktörlerin tümü yeşil çatı fiyatını etkileyecektir [16]. Ön tasarım; bir projenin hem çevresel etkileri hem de arazi koşullarını içermektedir. Yeşil çatılar, çok katmanlı tasarıma sahip olduklarından, birçok farklı disiplinin işbirliğini gerektirmektedir. Koordinasyon eksikliği, yeşil çatı uygulamalarında en sık karşılaşılan sorunlardan biridir. Bu sebeple bir yeşil çatı tasarımına başlarken öncelikli adımlardan biri tasarım ekibini oluşturmak olmalıdır. Genellikle mimar, peyzaj mimarı veya bu alanda uzmanlaşmış yeşil çatı tasarımcısının yanı sıra, inşaat mühendisi, makine mühendisi, elektrik mühendisini tasarım ekibini oluşturur.

Bir yeşil çatının başarılı olması için, ilgili tüm tarafların birlikte çalışması ve başarısızlık riskinden kaçınmak için ne elde edileceğini tam olarak anlaması çok önemlidir. Değinilmesi gereken noktalar şunlar olmalıdır: Yeşil çatı neden gereklidir ve ondan nasıl bir performans beklenmektedir? Alan elverişli mi? Projenin gerçekleştirilmesinde kimler yer almalı? Nasıl bakım yapılacaktır? Öncelikle bir yeşil çatının gerekli olmasının birçok nedeni olabilir. Bir planlama kısıtlamasını karşılamak için olabilir, bu durumda ekonomik seçenekler dikkate alınacaktır; tasarımın yağmur suyunu hafifleterek sel etkisini azaltmak, biyolojik çeşitlilik çözümü için belirli bir yaban hayatı türünü desteklemek, halka açık erişim ile rekreasyon alanı sağlamak, ek enerji tasarrufu sağlamak - fotovoltaiik üniteler yeşil bir çatıda kullanıldığında % 10'a kadar daha verimlidir; veya binanın etrafındaki çevrede maskelenmesi gibi estetik nedenlerle olması gereken estetik nedenlerle. Alanın elverişli olup olmadığı ile ilgili. Bir yeşil çatı planlarken dikkat edilmesi gereken ve başarısını etkileyecek konum, yapı ve bitki örtüsü faktörleri gibi temel hususlar mevcuttur. Konum faktörleri; bölgesel ve yerel iklim, yağış miktarı, güneş ışığı miktarı, rüzgarın şiddeti ve don maruziyetidir. Yapı faktörleri; çatının yük kapasitesi, çatı eğimi, bitişik yapılardan gelen gölgeleme ve yağmur gölgesi ve yeşil çatıların kurulumu ve bakımı için güvenli erişimdir. Bitki örtüsü faktörleri ise; bitkilerin ihtiyaç duyduğu alt tabaka derinliği, bitkilerin kuraklığa ve gölgeye toleransı ve diğer habitat oluşturma ile çevresel konulardır. Projenin gerçekleştirilmesinde kimlerin yer alması gerektiği konusunda birden çok paydaş mevcuttur. Planlamacı, seçilen çatının bulunduğu yerde uygulanabilir olup olmadığını belirlemeli ve planlama kısıtlamalarında biyoçeşitlilik çatısı için hedeflenecek yaban hayatını açıkça belirtmelidir. Mimar ve peyzaj mimarının ana hedefi, binanın yapısının riske atılmamasını sağlamak için peyzaj türünü ve destek sistemini belirlemektir. Bazı projelerde, BREEAM veya Biyoçeşitlilik Eylem Planı gerekliliklerinin karşılanması gibi konularda tavsiyede bulunması için bir çevre bilimcinin hizmetlerine başvurmak da uygun olabilir. Tüm yeşil çatılar için dikkate alınması gereken faktörlerin en önemlilerinden biri; sağlam ve yüksek kalitede olması gereken su yalıtımıdır. Peyzaj kurulmadan önce çatı sızdırmazlık testinden geçirilmelidir. Drenaj her zaman yoğun yağışlarla başa çıkabilecek kapasitede olmalı ve alt tabakanın sürüklenmesini

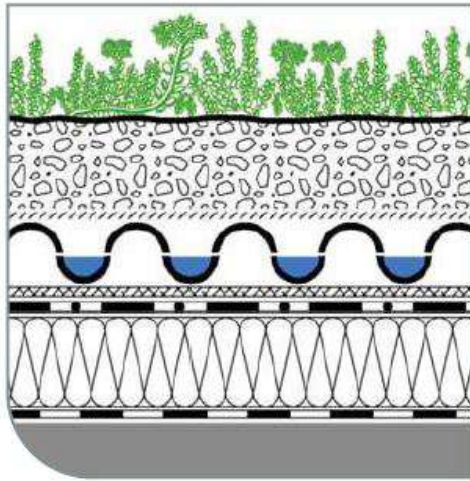
önlemek için bir filtre tabakası içermelidir. Yetiştirme ortamı alanın gerekliliklerine uyacak şekilde değişecektir ve biyoçeşitlilik sistemleri için bitki örtüsü ile habitat malzemeleri oluşturulan habitatlara uyacak şekilde seçilecektir. Çatı alanına güvenli bir şekilde nasıl erişilebileceği ve bakımının nasıl yapılabilmesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu olmadan çatının başarılı olması pek mümkün değildir. Önerilen peyzaj, konum veya iklimden bağımsız olarak yeşil çatı tasarımında geçerli olan temel prensipler vardır. Belirlenen çözüm, yapı içinde doğayla eşleşmeli ve bitki örtüsünü destekleyebilmelidir. İlk adım ihtiyaç duyulan veya istenen peyzaj türü olarak; yoğun, seyrek veya biyoçeşitlilik çatısı olması kararının alınmasıdır. Seçilen peyzaj ne olursa olsun, bitki örtüsünün devamlılığını sağlamak için besinler, nem ve drenaj arasında bir denge ve kök sistemleri için havalandırma gibi bazı temel gereksinimleri sağlamak olacaktır. Bir sonraki adım ise yeşil çatının; bitki örtüsünün ihtiyaçlarını, bitki örtüsü katmanını belirlendikten sonra yapısal ve tasarımsal hususlar ve yeşil çatı bileşenleri kararı, yeşil çatı sisteminin yüksekliği, yeşil çatının maksimum doymuş yükü, yeşil çatının eğimli bir çatı üzerinde uygulayacağı kuvvet, bakım için güvenli erişim gibi unsurları karşılayacak şekilde planlanması gereklidir.

Fonksiyon ve Konum

Yeşil çatı tasarlanmadan önce yeşil çatının ana işlevine karar verilmelidir. Bina'nın strüktürü ve bütçe faktörleri, tasarım seçimlerine rehberlik edecektir. Yoğun bir yeşil çatı mı yoksa seyrek bir yeşil çatı mı yapılacağına kararının verilmesini sağlayacaktır. Çatı çevresel amaçlarla mı yoksa daha estetik amaçlar için mi yapılmakta? Çatı yepyeni bir yapı üzerinde mi konumlanacak, yoksa var olan yapı üzerine mi uyarlanacak? Konut sakinleri çatıyı kullanabilecek mi? Bu seçimler yapıldıktan sonra diğer faktörlerin de dikkate alınması ile, yeşil çatı projesi için tasarım kurgusu oluşacaktır [127]. Bu faktörlere ek olarak; çatının eğim derecesi, taşıyıcı elemanlarının malzemesi, tabaka sayıları, ısı yalıtımının konumu gibi genel çatı sınıflandırmasını etkileyen özelliklerin belirlenmesi de yeşil çatının sistem tasarımını etkilemektedir. Fakat bu çift yönlü bir etkileşimdir, yeşil çatının parametreleri de genel çatı tiplerini etkileyen unsurlara etki etmektedir. Örneğin; genel çatı tipi parametresi olan soğuk veya sıcak çatı olma durumunun belirlenmesi hem yeşil çatı tipine hem de çatının fonksiyonuna etki etmektedir.

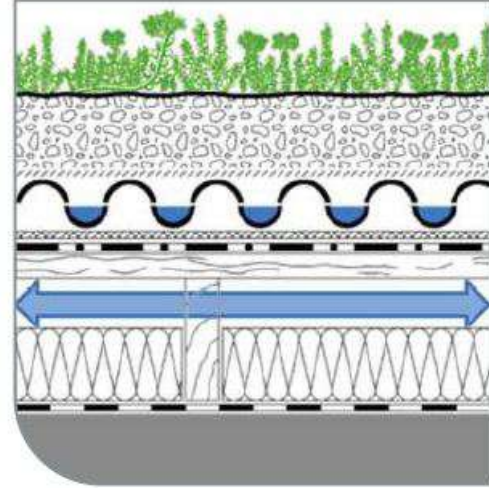
soğuk çatı diğer adıyla çift kabuklu havalandırılan çatılar; ısı yalıtımının üzerinde havalandırma boşluğunun bulunduğu, su yalıtımının ise bu boşluğun üzerinde yer alan ikinci çatı düzleminin üzerine uygulandığı çatı tipidir. Bu tip çatılarda, iç hacimden gelen su buharı hava boşluğu sayesinde dış ortama çıkabilmektedir. Geleneksel sistemli sıcak çatı diğer adıyla tek kabuklu havalandırmasız çatılar ise;

bu havalandırma boşluğunun bulunmadığı çatı tipleridir. Bu tip çatılarda doğal havalandırma olmadığı için, ısı yalıtımının altında oluşabilecek yoğuşmaları önleyecek buhar kesici bulunması gerekmektedir. Ayrıca bu tip çatılarda, su buharının iç hacimden dış havaya atılabilmesi için özel malzeme ve detay uygulanmalarına ihtiyaç duyulmaktadır [128].



Tek Kabuklu, Havalandırmasız Çatılar

(a) Geleneksel sıcak çatı sistemi



Çift Kabuklu Havalandırılan Çatılar

(b) Soğuk çatı sistemi

Şekil 2.11 Yalıtım konumuna göre çatı sistemleri
[128]

Erişilebilirlik, yapısal sağlamlık ve kamusal görünürlük gibi faktörler yer seçimi yapılırken dikkate alınabilir. Tasarım yaklaşımının belirlenmesi, yeşil çatının konumundan büyük ölçüde etkilenir. Yapının konumu, çevre binalar, yönelim, rüzgar, güneş ve gölge gibi hususlar açısından önemlidir. Yapının fonksiyonu ve yeşil çatının yeni bir yapı üzerinde mi yoksa mevcut bir yapı üzerinde mi konumlanacağı ayrımının yapılması gerekmektedir. Genellikle yeşil çatının yeni bir binaya konumlandırılması, mevcut bir binanın çatısına konumlandırılmasına göre daha az maliyetli olmaktadır [16]. İyi tasarlanmış bir sistemde, her bir bileşenin oynadığı rol iyi tanımlanmıştır ve yeşil çatıdan en iyi sonuçları almak için her bir bileşenin optimum seçimi konuma bağlıdır. Söz konusu bileşenlerden herhangi birinde yapılacak bir değişiklik, sistemin verimliliğini değiştirebilir. Tasarım aşamasında, yeşil çatının kurulduğu bölgedeki malzemelerin özellikleri ve bulunabilirliği göz önünde bulundurulmalıdır; aynı konfigürasyonun farklı iklim koşullarıyla karakterize edilen yerlerde tekrarlanması, yeşil çatının olumlu etkilerini ortadan kaldırabilir. Örneğin uygun bir drenaj katmanının seçimi; inşaat ihtiyaçlarına, yapısal gereksinimlere, maliyetlere, yeşil çatı boyutuna, çatı eğimine, deşarjların miktarına ve akışına ve bitki türlerine göre değişmektedir. Fakat büyük ölçüde sahanın yağış özelliklerini

içeren konum bilgisine bağlı olarak belirlenmektedir. Sıcak/soğuk hava emisyonları ve havadaki kimyasal bileşenler göz önünde bulundurulması gerektiğinden; konum, bitki türlerinin seçimini optimize etmede önemlidir. Ayrıca, gölgeli alanlar, çevredeki binalar nedeniyle, güneş radyasyonunu ve dolayısıyla yeşil çatıdaki ışık akısını ve sıcaklıkları değiştirir [129].

İklim

Bölgesel iklimlere ilişkin veriler, yeşil çatılar için seçilen bitki türleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bahçecilik sektörü, bölgesel sınıflandırmaları kullanarak bitkileri bölgelere göre sınıflandırır. Hangi bitki türlerinin sıcaklığa ve kuraklığa dayanabileceğini bulmak için, birçok bahçecilik firması bitkileri için yaz ayları tolerans bölgeleri oluşturmuştur. Sıcak hava kuraklığın yeşil çatılar üzerindeki etkilerini daha da kötüleştirmektedir. Düşük sıcaklıklarda bitkiler yağmursuz uzun sürelerle dayanabilir [29]. Yeşil çatı sistemlerinde iklimsel veriler doğrultusunda bitki seçimi konusundaki kaynaklar ve danışmanlıklar gün geçtikçe çeşitlenmektedir.

Bitkilendirilmiş çatı 56Fakat çatıyı etkileyen en önemli iklimsel etmenlerden biri güneş ışınlarıdır [30]. Güneşin kızılötesi ısısı çatı yüzeyinin sıcaklığını yükseltir, ancak UV ısısı organik malzemenin niteliklerini bozar. Bir çatıyı etkileyen en önemli meteorolojik faktörlerden biri güneş radyasyonudur, bu nedenle yüzey sıcaklığındaki artışı durdurmak, kızılötesi ve ultraviyole radyasyonun çatıyı doğrudan etkilemesini önlemek ve sistemdeki organik malzemelerin ömrünü uzatmak kritik öneme sahiptir. Güneş radyasyonu etkilerinin azaltılmaması durumunda yüzey sıcaklıkları yükselir. Dış ortam sıcaklıkları iç ortam sıcaklıklarını aştığında, iç mekana doğru ısı akışı meydana gelir ve sistemi oluşturan malzemelerin genleşme katsayılarına bağlı olarak yorulmaya bağlı malzeme bozulmaları oluşur. Ayrıca yüzey sıcaklıklarındaki artış, kentsel ısı adası etkisinin oluşumuna katkısı en fazla olan etkidir. Bitki ve bitki yetiştirme katmanı, yeşil çatı sistemlerinde bu etkileri azaltmak için kullanılan katmanlardır. Yeşil çatı sistemlerinde bitki katmanının birincil işlevi, güneşin kızılötesi ısının çatı yüzeyinin sıcaklığını yükseltmesini azaltmak ya da durdurmaktır. Bitki yetiştirme katmanında ve bitkinin yapraklarında tutulan su molekülleri evapotranspirasyon yoluyla buharlaşır. Sonuç olarak, çatı yüzeyini etkileyen ısı miktarı azalır ve dolayısıyla içerideki konfor seviyeleri artar. Bitki yapraklarının ve alt tabakanın nemli tutulması, evapotranspirasyona ek olarak, yüzey sıcaklığının yükselmesini engellemeye yardımcı olur [130]. Yeşil çatıları etkileyen diğer bir önemli iklimsel etmen de; yağış oranı ve dağılımıdır. Bu etmen direk olarak yüzey akışını etkilemektedir. Bu durum; yetiştirme ortamının kalınlığı, yağışı karakterize eden değişkenlerin ortalama değerleri (derinlik, süre ve olay

arası zaman), evapotranspirasyon oranı, tamamlanmış alan kapasitesi koşulundaki su içeriği ve zincirleme önceki yağış olaylarının sayısı ile ilişkilendirilebilmektedir. Evapotranspirasyon oranı ve zincirleme yağış olaylarının sayısı, akış olasılığını etkileyen iki ana parametredir. Akış, evapotranspirasyon oranı azaldıkça ve zincirleme olayların sayısı arttıkça artar. Ayrıca, yalnızca zincirleme yağış olaylarının sayısı sınırlıysa, akış olasılığı yetiştirme katman derinliğinin artırılmasıyla etkili bir şekilde azaltılabilir. Fakat, yıl boyunca iklim koşullarının yüksek değişkenliği ile karakterize edilen iklim bölgeleri için yapılması planlanan akış analizlerinin aylık ölçekte yapılması gereklidir [77].

Yapısal Yük ve Rüzgar

Canlı olan yeşil çatıların ve yapı üzerindeki peyzajın yapısal hususlarını anlamak için yapısal sistemler ve yapısal bileşenler hakkında bazı temel bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. Çoğu zaman ilk kaygı unsuru toprak ağırlığı üzerinde yoğunlaşır. Yeni inşaatlarda, standart zemin kaplamasının ve çatı çerçevesinin yapısal olarak yükseltilmesi genellikle gerekli değildir çünkü profilin ilave ağırlığı, geleneksel bir çatı sisteminin su yalıtım membranını korumak ve muhafaza etmek için balast olarak uygulanan taş veya bitirme elemanlarının ağırlığı ile yaklaşık aynıdır. Balastın gerekli olmadığı durumlarda bile, çatı tabliyesinde ve çerçevede sadece küçük yapısal iyileştirmeler gerekebilir (yani, daha ağır bir metal çatı tabliyesi gerekebilir ve çelik çatı kirişleri yeşil çatı sistemi yüklerini desteklemek için biraz daha ağırlaşabilir). Bu nedenle, yaşayan bir yeşil çatı, balast yerine yeşil çatı kullanıldığında çatı tabliyesine veya çerçevesine hiçbir yapısal etki olmadan ve balast gerekmediğinde küçük yapısal etkilerle kullanılabilir. Şu anda yaşayan bir yeşil çatının malzeme ve kurulum maliyeti balasttan daha fazla olsa da, genellikle artan yapısal destek sağlamak için çok az ek maliyet vardır veya hiç yoktur. İnce profilli bir yaşayan yeşil çatı, daha fazla görsel güzellik ve çevresel kalite sağlamak için çok uygun maliyetli bir yol haline gelir. Güçlendirme durumlarında ise mevcut binaların duruma göre değerlendirilmesi esastır. Yeşil çatı sistemleri tasarlanırken kullanılan yapısal sistemin seçimini birçok husus etkiler:

- Projenin programatik ve tasarım gereksinimleri
- Ana kayaya olan derinlik veya hidrostatik koşullar gibi jeoteknik hususlar
- Toprak taşıma kapasitesi
- Malzeme seçimi

- Toprak, bitki örtüsü, su, asfaltlama, çeşmeler, duvarlar veya merdivenler gibi diğer saha unsurlarının ağırlıkları
- Maliyetler

Kısıtlamaları, fırsatları ve ilgili proje maliyetlerini öngörmeye yardımcı olmak için; önerilen yüklerin erken analizi ve önerilen yapısal sistemlerin test edilmesi, koordineli bir tasarım ekibi çalışmasının parçası olmalıdır. Kavramsal ve şematik tasarım aşamalarında peyzaj mimarı, mimari programın gereklilikleriyle ilişkili olarak peyzaj mimarlığı programının gerekliliklerini belirlemek için mimar ve inşaat mühendisiyle birlikte çalışmalıdır. Bu sebeple inşaat mühendisi, peyzaj ve bina programlarını desteklemek üzere yükleme diyagramları ve yapısal sistemler geliştirmeye başlayacaktır. Mevcut bir çatıya uygulanacağına ise, çatının yapısal değerlendirmesini yapmak için binanın mevcut tasarımları ve planları incelenmelidir. Eski yapılarda planlara erişim olmadığı durumlarda ise mühendisin, çatının yapısal analizini yapması gerekecektir. Çatı yapısının sağlamlığı ve yeşil çatının bütünlüğü çok önemlidir [38]. Yeşil çatılarda; su yalıtımı veya drenaj gibi tek malzemeye yoğunlaşan firmalar olduğu gibi, bütüne odaklanarak sisteme ait her bir parçayı üreten firmalar da mevcuttur. Fakat temel bileşenleri farklı firmalardan alarak bir sistem kurmak da mümkündür. Bu durumda çatının kullanımı ve amacı çok önemlidir. Bu sistemler tasarlanırken genellikle dikim türleri dikkate alınır. Bir diğer önemli faktör de çatının ne sıklıkla kullanıldığıdır. Yeşil çatı sistemlerinin içeriğindeki malzemeler çeşitli yüklere, su, bitki kökleri ve hava gibi çevresel faktörlere karşı savunmasızdır. Etki altındayken belirli bir süre boyunca zarar görmeden kalmaları ve görevlerini yerine getirebilmeleri gerekir. Özellikle su yalıtımı çok önemlidir. Su yalıtım katmanının zarar görerek sızıntı yapması halinde binanın yapısal elemanları da zarar görecektir. Su sızıntısı, betonda korozyona ve çatlaklara sebep olacaktır. Yüksek sıcaklıklarda oluşabilecek negatif basınç kuvvetleri nedeniyle sistemin stabilitesine duyulan ihtiyaç artar. Rüzgar koşulları, yeşil çatı sisteminin ağırlığı ile dengelenir. Rüzgar, özellikle bitki kurulumu erken aşamalaradaysa, açık alanlarda erozyon sorunlarına da yol açabilir. Binanın yapısal tasarımı, yeşil çatıdan ve iklimin etkilerinden, özellikle de yüksek rüzgara karşı performanstan kaynaklanan talepleri karşılamak için uygun su yalıtım sisteminin belirlenmesini de kapsamalıdır [131]. Yüksek rakımlarda genellikle daha güçlü rüzgarlar vardır. Binanın konumu, rüzgara maruz kalması ve yerel rüzgar hızı, çatıdaki rüzgar yüklerini etkiler. Bitkilerin seçimi ve konumlandırılması da çatıdaki rüzgar modellerinden etkilenir. Çatının kenarında daha fazla rüzgar olduğu için, rüzgarı yakalayan uzun boylu dik bitkiler kenardan uzakta yerleştirilmelidir [29].

Su Yalıtımı ve Drenaj

Yeşil çatılarla ilgili en önemli sorunlardan biri su yalıtımıdır. Uygulama alanlarında tespit edilen yeşil çatılardaki su yalıtımına ve drenaja bağlı sorunların düzeltilmesi zor ve maliyetli olmaktadır. Bu sorunların ve bunlara bağlı endişelerin yeşil çatıların tercih edilme oranını düşürdüğü görülmektedir. Suyun yeşil çatıyı nasıl olumsuz etkilediğini belirlemek, doğru kullanılacak su yalıtım ürünlerini analiz etmek ve suyun çatıda kalma süresini kısaltmak için uygun bir drenaj sistemi kurmak, yeşil çatılarda su yalıtımını sağlamak ve su yalıtımı sorunlarını önlemek için gereklidir. Yeşil çatılara su yalıtımı uygulanmadan önce tüm çevresel faktörler göz önünde bulundurularak, uygun su yalıtımı ve diğer yeşil çatı sistemini oluşturan malzemeler uygun şekilde seçilmelidir. Yeşil çatı kurulumunda doğru ürün seçimi ve yeterli işçiliğin sağlanması çok önemlidir. Kullanılan su yalıtım malzemelerinin denetlenmesi ve kalite belgelerine sahip olması gerekir. Su yalıtım malzemesinin kök dayanımına sahip olması, sürme tipi olanların ise, yüksek elastikiyete ve su geçirimsizliğine sahip olması gerekmektedir. Yeşil çatı sistemlerinin su yalıtımı uygulamasını takiben, gerekli tüm testlerden geçirilerek, ancak su sızıntısı olmadığı teyit edildikten sonra diğer katmanlarının kurulması gerekmektedir [53]. Yeşil çatılar için kritik unsurlardan biri de su tahliyesidir. Yeşil çatı sistemleri bulunan binalarda; yağmur suyu depolanarak, drenaj kanallarına gecikmeli olarak yönlendirilmektedir. Katman kalınlığı bu özelliği etkileyebilmektedir. Bu nedenle giderlerin her zaman açık ve erişilebilir olması çok önemlidir. İniş boruları da kolay erişilebilecek yerlere monte edilmelidir [131]. Güvenilir çatı yüzeyi, yeşil çatının bakımı ve rahat kullanımı için gerekli olan temiz ve düzenli bir ortam sunan iyi tasarlanmış bir drenaj sistemi ile sağlanabilir. Drenaj sisteminin birbiriyle yakından bağlantılı iki bölümü vardır. İlki drenaj malzemesi katmanı; çatının beton koruma katmanının üzerinde yer alır ve ikincisi çatıdan inerek şehrin kanalizasyon şebekesine bağlanan boru ve kanalların bulunduğu sistemdir. Drenaj sisteminin başarısını, üzerinde bulunan katmanlar belirlemektedir. Kullanılan bitkilendirme ortamının türü ve filtre örtüsünün kapsamı, drenaj sisteminin etkinliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir [4].

Bitkilendirme

Yeşil çatılar, birtakım yapısal bileşenlerden oluşmaktadır, ancak bu sistemlerin merkezinde daima bitkiler yer almaktadır. Yeşil çatıların ana bileşeni olan bitkiler, sistemin bütün tasarımını, yapısını ve işlevliğini etkilemektedir. Bitkilendirme söz konusu olduğunda, projelendirilen alan gerçek anlamda, doğal döngülere bağlı olarak zamandan zamana değişebilen bir yaşam düzeni içermektedir. Canlı ve en önemli bileşen olan bitkilerin gelişim seviyeleri iklim koşullarına göre büyük ölçüde farklılaşmaktadır. Bu sebeple bitki seçimini bölgedeki iklim koşulları

etkilemektedir [132]. Yeşil çatıda kullanılacak bitki türleri; uygulanacağı alanın iklim karakteristiğine, uygulanacak yeşil çatı sisteminin tipine ve çatının yük taşıma performansına göre farklılık göstermektedir [48]. Bitki türleri aşağıdaki özelliklere bağlı olarak seçilmektedir:

- İklim,
- Su,
- Rüzgar,
- Işık süresi ve şiddeti (güneşlenme),
- Donmaya karşı dayanıklılık,
- Yapı malzemeleriyle ilişkiler,
- Kök sistemleri,
- Büyüme ve gelişme hızı ya da özellikleri,
- Yangına karşı dayanım. [27].

İklim koşullarına bağlı olarak bitkiler, çeşitli gelişim ve yayılma modelleri sergiler. Sınırlı derinlikteki bir yetiştirme ortamında çatı yüzeyinde bitki yetiştirirken stres mevcuttur. Ayrıca güneş, ısı ve rüzgar gibi çevresel ve iklimsel unsurlar da bu stres oranını arttırmaktadır [133]. Bu nedenle, yeşil çatı sistemlerinde kullanılan bitki türlerinin tuz, böcekler, hastalıklar, radyasyon, ışık, gölge, rüzgar ve kuraklık gibi zorlu çevresel faktörlere dayanabilmesi gerekir. Yetiştirme ortamı; güçlü su tutma, yeterli havalandırma, düşük hacim, yüksek besin içeriği ve doğru drenaj gibi bitki büyüme ihtiyaçlarını karşılayacak nitelikte olmalıdır. Sedum cinsine ait bitki türleri, kuraklık, ani sıcaklık değişimleri ve rüzgar gibi zorlu çevresel şartlara uyum sağlayabildikleri için yeşil çatılarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

İntensif bitkilendirme için aşağıdaki faktörlere dikkat edilmesi gerekir:

- Bazı münferit çeşitlerin, özellikle de dört mevsim yeşil olanların, bitki örtüsünün sınırlı yoğunlukta olduğu yerlerde, kış koşullarına tam olarak dayanıklı değildir
- Açık alanlarda bulunan çalılar ve ağaçcıklar rüzgara dayanabilmelidir
- Bazı bitki türleri yansıyan ışığa ve termal birikime karşı hassastır Tüm bitki örtüsü havadaki kimyasal ve egzoz kirliliğe, ayrıca sıcak ve soğuk hava emisyonlarına karşı hassastır [33]

- Otsu bitki türlerinin; sığ toprakta yetişebilmeleri, düşük bitki besin maddelerine uygun olmaları ve çatıdaki kuvvetli rüzgarlara, kuraklığa, aşırı soğuğa ve sığağa dayanıklılık gibi özelliklere sahip olması beklenmektedir
- Odunsu tür kullanılması istendiğinde ise; ağaçlar ve boylu çalılarının ağırlıkları ile rüzgar etkisi göz önünde bulundurularak binaya eklenecek ağırlıklar hesaplanmalıdır. Küçük yapraklı ve tepe tacı dar olan ağaçların, rüzgara karşı dayanımı iyi seviyededir. Bu sebeple bu çatılarda odunsu tür kullanılmak istendiğinde; tepe tacı dar olan, küçük yapraklı, su tutma kapasitesi yüksek, yaprak yüzeyi ince ya da tüylü bitki türleri tercih edilmelidir. Sınırlı yetiştirme ortamı derinliği dikkate alınarak sığ köklere sahip türler önceliklendirilmelidir [27].

Ekstensif bitkilendirme için ise aşağıdaki faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir:

- Rüzgarın ve güneş ışınlarının yoğunluğunun su stokları üzerindeki etkisi
- Kuru yerlerdeki bitkilerin katmanlı üstyapıdaki hava kaynaklarına olan talepleri
- Bu tür bitki örtüsü aynı zamanda havadaki kimyasal kirliliğe, sıcak ve soğuk hava emisyonlarına karşı da hassas olması
- Gölge koşullarda veya ıslak alanlarda, örneğin sıfır eğimli çatılarda, dönüşümlü olarak nemli veya sürekli nemli yerlerde bitki örtüsü biçimlerine doğru dönüşüm göz önünde bulundurulmalıdır. [33]

Yeşil çatı sistemlerinin farklı iklim koşullarında ve farklı ihtiyaçları karşılamak amacıyla tasarlandıkları göz önünde bulundurulduğunda; yerel türlerle konumlandırıldıkları çevreye uyumlu hale getirilmeleri büyük önem taşımaktadır. Ayrıca doğal bitki örtüsünün kullanılması, tipik peyzaj düzenlerinin sulanması ve bakımı için tüketilen kaynakların kullanımını azaltmayı da desteklemektedir ve sertifikasyon sistemlerinde kredi kazandırmaktadır. Yeşil çatının tek bir türle bitkilendirilmesi, tek tip yükseklik, renk ve dokuya sahip yemyeşil bir bitki örtüsü halısı oluşturabilir. Bu "çim" görünümü görsel olarak hoş olsa da, sistemi riske atabilir. İklim koşulları ve belirli türler için ölümcül olan zararlılar, monokültür bir yeşil çatıyı hedef alabilir ve projedeki tüm bitkileri yok edebilir. Bu durumu sınırlandırmak için, beş veya daha fazla farklı türden oluşan çeşitli bir bitki grubu kullanılarak çoğaltılmalıdır. İster çelik ister fidan kullanılsın, bitkilerin yetiştirme ortamına kök saldığı ve çatı ortamına alıştığı bir kuruluş dönemi vardır. Yeşil çatı gelişiminin bu hassas aşamasında, bitkilerin yüksek hidrasyon ve beslenme gereksinimleri vardır.

Bir yeşil çatı projesinin başarısı, bu kritik aşamada bitkilerin ihtiyaçlarının karşılanma dengesine bağlıdır. Düzgün bir şekilde kurulan bitkiler, gelecek yıllar boyunca kuraklığa ve kışın donmaya karşı daha hazırlıklı olurlar. Kuruluş döneminde bitkilere ne kadar iyi bakım yapılırsa, çatı o kadar hızlı bitki örtüsüne kavuşabilir [29]. Bunlara ek olarak, yeşil çatı alanlarındaki çatı çıkışlarının yeşillik veya gevşek çakılla kaplanmasına izin verilmemeli ve bu çıkışlar sürekli olarak erişilebilir olacak şekilde inşa edilmelidir. Bitkilerin olukların içinde büyümesine izin verilmemeli, böylece düzgün çalışmaları engellenmemelidir [33].

Bina Yüksekliği ve Erişilebilirlik

Yeşil çatının tasarımı, bina cephesinin yüksekliğine göre belirlenir. Yeşil çatıda kullanılan malzemenin ağırlığı ve hacmi, özellikle de yetiştirme ortamı çatıyı zorlar. Malzemelerin çatıya çıkarılması için nakliye maliyeti binanın yüksekliğine bağlıdır. Türkiye’de yüksek binalar on kattan fazla olan yapılar olarak sınıflandırılmasına rağmen; malzeme kaldırma yüksekliği aşağıdaki kategorilerle daha basit hale getirilebilir. 6 metre altı, 6 ila 36,5 metre arası ve 36,5 metre ve üstü. Çatı yükleme cihazları ve uzatma vinç kollu forkliftler, yüksekliği 6 metrenin altındaki binalardaki stoklama için kullanışlı araçlardır. Sahadaki inşaat personeli bu araçları kiralayabilir ve kullanabilir. Malzeme teslimatının zamanlamasıyla ilgili olarak esneklik sunar. Vinç kullanımı, yüksekliği 6 ila 36,5 metre arasında olan binalarda malzeme kaldırma amacıyla sıklıkla gerekmektedir. Bu yükseklik, işlemleri gerçekleştirmek için yüksek düzeyde koordinasyon ve deneyim gerektirir. Bu deneyimler arasında niyetleri belirtmek için el işaretleri kullanmak, vinç operatörüyle iletişim kurmak için telsiz cihazları kullanmak, çatı döşemesinin ağırlık kapasitesini tahmin etmek, güvenlik prosedürlerine uymak ve çeşitli kaldırma işlemlerini gerçekleştirmek yer alır. Vinç durumunu ve malzeme teslim zamanını koordine etmek çok önemlidir. Genellikle 36,5 metreden daha uzun yapılarda asansörler veya kule vinçler kullanılır. Kule vinçlere kimin erişebileceğine dair katı zaman kısıtlamaları vardır. Kaldırma planı, gereksiz süreçleri atlamak ve prosedürü hızlandırmak için provalar yapılmasını gerektirir. Her meslek grubuna proje üzerinde çalışmak için belirli bir süre verilir. Vinç bir sonraki planlanmış meslek grubu için hazır değilse, her bir takip eden meslek grubunun çalışması gecikecektir. Alternatif olarak, bazı girişimler bitki materyalini ve yetiştirme ortamını büyük körükler kullanarak taşımaktadır. Bu teknikle yetiştirme ortamı büyük alanlara hızlı bir şekilde dağıtılabılır. Bu teknolojiyi yüksek cepheli binalarda kullanmak oldukça zordur. Fiyat yükseklikle doğru orantılı olarak artmaktadır [29]. Kullanım göz önünde bulundurulduğunda, çatının yapısal özellikleri ile insanlar tarafından kullanıma uygunluğu arasında bir ayrım yapılması gerekir. Temel olarak, bitkilendirmeye tabi tutulmuş çatıların insanlar tarafından kullanımı; özellikle

dinlenme alanı olarak kullanılmak üzere tasarlanmış ve buna uygun olarak kaplanmış yürüme yolları ve teraslarla sınırlıdır. Bitkilendirmeye tabi tutulmuş bir çatıya tam erişim sadece bu amaç için çim döşenmişse mümkündür. Engelli kişilerin ihtiyaçlarına göre uyarlanması gereken binalar için inşaat gerekliliklerine ilişkin kılavuz ilkeler dikkate alınmalıdır. Bitkilendirme, her zaman kısıtlamasız erişimin mevcut olması gereken genişleme derzlerine uygulanmamalıdır. Yoğun bitkilendirme sahalarındaki bitkilendirilmiş alanlar ve 'sanal Doğa' görünümlü geniş bitkilendirme sahalarındaki bitki örtüsü alanları kullanılmak üzere tasarlanmamıştır ve erişim normalde sahanın bakımını yapan kişilerle sınırlıdır. Binalarda uygulama, bakım ve onarım faaliyetleri sırasında düşmeyi önleyen koruma ekipmanlarına (örneğin bariyerler, çalışanları hatatlarla sabitleme seçenekleri) ilişkin olarak belirlenen gereklilikler, planlama sürecinde ve ihale davetlerinde dikkate alınmalıdır [33]. Yeşil çatının bulunduğu alana girişler önemlidir. Sadece kurulum ve erişilebilirlik açısından değil; aynı zamanda malzeme, toprak ve bitki gibi araçların taşınması açısından da önemlidir. Yeni bir projede zemin katı her kata bağlayan iç merdivenler veya asansörler oluşturmak basit ve biraz da ucuz olacaktır. Ancak yerleşik bir binada bu pahalıya mal olabilir. Malzemelerin üst kata elle, merdiven veya basamakla ya da asansör çatıya ulaşamıyorsa vinç kullanılarak taşınması gerekir [127]. Evrensel koruyucu sistemler yeşil çatı sistemlerine dahil edilmelidir. Misafirlerin yeşil çatıya ulaştıklarında güvende olduklarından emin olmak önemlidir. Çocuklar da yeşil çatıları oyun alanı olarak kullanabildiklerinden, iyi muhafazalı olmalıdır. Çatı kenarları boyunca çit, korkuluk vb. yapmak güvenliğin sağlanmasına yardımcı olabilir. Bu sayede ziyaretçiler güvende tutulur ve düşme durumları engellenir. Ayrıca çatıda basamak korkulukları, korumalı prizler, yeterli aydınlatma ve erişilebilir bölümler ile çatı ekipmanları arasını ayıran iyi tanımlanmış sınırlar gerekmektedir. Tasarıma dahil edilmesi gereken diğer güvenlik konusu ise; çatı kenarına üç metre mesafede çalışan herkesin düşmeye karşı koruyucu ekipman giymesi gerekmektedir. Parapet duvarlarının ve çatının en az bir metre yüksekliğinde olmasına dikkat edilmelidir. Erişim için bir merdivene ihtiyaç duyulan küçük projeler için merdiven için güvenli bir bağlantı noktası gereklidir [29].

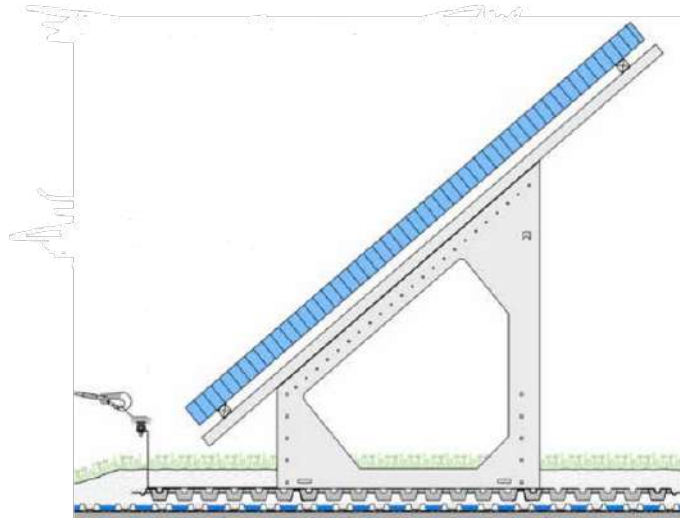
Ekipmanlar

Çatıda konumlanan ekipmanlar, iki başlık altında incelenebilir. Bunlardan ilki binaya ait olan ısıtma, havalandırma gibi ekipmanlardır, bunlara çatı ekipmanı diyebiliriz. İkincisi ise yapıya ait olmayan, tercihen çatıda bulunabilen ekipmanlardır. Güneş panelleri gibi ekipmanlar ise; genellikle sürdürülebilir tasarım stratejisinin bir parçası olarak çatıda konumlandırılabilirler.

Yeşil çatının tasarımı, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri gibi ekipmanların

çatıda nerede konumlandığından önemli ölçüde etkilenir. Havalandırma fanlarından çıkan duman içeren gazlar yeşil çatının bitki örtüsüne zarar verebilir. Örneğin mutfaktan yayılan hava, yağ damlacıkları içerir ve bu da yeşil çatıdaki bitkiler için zararlıdır. Bu tür yağların çatıda birikmesini önlemek rutin bakım gerektirir, bu sebeple çatıda ekipmanların yerleştirilmesi için yeterli bir alan oluşturulmalıdır. Ayrıca özellikle soğuk havalarda yapıdan dışarı atılan hava, yeşil çatıyı etkili bir şekilde ısıtma potansiyeline sahiptir. Sonuç olarak havalandırma boşluğunun yakınındaki bitkiler daha uzun bir büyüme evresine sahip olabilmektedir [16].

Çatılar, güneş ekipmanları için güneş enerjisine sınırsız erişimi sağlamaktadır. Bu sebeple güneş ekipmanları, fotovoltaik paneller, genellikle çatıda konumlanmaktadır. Yeşil çatılar da güneş panellerinin kurulması için uygun ortamı sağlamaktadır. Gölge bölgeler için bitki seçerken dikkatli olunmalıdır çünkü güneş panelleri çatılara gölge düşürür. Güneş panellerinin sıcaklığın düşük olduğu kısımlara kurulmasının yeşil çatıların verimini arttırabildiği görünmektedir [23]. Ayrı kurgulanan yeşil çatı ve fotovoltaik sistemlerle karşılaştırıldığında, entegre edilen fotovoltaik-yeşil çatı sistemi; sera gazı emisyonlarında ve enerji ihtiyacında önemli düşüşler gösterirken elektrik üretimini de artırmaktadır. Yeşil çatı bitki örtüsü, evapotranspirasyonu arttırmak ve çevredeki alanlarda çatı sıcaklığını düşürmek için kullanılır. Bu süreç fotovoltaik yüzeyleri soğutarak, güç çıkışını en üst düzeye çıkarabilir; bu da kentsel alanlarda daha verimli bir şekilde enerji üretebileceği anlamına gelir [134]. Yeşil çatıya,



Şekil 2.12 Yeşil çatı uygulamasında fotovoltaik panel kesiti [135]

fotovoltaik paneller yerleştirirken su yalıtım membranına zarar gelmesini önlemek çok önemlidir. Yeşil çatılarda panel kurulumu için temel kriter, su yalıtım membranının herhangi bir şekilde delinmesini önlemektir. Bu sebeple güneş panellerini sabitlemek için bitki yetiştirme katmanının ağırlığı kullanılır. Güneş panellerini taşıyan çerçeveler, su yalıtım katmanı ve koruyucu katmana sabitlenmeden yerleştirir. Plakalar, difüzyon

gözeneklerine ve su tutma haznelerine sahip oldukları için drenaj işlevi görürler. Kurulum; yük miktarına eşit bitki taşıyıcı katman ile plakaların üzerlerinin kaplanması ile tamamlanmaktadır [16].

Çatı Eğimi

Birçok yeşil çatı projesinin inşa edildiği çatı yüzeyi düz gibi görünmesine rağmen, neredeyse tüm çatı yüzeyleri uygun drenajı sağlamak için belirli bir dereceye kadar eğimli yüzeye sahip olmalıdır. Uygun çatı eğimi, suyun çatı yüzeyinden drenajını kolaylaştırmak için kritik öneme sahiptir, çünkü çatıda göllenmesine izin verilen su, çatı malzemesinin yaşlanma sürecini önemli ölçüde hızlandırır. Dik çatılarda (%16.6'dan daha dik eğimli) yeşil çatı kullanan projeler için, yetiştirme ortamının çatı eğiminden aşağı kaymasını önlemek için özel tasarım hususlarına ihtiyaç vardır. Bu amaç için çeşitli hazır malzemeler mevcut olmakla birlikte, projede işlenmiş kereste kullanılarak çeşitli destekleme teknikleri de kullanılabilir. Bu stratejilerin tümü, yetiştirme ortamını yerinde sabitlenmiş petek (Şekil 2.13) veya ızgara yapıları halinde bölümlere ayırır. Yetiştirme ortamı her bir bölmeyi doldurur ve ankraj yapısını gizlemek için büyüyecek bitki yaşamını destekler. Modüler yeşil çatılar ise genellikle ek destek olmadan %33'e kadar olan eğimlerde kullanılabilir. Daha dik eğimlerde modüllerin kullanılması, modüllerin birbirine ve çatı eğiminin üst kısmı boyunca merkezi bir bağlantı noktasına bağlanması gibi ek tasarım hususları gerektirebilir. Ayrıca modüller, bitki köklerinin daha fazla stabilite için büyüme ortamını bağlamasına izin vermek amacıyla saha dışında olgunlaşana kadar yetiştirilebilir [29].

Eğimli bir çatının en alt kenarındaki yetiştirme ortamı, diğer kısımlarına göre daha fazla su tutacaktır. Üst kenarda daha az su ve daha fazla hava boşluğu bulunur. Bitki türü seçimleri bu farklılıklar dikkate alınarak yapılmalıdır. Eğimin neden olduğu su durumu değişiklikleri, sulama sisteminin uygun şekilde tasarlanmasıyla dengelenebilir. Tasarımcılar, eğimli çatılarda bitkileri uygun bölgelere yerleştirilebilmesi için bitki uzmanlarıyla birlikte çalışmalıdır. Eğer bir yeşil çatının ana hedefi, suyu depolama ve yağmur suyu akışını azaltmak ise düşük eğimli çatılar bunun için daha uygun olabilir. Böylece yağmur suyu akışı geciktirilerek, suyun tutulması sağlayabilmektedir. Betonarme strüktüre sahip yeşil çatılar için minimum %2 eğim sağlanmalıdır. Diğer yapısal sisteme sahip yeşil çatılar için ise minimum çatı eğimi %3 olmalıdır [16].



Şekil 2.13 Dik yeşil çatılarda kullanılan petek bölümleri [136]

Yangın

Çoğu ülkede yeşil çatı tasarımı, yangının yayılmasını sınırlamak ve doğrudan alev teması ile yangın saldırısından korumak için hükümler içerir. Yanıcı olmayan duvar malzemesi gereklilikleri, sulama ve düzenli bakım, yangın duvarları, geniş bitki örtülü alanlar arasında yangın molaları, çatı penetrasyonları, ekipman ve bitişik duvarlar etrafındaki ayırma bölgeleri yangın riskini büyük ölçüde azaltmaktadır. Kural olarak, bitki örtüsü alanlarını söz konusu yapı bileşeninden ayırmak için döşeme veya çakıldan oluşan bir şerit sağlanmalıdır. Bu şerit gerektiği gibi uygulanırsa rüzgarın oluşturduğu negatif basınçlara karşı koruma sağlayacak ve yoğun bitkilendirme durumunda önleyici bir yangın kesici işlevi görecektir.

Yoğun bitkilendirme "sert çatı kaplaması" olarak kabul edilecektir. Yoğun bitkilendirmenin aşağıdaki durumlarda;

- Bitki yetiştirme tabakası belirli bir mineral bileşiminde ve en az 3 cm derinlikte ise
- Kullanılan bitki örtüsü formlarının düşük yangın yükü oluşturması durumunda
- Bitki örtüsü alanı ile çatıya giren herhangi bir öge veya çatıdan yükselen herhangi bir yapısal bileşen arasında en az 50 cm boşluk varsa

yeterli dirence sahip olduğu kabul edilebilir.

[33].

Kuru bitki örtüsünün uzun süreli sıcak havalarda alev alma potansiyeline sahip olması, yeşil çatıların binalar için oluşturabileceği yangın tehlikesine ilişkin endişeleri arttırmaktadır. Temel kaygılar, bu tür çatıların bakımının yetersiz olduğu veya kuraklık koşulları nedeniyle strese girdiği, bunun da bitkilerin kurummasına ve ölü organik maddelerin birikmesine yol açarak yakıt yükünü büyük ölçüde artırdığı durumlarla ilgilidir. Mevcut standart güvenlik önlemleri yangının bitki örtüsü yoluyla yayılmasını önlemeyi amaçlamaktadır. Fakat yangının termal radyasyon yoluyla yayılması riski de dikkate alınmalıdır. Bitki örtüsüne makul ölçüde yüksek nem içeriği sağlanarak, özellikle otla kaplı çatılar için yangın riskinin büyük ölçüde azaltılabileceği saptanmıştır. Rüzgar da alev boyutu üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğundan, yeşil bir çatının rüzgara maruz kalma ihtimali de göz önünde bulundurulmalıdır. Rüzgarsız durumda ve son derece düşük nem içeriğinde ayırma mesafeleri yoğun çalılar için 3,1 metre ve uzun yoğun çim için 2,4 metre kadar kısadır [137].

Çim yangınlarını önlemek için çatı çevresi boyunca ve tüm çatı çıkıntılarının altına düzenli aralıklarla yangın kesiciler yerleştirilmesi tavsiye edilir. Bu kesiciler her yönde 40 metre aralıklı, 60 cm genişliğinde olmalı ve beton veya çakıl gibi yanmaz malzemeden inşa edilmelidir. Yangın geciktirici sedumların kullanımı bir alternatiftir. Yüksek su içeriğine sahip olan ve yangınları önlemeye yardımcı olan sedumlar veya yangın alarmına bağlanabilen fiskiyeli bir sulama sistemi önerilir.

Yeşil çatıda kullanılan drenaj sisteminin ve alt katman seçiminin yangından korunmada önemli bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Suyu seven bitkilerin kullanımı, kuraklık dönemlerinde bitkilerin kuruyarak yangın tehlikesi yaratma riskini ortaya koymaktadır. Sulama sistemleri maliyetli olsa da, toprağın yeteri kadar nemli kalmasını sağlayarak yangına karşı bir önlem olarak kullanılabilir. Özellikle ekstensif yeşil çatılar tasarlanırken ise; bacalar en az 40 metre aralıklarla ve çatıdan en az 30 santimetre yukarıda olmalı, her çatı penceresini ve çatıyı çevreleyen 50 cm genişliğinde bir çakıl şeridi olmalı, çatıların bitişikteki diğer yapıları boyunca 50 cm'lik çakıl tampon şeridi bulunmalıdır [52].

Sulama ve Bakım

Yeşil çatılar tipik olarak nemi tutar ve çatıdan akan suyu yaklaşık %50 oranında azaltır. Bununla birlikte, yeşil çatının drenaj katmanı, bitki örtüsünü desteklemek için yeterli miktarda su tutarken, fazla suyun çatı yüzeyinden hızla atılmasına izin vermelidir. Yetersiz su depolama; ya ek sulama gerekeceği ya da bitki örtüsünün gelişmekte zorlanacağı anlamına gelir [131]. İlk birkaç sezon için ilk sulama, bitkinin yerleşmesi

için gereklidir ve yakınlarda bir su kaynağı bulunmalıdır. Sulama sistemleri isteğe bağlıdır. Ayrıntılı sistemler drenaj tabakasının altına yerleştirilebilir. Daha basit ve ucuz sistemler damla sulama veya hatta pratikse hortum kullanılarak oluşturulabilir. Yerleşik yeşil çatılar yılın büyük bir bölümünde sadece yağışla idare eder. Ancak, yeşil çatı 4 ila 6 haftayı aşan yağışsız dönemlerde ek sulamaya ihtiyaç duyacaktır. Bu kurak dönemlere yüksek sıcaklık eşlik ettiğinde, daha sık sulama gerekebilir [29]. Hem aktif hem de pasif sulama için güneş enerjisi kullanarak sulama sistemlerine güç sağlamak için ekolojik seçenekler de mevcuttur. Sulama için gerekli şebeke borularının ve bağlantı noktalarının sayısı ve kullanılan boyutlar yerel koşullara ve ilgili yapıya bağlı olacaktır. Bu faktörler aynı zamanda mülkün büyüklüğü ve yerleşim planı tarafından da belirlenecektir. Pasif sulama, yağmur suyunun bir membran veya drenaj tabakası boyunca göllenme şeklinde depolanması sürecini ifade eder. Bu suyun bir kısmı sonunda ekim ortamından geri süzülürken, fazlasının akıp gitmesine izin verilir. Tek katmanlı sistemler, su depolama ortamı olarak bitkisel örtülerin altında polipropilen filtre kumaşları kullanabilir [43]. Aktif sulama yöntemi ise; sürdürülebilir tasarım stratejisinin bir parçası olan yağmur suyu toplama diğer adıyla ise yağmur suyu hasadı yöntemidir. Bu yöntem; yağmur suyunun toplanıp, depolanarak arıtılması sonucunda kullanması su tasarrufu sağlanması açısından çok önemlidir. Toplama yüzeyi, nakil sistemi, depolama sistemi ve dağıtım sistemleri olmak üzere, tipik bir yağmur suyu hasat sistemi 4 bileşenden oluşmaktadır. Yağmur suyu; toplama yüzeyleri aracılığıyla toplanır ve farklı bölgelerde kullanılmak üzere yeniden dağıtılmadan önce, bir dizi oluk sistemi aracılığıyla depolara taşınır. Yağmurun toplandığı toplama yüzeyleri olarak en yaygın kullanım, çatılardır. Toplama yüzeyleri için suyu kirleten malzemeler yerine pürüzsüz, temiz, su itici malzemeler kullanılmalıdır. Yeşil çatılar; yapmur suyundaki kirletici etkenleri tutup, su yollarına karışmalarını önleyerek doğal filtreleme yapar. Yeşil çatılarda yağmur hasadı ekipmanlarının konumlandırılması ile, bu ekipmanların veriminin arttığı düşünülmektedir [23]. Her yeşil çatı bakım



Şekil 2.14 Yağmur suyu toplama sistemi [23]

için erişime ihtiyaç duyacaktır ve inetsif yeşil çatılar söz konusu olduğunda

erişim gereksinimi daha sık olacaktır. Yeşil çatılardaki tüm erişimler kullanıcı için güvenli olmalıdır. Bölüm 2.5’da da bahsedildiği üzere; sulama sistemleri maliyetli olmalarına karşın, toprağın yeteri kadar nemli olmasını sağladıkları için yangına karşı bir önlem olarak kullanılabilmektedirler. Bakım hedefleri ve gerçekleştirilmesi gereken münferit görevler; bitkilendirme yöntemine, bitki örtüsünün türüne, bitki örtüsünün gelişim durumuna ve genel gelişim hedeflerine göre özelleştirilmelidir. Bitkilendirme hedefleri yelpazesi, bir tarafta estetik-ss bahçeleri ile diğer tarafta ekolojik olarak optimize edilmiş bitkilendirme arasında değişmektedir. Gereklili bakım seviyesi; bitkilendirme sisteminin türüne ve istenen görünüme bağlı olacaktır, örneğin estetik-ss bahçesi daha yüksek derecede bakım gerektirirken, ekolojik olarak optimize edilmiş sistemler daha az bakım gerektirecektir [114]. Bakım düzeni; çatının kullanım amacı, talep edilen görünüm ve yerel iklime de bağlıdır. Fakat her çatının periyodik olarak kontrol edilmesi gerekir ve yeşil çatılar da istisna değildir. Minimum altı aylık bakım incelemeleri yapılması önerilmektedir; bu sırada istilacı yabancı otlar, hastalıklar ve başıboş ağaç fideleri gibi sorunlara bakabilir. Her halükarda, ne kadar az büyüyen ve kuraklığa dayanıklı olursa olsun bitkiler; hala yaşayan, nefes alan varlıklardır ve bakımları yapılarak düzenli olarak gözlemlenmelidir [43].

Yeşil çatı sistemleri oluşturulurken; "yapma olan" yapı ile "doğa" bileşeninin birbiriyle etkileşim halinde olması gerektiğinden, dikkate alınması gereken çevresel faktörler, gereksinimler, olanaklar ve kısıtlar gibi tasarım girdileri sayıca diğer çatı sistemlerine göre fazla olduğundan, çözüm süreçleri de daha karmaşıktır. Yeşil çatı sistemlerine özgü bileşenlerin, farklı malzemeler ve/veya farklı katman kombinasyonları ile oluşturulması sayesinde, farklı özelliklere sahip sistemlerin geliştirilmesi olanaklıdır [138]. Yeşil çatılar, çeşitli özelliklere göre farklılaşıp özelleşen, çoklu değişkenlere sahip olan karmaşık sistemlerdir. Bu sebeple tasarım aşamasında çeşitli uzmanlık bilgileri gerektirmektedir. Bu durumun yeşil çatı sistemlerinin tercih edilmesinde çekincelere yol açtığı görülmüştür. Bu sebeple bütün süreci kapsayan tam tanımlı bir akış ile kullanılabilecek bir sistem açığı olduğu saptanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde bu problemten yola çıkılarak, yeşil çatı tasarımı için parametrik bir sistem modeli önerilmiştir.

3.1 Yeşil Çatı Ön Anket Çalışması

Bu bölümde; yeşil çatı sistem ve yöntemlerini incelemek amacıyla anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Yeşil çatı sektöründeki profesyonellerle anket çalışması gerçekleştirilerek, yeşil çatı tasarım ve uygulama aşamalarında karşılaşılan zorlukların ve dikkat edilmesi gereken noktaların keşfedilebilmesi amaçlanmıştır. Buradan elde edilen bulguların hem bu çalışmaya hem de gelecekteki çalışmalara katkı sağlaması hedeflenmiştir. Uygulanan anket çalışmasının içeriği 3.1 bölümünde anlatılmıştır. Anket sonuçları ise 3.1 bölümünde aktarılarak tartışılmıştır. Ancak etik sebeplerden ötürü, bu bölümde hangi firmanın hangi cevabı verdiği doğrudan paylaşılmamıştır. Bunun yerine cevaplar, nicel ve nitel olarak değerlendirilmiştir. Bu anket çalışmasına dair etik kurul onayı Şekil C.1'de yer almaktadır.

Anket Yöntemi ve Sorular

Bu bölümde, yerel ve uluslararası firmaların yeşil çatı çözümlerinde kullandığı yöntemleri incelemek amacıyla anket çalışması yapılmıştır. Yeşil çatı tasarımına yönelik yöntem farklılıklarını, firma çalışmaları kapsamında ortaya koymak için aşağıda listelenen dört faktörden oluşan bir anket çalışması hazırlanmıştır:

- Firma Bilgileri
- Faaliyet Alanı
- Eğitim ve Yazılım
- Yeşil Çatı Tasarım Etkenleri

Tablo 3.1 Anket soruları (AU: Açık uçlu sorular, ÇTS: Çoktan seçmeli sorular, ÇS: Çok seçenekli sorular)

FAKTÖR		SORU		CEVAPLAR
1. FİRMA TANIMA	S1	Firmanızın adı nedir?	AU	
	S2	Firma içerisinde çalıştığınız pozisyon nedir?	AU	
	S3	Firmanız hangi alanlarda hizmet vermektedir?	ÇTS	Yalıtım / Çatı Malzemeleri / Yeşil Çatı Tasarımı / Danışmanlık / Diğer
	S4	Firmanız kaç yıldır yeşil çatı proje ve uygulamaları üzerine çalışmakta?	ÇTS	1 / 1-5 / 5-10 / 10'dan fazla
	S5	Yeşil çatı çözümleri için gerekli uzman bilgisini nasıl sağlıyorsunuz? Lütfen belirtiniz.	ÇTS	Bünyemizde çözmekteyiz. / Dışarıdan danışmanlık almaktayız. / Diğer
	S6	Firmanız hangi bölgelerde faaliyet göstermekte?	ÇS	Yurt içi / Yurt dışı / Hem yurt içi hem yurt dışı
	S7	Aşağıdaki yeşil çatı tiplerinden en çok hangisinin projelendirme veya uygulamasını gerçekleştirdiniz?	ÇTS	Ekstensif (Seyrek bitki örtüsüne sahip) / Yarı intensif (yarı-yoğunluklu bitki örtüsüne sahip) / İntensif (yoğun bitki örtüsüne sahip)

2. ÇALIŞMA & YAPI TÜRLERİ	S8	Yeşil çatı üretiminde hangi aşamalarda destek hizmetiniz bulunmakta?	ÇS	Projelendirme aşaması / Uygulama aşaması / Malzeme tedariki / Danışmanlık / Diğer
	S9	Firmanız aşağıdaki yeşil çatı proje veya uygulama tiplerinden hangisinde ağırlıklı olarak rol almaktadır?	ÇTS	Mevcut çatıların yeşil çatıya dönüştürülmesi / Sıfırdan yeşil çatı imalatı
	S10	20.05.2018 tarih, 30426 sayılı İstanbul İmar Yönetmeliğindeki yeşil çatı düzenlemesinden sonra, yeşil çatı proje taleplerinde belirgin bir değişiklik gözlemlediniz mi?	ÇTS	Evet, buna bağlı bir artış oldu / Evet, ancak artışın buna bağlı olduğunu düşünmemekteyiz / Hayır, herhangi bir değişiklik olmadı / Taleplerde azalma oldu
	S11	Geçtiğimiz son 30 yıl içerisinde yaptığınız yeşil çatı projesi sayısındaki değişimi 10 yıllık periyotlarda nasıl değerlendiriyorsunuz? Kırılma yaşanan bir yıl var mı?	AU	–
3. EĞİTİM & YAZILIM	S12	Eğitimle ilgili herhangi bir etkinlik, destek veya ortak çalışmalarınız mevcut mu? Mevcutsa hangi kurum/kuruluş/derneği kapsamaktadır?	ÇS	TÜBİTAK / KOSGEB / Belediye / Meslek Odaları / Üniversiteler / Bulunmamakta / Diğer
	S13	Yeşil çatı çözümleri için kullandığınız yazılımlar var mı? Varsa belirtiniz.	AU	–
	S14	Firmanızda parametrik yeşil çatı programı kullanır mıydınız?	ÇTS	Evet / Hayır

4. TASARIM ETKENLERİ	S15	Uyguladığınız yeşil çatı projelerinizin çatı eğimleri ağırlıklı olarak hangi aralıkta kalmaktadır?	ÇTS	%2-%5 arası / %6-%10 arası / %11-20 arası / %21-%33 arası / %33 üzeri
	S16	Ağırlıklı olarak Türkiye'nin hangi bölgelerinde yeşil çatı projelendirmesi gerçekleştirmektesiniz?	ÇTS	Akdeniz / Doğu Anadolu / Ege / Güneydoğu Anadolu / İç Anadolu / Karadeniz / Marmara
	S17	Ağırlıklı olarak hangi iklim tiplerinde yeşil çatı projelendirmesi gerçekleştirmektesiniz?	ÇTS	Akdeniz / Karasal /Marmara / Karadeniz
	S18	Kullanılan bitki türleri her projeye özgün olarak çalışılıyor mu, yoksa bölgeler özelinde belirlenmiş tipler var mı?	AU	
	S19	Firmanız yeşil çatı projelerinde, LEED, BREEAM .. vs benzeri sertifikasyon alımlarında destek sağlıyor mu? Bunlara göre düzenlemeler yapıyor musunuz?	AU	
	S20	Firmanız projelendirdiği yeşil çatıların bakımını ve uzun ömürlü olmasını nasıl sağlıyor?	AU	
	S21	Yeşil çatıları uygulamalarında ne gibi zorluklarla karşılaştınız ve bunların üstesinden nasıl geldiniz?	AU	
	S22	Yeşil çatı tasarımcılarının uygulama açısından dikkat etmeleri gerektiği halde atladıklarını düşündüğünüz bir şey var mı, varsa nelerdir?	AU	

Anketin ilk faktöründe; yeşil çatı sektöründe yer alan seçilmiş firmaları ve çalışma alanlarını tanımaya yönelik 2 adet açık uçlu, 4 adet yapılandırılmış olmak üzere 6 adet soru bulunmaktadır. Anketin ikinci faktörü için; yeşil çatı çalışma ve yapı türlerine yönelik 1 adet açık uçlu, 4 adet yapılandırılmış olmak üzere 5 adet soru bulunmaktadır. Üçüncü faktör için; yeşil çatı eğitiminde kullanılan veya kullanılabilecek yazılımlara dair firma görüşlerini ölçmeye yönelik 1 adet açık uçlu 2 adet yapılandırılmış olmak üzere 3 adet, dördüncü faktör için ise; yeşil çatı tasarımında projelendirme ve uygulama kararlarına etki eden etmenleri belirlemeye yönelik 5 adet açık uçlu, 3 adet yapılandırılmış olmak üzere 8 adet soru bulunmaktadır. Toplamda 13 adet yapılandırılmış, 9 adet açık uçlu olmak üzere 22 sorudan oluşan bu anket çalışması (Tablo 3.1), 8 yerel 12 yabancı olmak üzere toplam 20 firmaya çevrimiçi anket formatı mail aracılığıyla iletilmiştir. Bu sebeple anket hem Türkçe hem İngilizce olarak hazırlanmıştır. Anket çalışması için seçilen firmalar, faaliyet gösterdikleri ülkeler ve cevap durumu Tablo 3.2’de gösterilmiştir

Anket Sonuçları ve Değerlendirmeler

Anket çalışması için iletişime geçilen 20 firmadan 6 tanesi çalışmaya katılım sağlamıştır. Bu firmalardan 5 tanesi yerel 1 tanesi yabancı firmadır. Katılım gösteren yerel firmalardan bir tanesi açık uçlu sorulara yanıt vermemiş, sadece yapılandırılmış sorulara yanıt vermiştir.

Tablo 3.2 Firma listesi

	FİRMA ADI	ÜLKE / ŞEHİR	WEB SİTESİ	CEVAP DU- RUMU
1	ANSGLOBAL	U.K.- Chinster	https://www.ansgroupglobal. com/	x
2	BENDER	Almanya	https://www.bender-rekultivierungen. de / en/	x
3	BMI GROUP (ICOPAL)	U.K- İrlanda	https://www. bmigroup.com /uk	x
4	BMI GROUP TURKEY	Türkiye- Kocaeli	https:// www.bmigroup.com /tr/	x
5	BRIDGMAN LANDSCAPES	U.K.- İngiltere	https:// bridgmanlandscapes. co.uk/	✓

6	BTM (OPTIGREEN)	Türkiye- İstanbul	https://www. btm.co/tr/	✓
7	BUGG	Almanya- Berlin	https://www.gebaeudegruen. info/	x
8	ECO GREEN ROOF	U.K.- Essex	https://www.egr.co.uk	x
9	ELEVATION GREEN ROOFS	ABD- Washington	https://elevationgreenroofs .com/	x
10	GREEN ROOF BLOCKS	ABD -Chicago	http://greenroofblocks.com/	x
11	İSTANBUL TEKNİK	Türkiye- İstanbul	https://www.istanbulteknik. com/tr/	✓
12	NANOTEK GRUP	Türkiye- İsyanbul	https://www.nanotekgrup .com/ yesil-cati -sistem- cozumleri/	✓
13	NET YAPI	Türkiye- İsyanbul	https://www.yesilcati.com.tr/	✓
14	ODE (Epigreen)	Türkiye- İsyanbul	https://www.ode.com.tr/	x
15	ONDULINE	Türkiye- İsyanbul	https://tr.onduline.com/tr/	✓
16	PYS PROAKTİF	Türkiye- İsyanbul	https://pys-proaktif.com/	x
17	RAD MAT	U.K.- İngiltere	https://radmat.com/	x
18	SCOTSCAPE	U.K.- İngiltere	https://www.scotscape .co.uk/	x
19	WALBARN	U.K.- South Croydon	https://www.wallbarn .com/	x
20	ZINCO	Alamnya	https://zinco-greenroof .com/	x

Katılımcıların firma içerisinde çalıştıkları pozisyon; yeşil çatı ürün yöneticisi, peyzaj mimarı, ürün teknik sorumlusu ve teknik danışman olmak üzere çeşitlenmektedir.

Ankete katılan firmalar; yalıtım, çatı malzemeleri, yeşil çatı tasarımı, danışmanlık, geosentetik ve yeşil çatı uygulaması ve bakım alanlarında hizmet vermektedir. Katılımcı altı firmadan beş tanesi yeşil çatı çözümleri için gerekli uzmanlık bilgisini kendi bünyelerinde çözerken, bir tanesi substrat konusunda Almanya'dan danışmanlık almaktadır. Firmaların yeşil çatı çözümlerine ilişkin danışmanlık hizmetine ihtiyaç duyduğu, çoğunun bunları kendi bünyelerinde çözdüğü görülmektedir. Bir firmanın dışarıdan danışmanlık hizmeti aldığı görülmüştür. Bu sorudan yola çıkarak bu çalışma kapsamında üretilen sistem modelinin, bu alanda hizmet veren firmalara fayda sağlayabileceği söylenebilir.

Yeşil çatı sektöründeki katılımcı firmalardan beş tanesi ekstensif, biri yarı intensif yeşil çatı sistemleri ile çalışmışlardır. Ankete katılan firmalardan hiçbirinin intensif yeşil çatı sistemleri üzerine çalışmadığı görülmüştür. Buradan yola çıkarak intensif yeşil çatılara dair çekincelerin; sisteme getirdiği yükün ve maliyetin fazlalığından ve bakım zorluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

"Yeşil çatı üretiminde hangi aşamalarda destek hizmetiniz bulunmakta?" sorusuna verilen cevaplar incelendiğinde; firmaların en çok uygulama ve malzeme tedariği aşamalarında hizmet verdiği görülmektedir. Bu alanların ardından sırasıyla; projelendirme aşaması ile danışmanlık ve ürün seçimleri ile şartname çalışmaları gelmektedir.

Katılımcı yerel firmaların hepsinin sıfırdan yeşil çatı imalatı üzerine projelendirme veya uygulamada rol aldığı, sadece İngiltere'de faaliyet gösteren firmanın mevcut çatıların yeşil çatıya dönüştürülmesi üzerine çalışmalarını sürdürdüğü görülmüştür. Bu durumun ülke politikalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. İngiltere'deki sürdürülebilirlik politikaları gereği yeni yapı yapma zorluğundan dolayı, ağırlıklı olarak mevcut yapılara yeşil çatıların entegre edildiği düşünülmektedir. Ülkemizde de eski yapıların dönüştürülmesine yönelik yasal düzenlemelerin geliştirilmesi ile buna olan talebin artacağı düşünülmektedir.

Ankete katılan profesyoneller; son 30 yıl içerisinde sundukları yeşil çatı projelendirme hizmetinde genel olarak artış olduğunu, özellikle 2010 yılından itibaren büyük bir artış olduğunu belirtmiştir. Uluslararası firma ise, projelendirme sayısının her yıl arttığını, son 10 yılda ise bu büyümenin giderek ivmelendiğini belirtmiştir. Buradan yola çıkarak, hem ulusal hem uluslararası projelerde yeşil çatı kullanımının arttığı söylenebilir.

Katılımcıların kuruluş, kurum veya derneklerle ortak çalışmaları incelendiğinde; ağırlıklı olarak üniversite işbirliklerinin bulunduğu, bunu belediyelerin ve meslek odalarının takip ettiği görülmüştür.

Katılımcılar, yeşil çatı çözümleri için kullandıkları özel bir yazılım olmadığını, proje ve detay incelemesi için Autocad kullandıklarını belirtmişlerdir. Parametrik bir yeşil çatı programı olsaydı, kullanır mıydınız sorusuna ise yerel firmalardan dördü hayır, biri ise evet yanıtı verirken, yabancı firma evet yanıtı vermiştir. Bu durumun Ülkemizde parametrik tasarım araçlarının yaygın olmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ancak bu soruya verilen olumlu yanıtlar; bu çalışmada geliştirilecek modelin kullanımına ve yaygınlaşmasına dair umut vaad etmektedir.

Katılımcı firmaların tamamında uygulanan yeşil çatı projelerinin eğimlerinin %2 ile %5 arası olduğu saptanmıştır. Yerel firmaların hepsi Marmara bölgesinde yeşil çatı projelendirmesi gerçekleştirmektedir. Firmaların yer aldıkları yeşil çatı projelerinde kullanılacak bitki tiplerinin projenin bulunduğu bölgenin iklimine göre belirlediği görülmüştür. Çim ve bölge iklimine uygun sedum çeşitlerinin ağırlıklı olarak tercih edildiği görülmüştür. Ayrıca bazı firmaların, bölgeler özelinde bitki önerileri hazırladıkları görülmüştür. Bir firmanın ise, peyzaj projesi hazırlamadığı, gelen projeleri detaylandığı ve seçilmiş bitkilere bağlı olarak yetiştirme ortamı tasarladığı gözlemlenmiştir. Bu sorulardan yola çıkılarak Marmara bölgesinin yeşil çatıların en yoğun olduğu bölge olduğu görülmüştür. Bu sebeple çalışmanın devamında da, bu bölgeye yoğunlaşmıştır. Ayrıca çalışmaya, Marmara bölgesi özelinde bitki önerisi filtrelemesi sunan çıktı eklenmiştir.

Firmaların sertifikasyon alımına yönelik destek verip vermediği sorusuna, üç firmanın bu alana yönelik herhangi bir çalışmasının bulunmadığı görülmüştür. Bir firma, bu sertifikasyonlara yönelik danışmanlık hizmeti vermektedir. Bir firma ise, bu sertifikasyon sistemlerine yönelik malzeme üretip tedarik sağlayarak destek vermektedir.

Firmaların projelendirdikleri yeşil çatıların uzun ömürlü olmasını ve bakımını; kaliteli malzeme ve alana uygun sistem çözümleri ile destekledikleri görülmüştür. Ayrıca hem uygulama hem de uygulama sonrasındaki bakım sürecinde, danışmanlık verdikleri görülmüştür. Bu sayede hem sistemlerin doğru kurulumu hem de bakımın yapılması sağlanarak sistem ömürleri uzatılmaktadır. Yeşil çatı uygulaması sırasında karşılaşılan zorluklar ise; uygulama ekibinin gerekli özeni göstermemesi, yanlış malzeme seçimleri, sorunlara bütüncül yaklaşmak yerine, geçici çözümler bulunmasıdır. Ayrıca firmaların yalıtım malzemelerinde FLL standartlarına uygun yalıtım malzemelerinin kullanılması gerektiği, bu sayede ileride karşılaşılabilecek sorunların büyük ölçüde azaltılacağı belirtilmiştir. Bu iki sorulara verilen yanıtlardan yola çıkılarak; üretilen model kapsamında, kullanıcıları bilinçlendirmeye yönelik bilgilendirme modülü kurgulanmıştır.

Yeşil çatı alanında çalışan profesyonellerle yapılan anket, sektörde aktif olarak yer alan bireylerin görüşlerini ortaya koymaktadır. Ayrıca bu anket, mevcut araştırma ihtiyaçlarının daha iyi anlamak için uygulanmıştır. Bu anket, yeşil çatı sektörünün özellikle son on yıl içinde oldukça değiştiğine ve geliştiğini göstermektedir. Fakat hala sistem tasarımı ve uygulamasına dair çözülmesi gereken sorunların bulunduğu görülmektedir. Ankete katılan profesyoneller, yeşil çatının kullanılacağı alanın ihtiyacına yanıt verebilecek sistemi seçme konusundaki eksiklere dair endişelerini belirtmişlerdir. Bu ihtiyaçlar; iklim ve sulama gereklilikleri, statik, uygun malzeme seçimi ve uygun bitki seçimi başlıkları altında sınıflandırılabilir. Yeşil çatı sisteminin başarısı ise; bu ihtiyaçlara uygun sistem tasarımının belirlenmesine bağlıdır. Bu anketin, yeşil çatı sistem ve yöntemlerine ilişkin sonraki araştırmaları bilgilendirebileceği ve yönlendirebileceği düşünülmektedir.

3.2 Yeşil Çatı Sistem Modeli

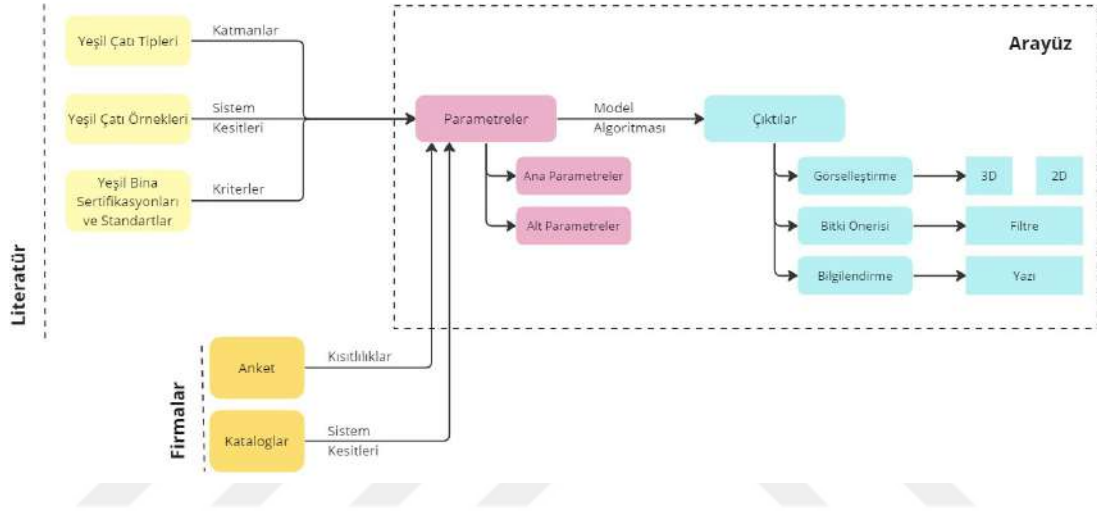
Çalışmanın bu bölümünde; yeşil çatı sistemlerini çözümlemek için aşağıdaki soruların cevapları araştırılmıştır: Yeşil çatıların çok yönlü ve ilişkisel yapısı bileşenleri nasıl etkiler? Bu alt katmanlardaki değişkenler nasıl ilişkilendirilebilir? Hangi parametreler yeşil çatı sistem tasarımını etkiler? Sistem hangi bileşenler üzerinden parametrize edilebilir?

3.2' bölümünde yeşil çatıyı oluşturan bileşenler ayrı ayrı ele alınarak parametrik bir yaklaşımla tasarımı yönlendiren girdiler ilişkilendirilmiştir. Detaylandırılan katman bileşenleri ile yeşil çatıları etkileyen genel tasarım girdileri ilişkilendirilerek, sistem modelinin seçim parametreleri elde edilmiştir. 3.2' bölümünde ise elde edilen bu seçim parametreleri aracılığıyla sistem modeli algoritması oluşturulmuş ve kullanıcıların konuya dair en çok zorlandıkları kısımlar göz önünde bulundurularak bir arayüz tasarımı önerilmiştir. Geliştirilen sistem modeli önerisi 5 adımdan oluşmaktadır. İlk olarak, yeşil çatının uygulanacağı bölge (ve şehir) seçilmektedir. Ardından sırasıyla; bitki tipi, eğim, havalandırma durumu ve yalıtım sırası seçilerek seçim parametreleri tamamlanmaktadır (Tablo ??).

Model Akışı (Yöntemi)

Yeşil çatı tasarımının parametrik tabana dayandırılması üzerinden geliştirilmiş olan bu çalışmada; ilk olarak literatür taraması yapılarak tanımlar ve temel kavramlar açıklanmış, yeşil çatı tipleri, yeşil çatı yapım süreçleri ve bunları içeren yapı örnekleri ve yeşil bina sertifikasyon sistemleri ile standartlar incelenmiştir. Yeşil çatı uygulamalarına yoğunlaşarak sistem ölçüt ve gereklilikleri ile sistem tasarımını

etkileyen parametreler saptanmıştır. Literatür taramasını takiben yeşil çatı tasarımı ve üretimi alanında faaliyet gösteren firmalar ile anket çalışması gerçekleştirilerek, alana dair bilgi toplanmış ve firmaların sistem detay çözümleri incelenmiştir. Ardından yeşil çatıyı oluşturan tüm bileşenler ayrı ayrı ele alınarak parametrik bir yaklaşımla tasarımı yönlendiren girdiler ilişkilendirilmiştir. Detaylandırılan katman bileşenleri ile yeşil çatıları etkileyen genel tasarım girdileri ilişkilendirilerek, sistem modelinin seçim parametreleri elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu seçim parametreleri aracılığıyla sistem modeli algoritması oluşturulmuş ve kullanıcıların konuya dair en çok zorlandıkları kısımlar göz önünde bulundurularak sistem modeli önerilmiştir.



Şekil 3.1 Model veri akış şeması

Özetle; literatür taraması ve firma incelemesi adımlarının sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, yeşil çatı ön tasarım aşamasında kullanılmak üzere parametrik bir model geliştirilmiştir. Bu model beş ana parametreden ve üç adet alt parametreden oluşmaktadır. Modelde yer alan seçim yapılması için yönlendiren sorular doğrultusunda ilk olarak bölge (şehir) seçimi yapılmaktadır. Daha sonra bitki tipini belirlemek amacıyla kurgulanan sorunun cevabı, yeşil çatı tipi seçimini belirlemektedir. Ardından eğim yüzdesi, çatının havalandırma boşluğu durumu ve yalıtım sıralaması seçilerek ana seçim parametreleri tamamlanmaktadır. Alt parametreler ise bitki sıklığı, toprak kalınlığı, parapet yüksekliği ve renk seçimlerini kapsamaktadır. Bu parametreler ana parametrelere farklı olarak daha az etkiye sahiptir ve sistem üzerinde büyük değişikliğe sebep olmamaktadır. Büyük oranda görselleştirme çıktıları üzerinde değişikliğe sebep olmaktadır.

Model arayüzünde; 3 boyutlu model ve 2 boyutlu sistem kesitinden oluşan görselleştirme çıktıları, filtreleme imkanı sunan bitki önerisi çıktısı ve yazı formatında sunulan bilgilendirme çıktısı olmak üzere üç farklı tip çıktı sunulmuştur. Bitki önerisi çıktısı; bölge ve yeşil çatı tipi seçimlerine göre, kullanılabilecek çeşitli bitki filtrasyonu

sunmaktadır. Bilgilendirme çıktıları ise hem kullanıcıyı ana parametre seçiminde yönlendirmekte, hem de seçimlerinin sonuçları hakkında bilgi vermektedir. Bu arayüzün çıktıları, seçim sorularına verilen cevaplar doğrultusunda eşzamanlı olarak değişmektedirler.

Sistem Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında geliştirilen model algoritmasının girdilerini oluşturan parametreler; ana parametreler ve alt parametreler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Ana parametreler; 2.5 bölümünde açıklanan tasarım kriterlerinden ve 2.2 bölümünde tanımlanan katmanlardan yola çıkılarak belirlenmiştir. Bu bağlamda ana parametreler;

- Konum (Bölge)
- Bitki tipi
- Eğim
- Havalandırma
- Yalıtım sırası

olarak belirlenmiştir. Bu parametreler; 2.5 bölümündeki tasarım kriterlerinden fonksiyon ve konum, iklim, su yalıtımı ve drenaj, bitkilendirme, çatı eğimi, sulama ve bakım kriterlerine etki etmektedir. Bunun dışındaki tasarım kriterleri kapsam dışı bırakılmıştır. Ayrıca ana parametreler; 2.2 bölümündeki tüm katmanlara etki etmektedir.

Yeşil çatıların sistemsel özellikleri; yer aldığı bölgenin iklimine göre şekillenmektedir. Bu sebeple ilk olarak konum seçeneği parametre olarak belirlenmiştir. Bu parametreye bağlı olarak, çatıda uygulanacak bitki çeşitleri de değişiklik göstermektedir. Bu parametre seçimi için Türkiye'deki yedi bölge kullanılmıştır. Üretilen model kapsamında, konum parametresi seçimi Marmara bölgesi ile sınırlandırılmamış, ancak bu parametrenin etki ettiği bitkilendirme önerileri İstanbul İli ile sınırlandırılmıştır. İstanbul İli, güncellenmiş Köppen İklim Sınıflandırma Sistemine göre, Csa iklim tipine sahiptir. Kışları ılık, yazları çok sıcak ve kurak olan Akdeniz ikliminin özelliklerini taşımaktadır [139], [140].

Bitki tipi parametresi; yeşil çatı tipini belirleyen ana etkidir. 2.1 bölümünde de bahsedildiği üzere; yeşil çatı sistemleri, bitkilendirme çeşidine ve buna bağlı olarak da

bitki yoğunluğuna göre iki ana tipe ayrılmaktadır. Bu çalışmada da; ekstensif (seyrek) ve intensif (yoğun) olmak üzere iki ana sistem tipi, model önerisi kapsamına dahil edilmiştir. Birkaç on yıl öncesinde ise; özellikle yeşil çatı sistemlerinin çeşitlenmesi ve iki ana tip yeşil çatı sisteminin bir araya getirilerek tasarlanması ile üçüncü yeşil çatı tipi olarak yarı intensif (yarı yoğunluklu) yeşil çatılar literatüre dahil edilmiştir. Yarı intensif yeşil çatılar; diğer iki ana türün özelliklerine de sahip olabildiğinden ve ağırlıklı olarak bahçe fonsiyonlu çatıları kapsadığından bu çalışmada kapsam dışı bırakılmıştır.

Literatürde ekstensif sistemler için yetiştirme ortamı derinliği minimum 5 cm olarak verilmektedir. Fakat yeşil çatı sistemlerinin İstanbul iklim koşullarında su ve enerji dengesi bakımından yapılan deney çalışmaları sonucunda; kullanılan 5 cm yetiştirme ortamı derinliğinin, daha derin yetiştirme ortamına kıyasla düşük su tutma oranına sahip olduğu ve sık ortamın bitki köklerinin gelişimini sınırladığı tespit edilmiştir [141]. Ayrıca yetiştirme ortamı derinliğinin artırılması; su tutma oranının artmasına ek olarak, bitki köklerinin sıcaklık dalgalanmalarından korunmasına ve bitkiler için geniş dikey gelişme alanı sağlamasına olanak vermektedir. Bu sebeple benzer iklim tipinde yer alan yeşil çatılarda en düşük yetiştirme ortamı derinliği 7 cm olarak önerildiğinden, bu çalışmada da alt sınır 7 cm olarak belirlenmiştir.

Üçüncü parametre seçeneği ise; çatı eğimidir. Eğim parametresi seçenekleri teras ve eğimli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yeşil çatılardaki minimum eğimin %2 olması önerildiğinden, teras seçimi yapıldığında eğim otomatik olarak %2 olarak belirlenmektedir. Eğim seçimi yapıldığında ise, sınır değerleri konum parametresine göre belirlenmektedir. Sınır değerlerinin değişimi 3.2 bölümde detaylandırılmıştır.

Diğer ana parametre ise havalandırma seçeneğidir. Çatıların, 2.5 bölümünde aktarıldığı gibi havalandırma boşluğunun bulunduğu ve havalandırma boşluğunun bulunmadığı seçenekler olmak üzere ikiye ayrıldığı görülmüştür. Soğuk çatılar; ısı yalıtımının üzerinde havalandırma boşluğunun bulunduğu, su yalıtımının bu boşluğun üzerinde yer alan ikinci çatı düzleminin üzerine uygulandığı çatılardır. Sıcak çatılar; bu havalandırma boşluğunun bulunmadığı çatılardır. Bu parametre seçeneğinin cevapları ikili seçim olarak uygulanmış ve kullanıcının seçimini kolaylaştırmak için açıklamaları eklenmiştir.

Beşinci ve son ana parametre ise yalıtım sırası seçimidir. Bölüm 2.2'da bahsedildiği üzere çatı sistemleri, ısı ve su yalıtımının konumuna göre de değerlendirilmektedir. Geleneksel sistem olarak da adlandırılan düz çatılarda, su yalıtımı ısı yalıtımının üzerinde yer almaktadır. Bunun tersi olarak uygulanan; ısı yalıtımının, su yalıtım katmanının üzerinde konumlandığı sistem ise ters çatı olarak adlandırılmaktadır.

Bu parametre seçeneğinin cevapları da ikili seçim olarak uygulanmış ve kullanıcılar tarafından anlaşılabilir olması için ısı yalıtım levhası su yalıtımının; altında (düz çatı), veya üstünde (ters çatı) olarak açıklanmıştır.

Önerilen sistem modeli; yeşil çatı uygulamasının, çatı yüzeyi üzerine malzemelerin sırasıyla yerleştirilerek oluşturulduğu tam sistemler için kurgulanmıştır. Mevcut çatıların yeşil çatılara dönüştürülmesi; tasarım aşamasında mühendislik hesaplamaları içerdiğinden kapsam dışında bırakılmıştır. Modelin; yeni tasarlanacak/inşa edilecek olan yapıların çatılarında ve ön tasarım aşamasında kullanılması amaçlanmıştır.

Ana parametre seçimleri için kullanıcıdan direk bu parametreleri belirlemesi istenmemiştir. Bunun yerine kullanıcıya çatı ve yeşil çatı tercihlerine dair sorular yöneltilerek, verilen yanıtlar doğrultusunda ana parametre seçimleri belirlenmiştir. Bu sorular ve ilişkili olduğu ana parametreler ??’da gösterilmiştir.

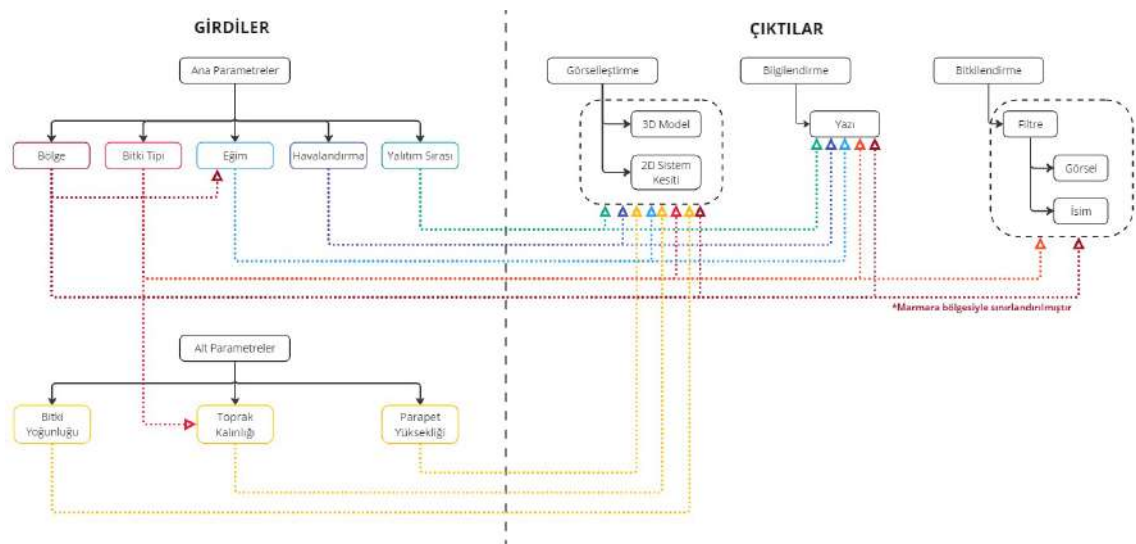
Tablo 3.3 Model önerisi tasarım soruları ve ana parametre ilişkileri

Sorular	Bölge	Bitki Tipi	Eğim	Hava- landırma	Yalıtım Sırası
Proje alanı hangi bölgede yer almakta?	X		X		
Marmara					
Ege					
Karadeniz					
Akdeniz					
Doğu Anadolu					
Güneydoğu Anadolu					
İç Anadolu					
Çatıda yetiştirmeyi düşündüğünüz bitki türleri nedir?		X			
Yer örtücüleri, bodur çalılar, tek ya da çok yıllık otlar		Ekstensif			
Ağaçlar, büyük çalılar, çim		İntensif			
Çatı eğimi tercihiniz nedir?			X		
Evet (Teras Çatı)			Teras		
Hayır (Eğimli Çatı)			Eğimli		
Çatıda doğal havalandırma boşluğu olacak mı?				X	

Evet (Soğuk çatı; ısı yalıtımının üzerinde havalandırma boşluğunun bulunduğu çatı tipidir.)				Soğuk	
Hayır (Sıcak çatı; havalandırma boşluğunun bulunmadığı çatı tipleridir.)				Sıcak	
Isı yalıtım levhası su yalıtımının altında mı üstünde mi yer alacak?					X
Altında (Düz Çatı)					Düz
Üstünde (Ters çatı)					Ters

Model Algoritması ve Parametre İlişkileri

Önerilen modelin algoritması Şekil 3.2’te gösterilmiştir. Modelin girdi parametreleri ana ve alt parametreler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Ana parametreler; birden fazla çıktıyı etkilerken, alt parametreler sadece görselleştirme çıktısına etki etmektedir. Bu sebeple ilk olarak ana parametreler, kullanıcının Tablo ??’te listelenen sorulara verilen cevaplar üzerinden belirlenmektedir. Alt parametreler ise, ana parametreler belirlendikten sonra kullanıcının doğrudan seçimiyle belirlenmektedir.



Şekil 3.2 Model algoritma şeması

Bölge parametresi sorusu için; Marmara, Ege, Akdeniz, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu olmak üzere yedi farklı cevap seçeneği bulunmaktadır. Bu parametre, bilgilendirme ve bitkilendirme çıktılarına etki etmektedir. Bölge seçimi,

bitki önerilerini sınırlandırmaktadır. Ayrıca bölge seçimi, eğim parametresinin sınır değerlerine de etki etmektedir. Bu sebeple, dolaylı olarak görselleştirme çıktısına da etki etmektedir. Bitki tipi parametresi için; ekstensif ve intensif olmak üzere iki adet cevap seçeneği bulunmaktadır. Bu parametre, üç çıktıya da etki etmektedir. Ayrıca toprak (yetiştirme ortamı) kalınlığı alt parametresinin sınır değerlerine etki etmektedir. Eğim parametresi için; eğimli ve teras olmak üzere iki cevap seçeneği bulunmaktadır. Teras cevabı seçildiğinde; yeşil çatılarda minimum eğimin %2 olması önerildiğinden, eğim yüzdesi otomatik olarak %2 olarak belirlenmektedir. Eğim cevabı seçildiğinde ise; kullanıcıya sınırları bölge parametresi seçimi ile belirlenen kaydırma butonu sunulmaktadır. Kullanıcı, bu buton ile eğim yüzdesini ayarlayabilmektedir. Bölgeye göre değişen eğim sınırı değeri; 20.05.2018 tarih ve 30426 sayılı İstanbul İmar Yönetmeliği'nin 44. Maddesinde; İstanbul ilinde yer alan yapıların "çatı eğimi %45'i geçmemek kaydıyla" ibaresi yer aldığından, bu doğrultuda belirlenmiştir [124]. Havalandırma parametresi de; havalandırma boşluğu olacak (soğuk çatı) veya havalandırma boşluğu olmayacak (sıcak çatı) şeklinde iki cevap seçeneğinden oluşmaktadır. Bu parametre, görselleştirme ve bilgilendirme çıktısına etki etmektedir. Yalıtım sırası parametresi için ise; ısı yalıtım levhasının su yalıtımının altında (düz çatı) veya üstünde (ters çatı) konumlanma durumunu içeren iki cevap seçeneği bulunmaktadır. Bu parametre de, görselleştirme ve bilgilendirme çıktısını etkilemektedir.

Tablo 3.4 Parametre ve katman ilişkileri

	Bölge	Bitki Tipi	Eğim	Havalandırma	Yalıtım Sırası
İlişkili Katman	Bitki	Bitki	Taşıyıcı Sistem	Isı Yalıtımı	Buhar Kesici
		Toprak	Kayma Önleyici	2. Çatı Düzlemi	Isı Yalıtımı
		Drenaj		Boşluk	
				Buhar Kesici	

Birden fazla çıktıya etki eden ana parametre kararları ile, görselleştirme çıktısında etki ettikleri katmanlar Tablo 3.4'de gösterilmiştir. Bu tabloda belirtildiği üzere bölge parametresi; kullanılabilir bitki tipini ve eğimin sınır değerlerini belirlemektedir. Bitkilendirme tipi; yeşil çatı tipini etkileyerek alt katmanlardan büyük ölçüde yetiştirme ortamı ve drenaj tabakasını etkilemektedir. Intensif yeşil çatılarda büyük çalılar ve ağaçlar kullanıldığından, derin yetiştirme ortamı gerekmektedir ve bu sebeple bitki taşıyıcı tabakanın kalınlığı 15 cm ve üzeri olmaktadır. Kullanılan bitkilerin gelişmiş sulama ve drenaj ihtiyacından dolayı ise, karmaşık altyapı gerektirmektedir ve bu durum drenaj tabakası kalınlığının artmasına sebep olmaktadır. Ekstensif yeşil çatılarda ise ağırlıklı olarak kuraklığa dayanıklı yer örtücü bitkiler kullanıldığından daha sık yetiştirme ortamı gerektirmektedir ve bitki taşıyıcı tabakanın kalınlığı 5 ile 15 cm arasında değişmektedir [141]. Yine aynı sebepten dolayı, gelişmiş

drenaj ya da sulama sistemleri gerektirmediğinden drenaj tabakasının kalınlığı da intensif yeşil çatılara göre daha az olmaktadır.

Yeşil çatı sistem katmanlarını etkileyen diğer unsurlar ise çatı eğimi, havalandırma boşluğunun olup olmaması ve kullanılan yalıtımların sırasıdır. Yeşil çatılarda minimum çatı eğiminin % 2 olması önerilmektedir. Eğim yüzdesinin değişmesi taşıyıcı sistemi etkilemektedir. Ayrıca % 30'dan fazla eğime sahip çatılarda toprağın kaymasını önlemek amacıyla, bitki yetiştirme tabakasına kayma önleyici eklenmesi önerilmektedir. Çatılarda havalandırma boşluğunun olup olmaması ise; su yalıtımının konumunu etkilemektedir. Havalandırma boşluğunun bulunduğu soğuk çatılarda, su yalıtımı havalandırma boşluğunun üzerindeki ikinci çatı düzleminin üzerine uygulanmaktadır. Havalandırma boşluğunun bulunmadığı sıcak çatılarda ise; doğal havalandırma olmadığından, taşıyıcı sistemin zarar görmemesi için, ısı yalıtımının altında oluşabilecek yoğuşmaları önlemek amacıyla ısı yalıtımı ile taşıyıcı sistemin arasına buhar kesici katman eklenmelidir. Yalıtım sırası parametresi ise ısı yalıtımı ve su yalıtımının konumunu etkilemektedir. Isı yalıtımı su yalıtımının altında ise düz çatı, veya üstünde ise ters çatı olmaktadır. Yine yoğuşmanın önlenmesi için düz çatılarda, ısı yalıtımı ile taşıyıcı sistemin arasına buhar kesici katman eklenmelidir.

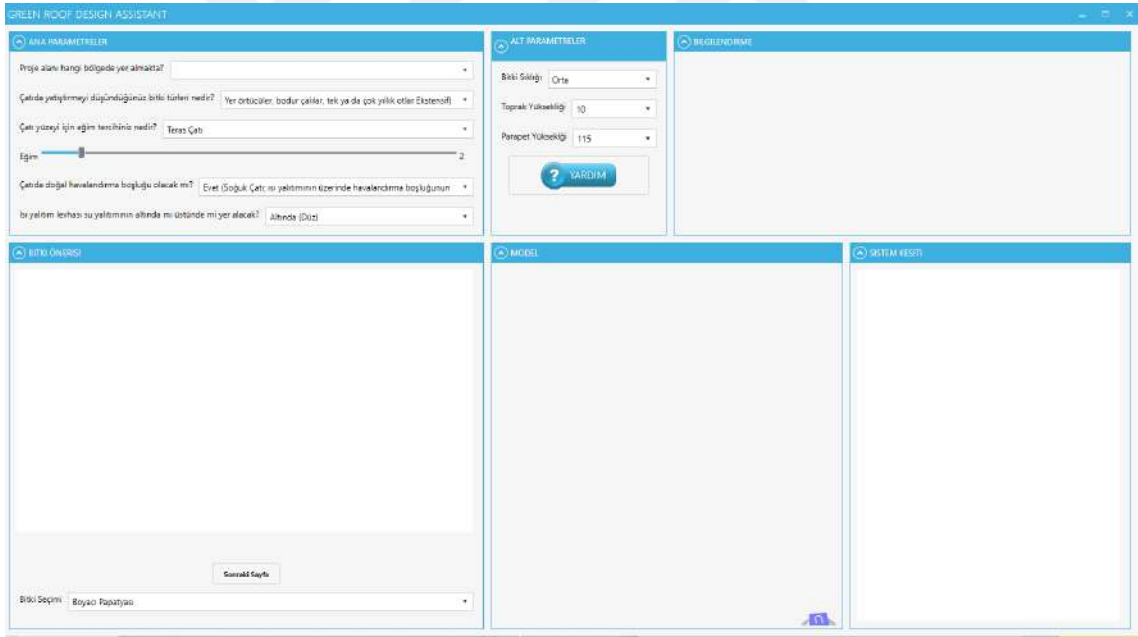
2.3 bölümünde incelenen örnekler ve Tablo 2.10'te listelenen firma kesitlerinden yola çıkılarak Tablo 3.8'te gösterilen olası yeşil çatı kesitleri oluşturulmuştur. Her ana parametre kombinasyonu sonucunda bir adet kesit çıktısı sunulmak üzere toplam 16 adet sistem kesiti oluşturulmuştur. Bu kesitler arayüzün görselleştirme kısmında yer almaktadır. Bu görselleştirme algoritmasının çalışma mekanizması ise 3.3 bölümünde detaylandırılmıştır.

3.3 Model Arayüzü ve Çıktı Algoritmaları

Bu çalışma kapsamında üretilen, yeşil çatı tasarımı için sistem modeli "Rhino" programının görsel programlama eklentisi olan "Grasshopper"da oluşturulmuştur. Parametrik modelleme yöntemi ile oluşturulan model; görselleştirme (3.3), bitki önerisi (3.3), ve bilgilendirme (3.3) olmak üzere üç algoritma ile bunları bir araya getiren arayüz (3.3) algoritmasından oluşmaktadır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bu algoritmaların akış diyagramları ve ürettikleri çıktılar açıklanmıştır. Görsel kodlamalar ise çalışmanın genel anlaşılabilirliğini arttırmak için ek B'de gösterilmiştir (Şekil B.1).

Arayüz

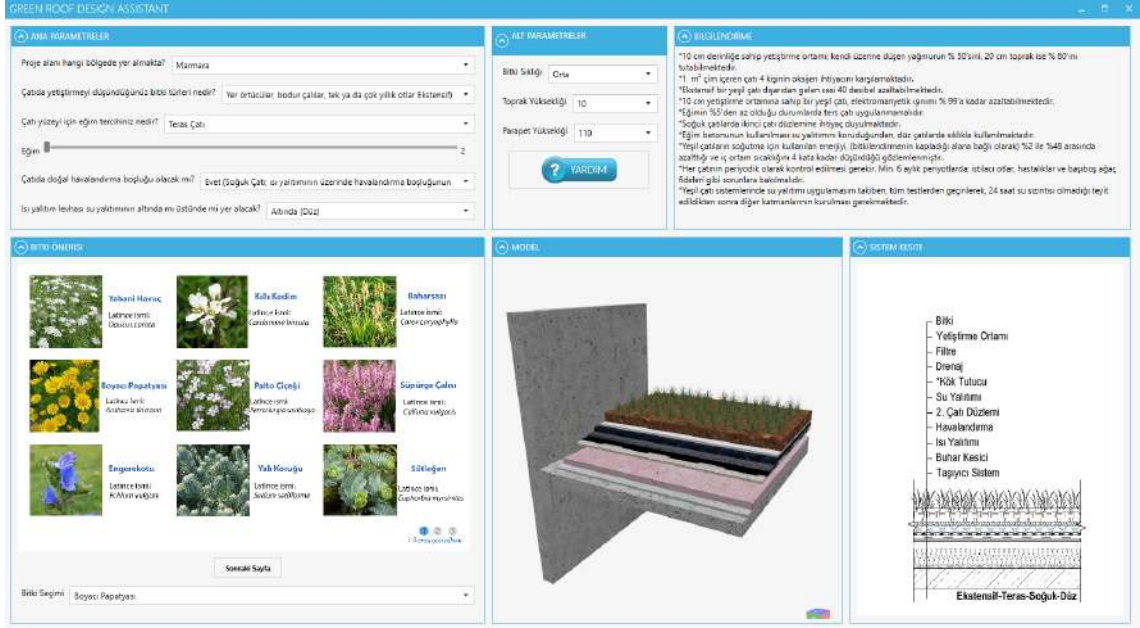
Arayüz algoritması; görselleştirme, bitki önerisi ve bilgilendirme algoritma çıktılarını bir araya getiren algoritmadır. Kullanıcı etkileşimi bu algoritmanın çıktısı olan arayüz ile sağlanmıştır. Bu modül için "Grasshopper"ın görece karmaşık görsel programlama arayüzünde oluşturulan tasarımlara alternatif bir arayüz oluşturmayı sağlayan "HumanUI" eklentisi kullanılmıştır. Ancak kullanılan eklenti; arayüze yeni bir çıktı eklendiğinde sistemin bozulmasına sebep olduğu için, uygulama açılış sayfası arayüze kısmi olarak entegre edilmiştir. Arayüzün açılış sayfasında; bitki önerisi filtresi, üç boyutlu model, sistem kesiti ve bilgilendirme çıktıları Şekil 3.3'de görülen boş pozisyonda açılmaktadır. Ayrıca arayüzün ortasında (alt parametre sekmesinde) yardım butonu yer almaktadır. Kullanıcı bu buton aracılığıyla, önceden hazırlanmış eğitim videosununa yönlendirmektedir. Ayrıca yine kullanılan eklentinin sınırlılıkları sebebiyle, parametre seçimlerinin başlangıçta boş olarak çıkması ve sırayla açılması sağlanamamıştır. Bunun yerine ilk sırada yer alan bölge parametresinin seçimi ile, arayüz çıktıları aktif hale gelmektedir. Başlangıç seçimleri; Ekstensif-Teras-Sıcak-Ters kategorisinin çıktılarını verecek şekilde belirlenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 Arayüz açılış sayfası

Geliştirilen modelin arayüzü Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Arayüz iki etkileşim ve dört çıktı olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır. Ana ve alt parametrelerin yer aldığı bölümler, kullanıcıların yeşil çatı tasarım kriterlerine karar verdikleri etkileşim bölümleridir. Ana parametre bölümünde Tablo ??'te gösterilen beş soru ve çatı eğimini belirleyen eğim kontrol paneli yer almaktadır. Kullanıcılar, yeşil çatı tasarımları için kriterlerini bu bölümde belirlemektedir. Eğim kontrolünün sadece eğimli çatı seçildiği takdirde oluşması planlanmıştır. Ancak kullanılan eklentinin sınırlılıkları sebebiyle bu

işlem gerçekleştirilememiştir. Bunun yerine eğim kontrolü, teras çatı seçildiği takdirde pasif konuma gelerek etkileşime kapanmaktadır.



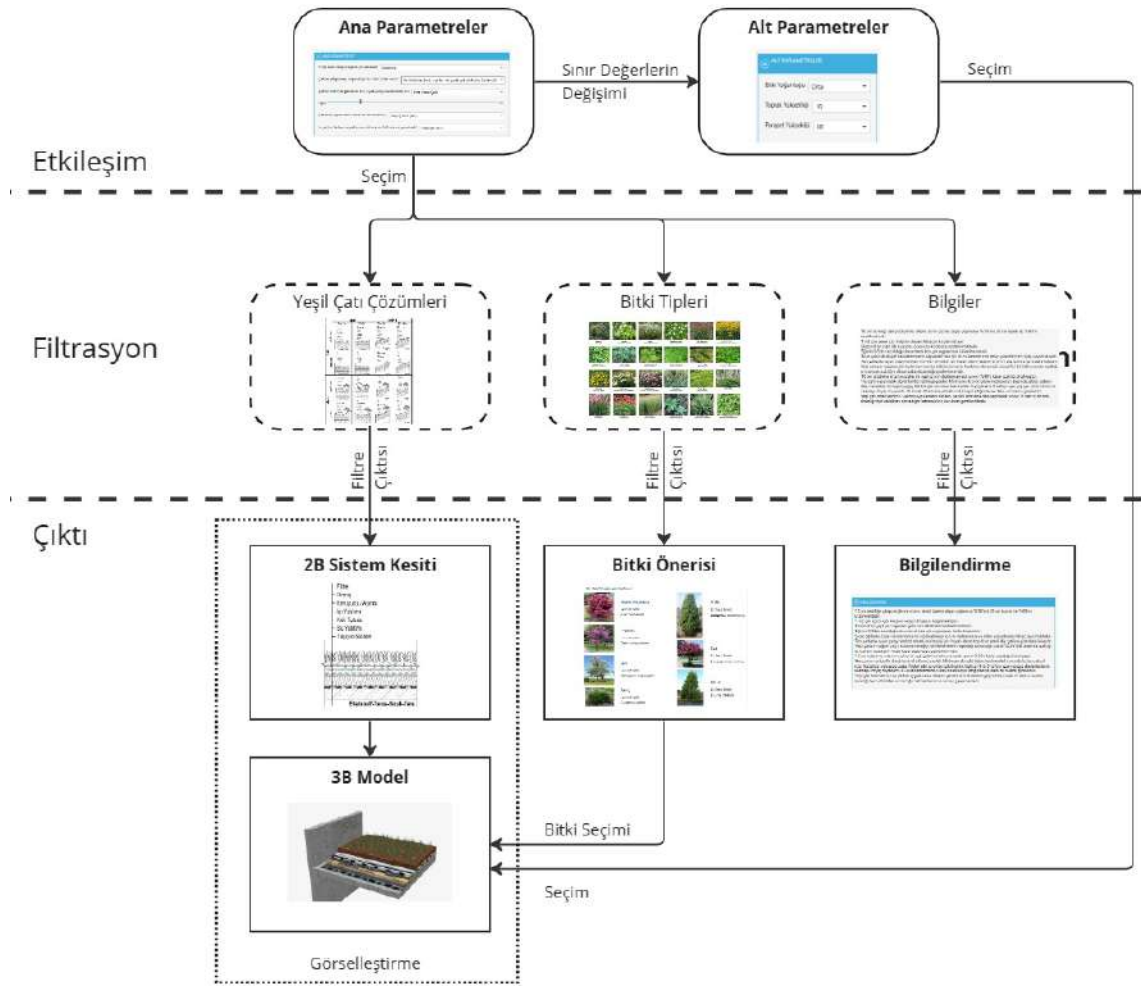
Şekil 3.4 Geliştirilen modelin arayüzü

Alt parametre bölümünde ise sırasıyla bitki sıklığı, toprak (kalınlığı) yüksekliği ve parapet yüksekliğinin belirlendiği seçim bölümleri bulunmaktadır. Bitki sıklığı bölümü için; sık, orta ve seyrek olmak üzere üç seçenek bulunmaktadır. Toprak yüksekliği ise seçilen bitki tipine ve dolayısıyla yeşil çatı tipine göre sınırları değişen, cm cinsinden seçeneklerden oluşmaktadır. Parapet yüksekliği için ise 110 cm ile 160 cm aralığında eşit aralıklı 10 seçenek bulunmaktadır.

Arayüzün çıktıları ise görselleştirme, bitki önerisi ve bilgilendirme bölümlerinden oluşmaktadır. Etkileşim bölümünde gerçekleştirilen seçimlere göre arka planda filtrasyon işlemi gerçekleştirilerek çıktılar belirlenmektedir (Şekil 3.5). Ardından belirlenen çıktılar arayüzde ilgili bölüme yansıtılarak kullanıcıya sunulmaktadır.

Arayüzün sağ üstünde bulunan bilgilendirme bölümünde ana parametre seçimlerine göre filtrelenerek kullanıcıya sunulan bilgilendirme yazıları yer almaktadır. Kullanılan filtrasyon algoritması, 3.3 bölümünde açıklanmıştır. Bu bölümün amacı, kullanıcıya seçimleri doğrultusunda önerilen yeşil çatı sistemi hakkında bilgiler vermektedir.

Arayüzün sol altında ise bitki önerisi bölümü yer almaktadır. Bu bölümde kullanıcıya parametre seçimleri doğrultusunda önerilen yeşil çatı sisteminde kullanabileceği bitki türleri önerilmektedir. Kullanıcı önerileri inceledikten sonra bu bölümün en altında yer alan seçim bölümünden kullanmak istediği bitki türünü seçmektedir. Bu seçime göre üç boyutlu model bölümünde yer alan bitki katmanı değişmektedir.



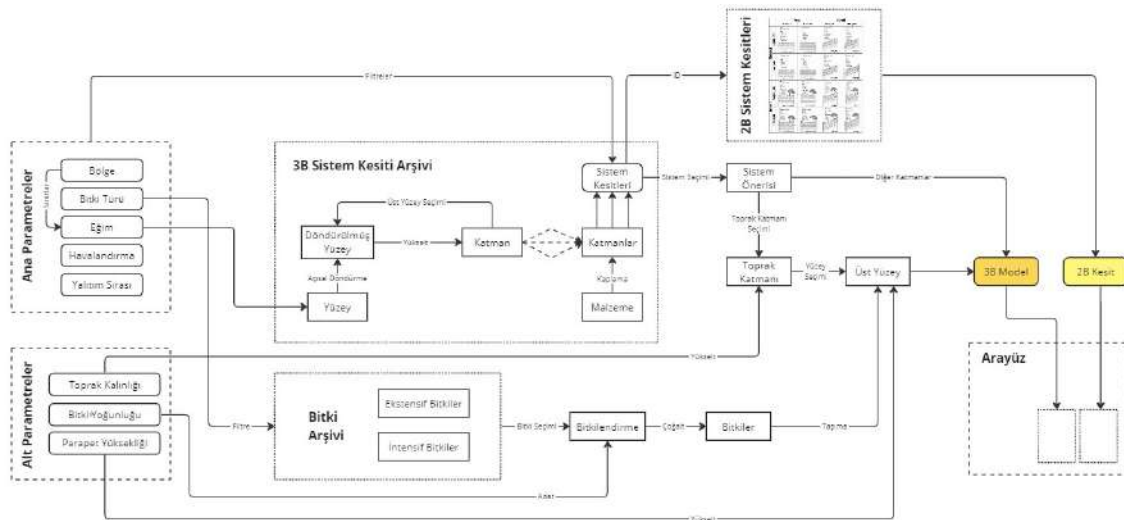
Şekil 3.5 Arayüz algoritması

Arayüzün sağ altında ise görselleştirme bölümü yer almaktadır. Bu bölüm iki ve üç boyutlu olmak üzere iki alt bölümden oluşmaktadır. Ana parametre seçimlerine göre ilk olarak Tablo 3.8'te aktarılan sistem kesitleri arasında ilgili sistem belirlenmektedir. Ardından kullanıcının alt parametre seçimlerine göre bu sistem özelleştirilerek üç boyutlu model çıktısı oluşturulmaktadır.

Görselleştirme Algoritması

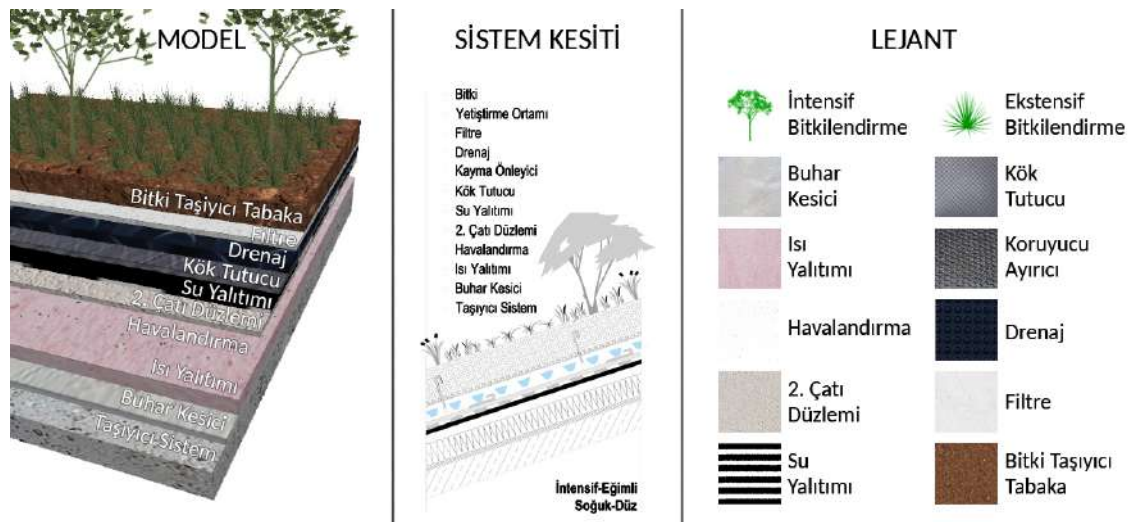
Yeşil çatılar, çeşitli kriterlere göre farklılaşıp özellenen karmaşık sistemlerdir. Bu tasarım kriterleri, bir önceki bölümde kurulan ilişkilere göre çözümlenerek tasarım girdileri elde edilmiş ve bu girdiler üzerinden Şekil 3.6'te görülen görselleştirme algoritması üretilmiştir.

Algoritmaya ilk olarak 100cm x 200cm boyutlarında bir yüzeyle başlanmaktadır. Bu yüzey kullanıcının belirlediği eğim yüzdesine göre x ekseninde döndürülmektedir. Bu sayede çatı eğimi oluşturulmaktadır. Ardından elde edilen yeni yüzey, yüzey



Şekil 3.6 Görselleştirme algoritması

normalinde ilgili katman kalınlığı kadar yükseltilmektedir. Bu işlem; üretilen katmanın üst yüzeyi tekrar seçilerek her bir katman için tekrarlanmaktadır. Bu döngü 16 kesit alternatifi tamamlanana kadar devam etmektedir. Döngünün tamamlanması ile 16 yeşil çatı alternatifinden oluşan sistem kesiti arşivi üretilmektedir. Bu arşiv kullanıcının ana parametre seçimleri doğrultusunda filtrelenerek, bir adet sistem önerisi seçilmektedir. Seçilen sistemin ID'si aynı zamanda daha önceden hazırlanan iki boyutlu sistem kesitleri (Tablo 3.8) içerisinde seçim yapmak için de kullanılmaktadır. Bu sayede üç boyutlu model ile iki boyutlu sistem arasında uyumluluk sağlanmaktadır. Seçilen iki boyutlu kesit (Şekil 3.6'da sarı ile işaretlenmiştir.) arayüzde ilgili bölüme yansıtılmaktadır. Üç boyutlu model ise arayüze yansıtılmadan önce alt parametre seçimlerine göre özelleştirilmektedir. Görselleştirme çıktılarında kullanılan katmanların lejantı Şekil 3.7'da gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Görselleştirme çıktılarında kullanılan katmanların lejantı

İki boyutlu sistem kesitleri için "Autocad" yazılımı ile oluşturulan kesit alternatifleri Şekil 3.8’de listelenmiştir. Bu kesitler; 2.2 bölümündeki katmanlar, 2.5 bölümündeki tasarım kriterleri, 2.3 bölümünde incelenen yeşil çatı çözümleri ve [30]’in geliştirdiği yeşil çatı tasarım seçeneklerinden yola çıkılarak ortaya konmuştur. Toplamda her biri farklı bir sistem çözümüne karşılık gelen 16 yeşil çatı kesiti oluşturulmuştur. Bu sayede her bir ana parametrenin sistem seçimine etki etmesi sağlanmıştır. İki boyutlu sistem kesiti çıktısı model ile eş zamanlı olarak parametre seçimlerine göre değişmektedir.

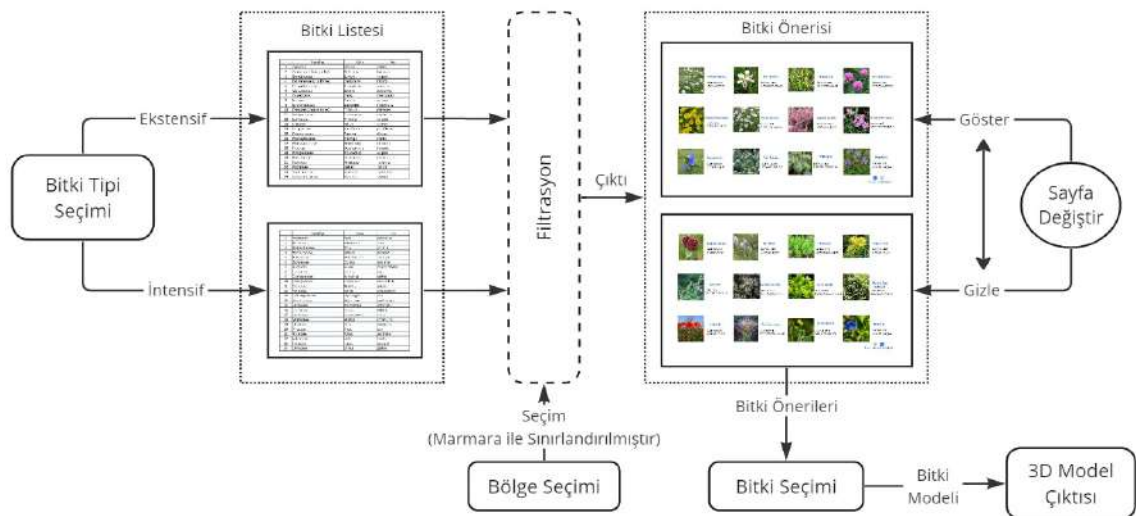
Şekil 3.8 Model sonucunda üretilen detay alternatifleri

		Teras		Eğimli	
		Ters Çatı	Düz Çatı	Ters Çatı	Düz Çatı
Ekstensif	Soğuk Çatı	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj *Kök Tutucu 2. Çatı Düzlemi - Havalandırma - Isı Yalıtımı - Su Yalıtımı - Taşıyıcı Sistem Ekstensif-Teras-Soğuk-Ters	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj *Kök Tutucu - Su Yalıtımı 2. Çatı Düzlemi - Havalandırma - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem Ekstensif-Teras-Soğuk-Düz	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj *Kök Tutucu 2. Çatı Düzlemi - Havalandırma - Isı Yalıtımı - Su Yalıtımı - Taşıyıcı Sistem Ekstensif-Eğimli Soğuk-Ters	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj *Kök Tutucu - Su Yalıtımı 2. Çatı Düzlemi - Havalandırma - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem Ekstensif-Eğimli Soğuk-Düz
	Sıcak Çatı	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Koruyucu / Ayırıcı - Isı Yalıtımı *Kök Tutucu - Su Yalıtımı - Taşıyıcı Sistem Ekstensif-Teras-Sıcak-Ters	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj *Kök Tutucu - Su Yalıtımı - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem Ekstensif-Teras-Sıcak-Düz	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Koruyucu / Ayırıcı *Kök Tutucu - Su Yalıtımı - Taşıyıcı Sistem Ekstensif-Eğimli Sıcak-Ters	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj *Kök Tutucu - Su Yalıtımı - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem Ekstensif-Eğimli Sıcak-Düz
İntensif	Soğuk Çatı	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Kök Tutucu 2. Çatı Düzlemi - Havalandırma - Isı Yalıtımı - Su Yalıtımı - Taşıyıcı Sistem İntensif-Teras-Soğuk-Ters	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Kök Tutucu - Su Yalıtımı 2. Çatı Düzlemi - Havalandırma - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem İntensif-Teras-Soğuk-Düz	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Kayma Önleyici - Kök Tutucu 2. Çatı Düzlemi - Havalandırma - Isı Yalıtımı - Su Yalıtımı - Taşıyıcı Sistem İntensif-Eğimli Soğuk-Ters	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Kayma Önleyici - Kök Tutucu - Su Yalıtımı 2. Çatı Düzlemi - Havalandırma - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem İntensif-Eğimli Soğuk-Düz
	Sıcak Çatı	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Koruyucu / Ayırıcı - Kök Tutucu - Su Yalıtımı - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem İntensif-Teras-Sıcak-Ters	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Kök Tutucu - Su Yalıtımı - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem İntensif-Teras-Sıcak-Düz	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Kayma Önleyici - Koruyucu / Ayırıcı - Kök Tutucu - Su Yalıtımı - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem İntensif-Eğimli Sıcak-Ters	- Bitki - Yetiştirme Ortamı - Filtre - Drenaj - Kayma Önleyici - Kök Tutucu - Su Yalıtımı - Isı Yalıtımı - Buhar Kesici - Taşıyıcı Sistem İntensif-Eğimli Sıcak-Düz

Özelleştirme için ise ilk olarak filtreleme sonucu seçilen sistem önerisinin toprak katmanını seçilerek toprak kalınlığı alt parametresinin seçimine göre ayarlanmaktadır. Ardından bitki arşivi içerisinde ana parametre seçimlerine göre filtrelenen bitki önerisi, bitki sıklığı değerine göre çoğaltılarak toprak katmanının üst yüzeyine yerleştirilmektedir. Son adımda yine toprak katmanının üst yüzeyinden parapet yüksekliği, alt parametresinin seçimine göre yükseltme yapılarak parapet oluşturulmaktadır. Elde edilen model diğer katmanlar ile birleştirilerek (Şekil 3.6'de turuncu ile işaretlenmiştir.) arayüze yansıtılmaktadır. Parametrik olarak oluşturulan bu model sayesinde kullanıcı; seçimlerinin sonucunda değişen sistem alternatiflerini eş zamanlı olarak görebilmektedir. Aynı zamanda kullanıcı üç boyutlu model çıktısını arayüz üzerinden döndürerek farklı açılardan inceleyebilmektedir.

Bitki Önerisi Algoritması

Bitki önerisi algoritması; diğer algoritmalar ile benzer şekilde filtrasyon sistemine dayanmaktadır. Algoritmanın akış şeması Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Algoritma ilk olarak bitki tipi seçimi ile başlamaktadır. Kullanıcının ekstensif veya intensif seçimine göre ilgili bitki listesi belirlenerek bölge seçimi parametresine göre filtrelenmektedir. Bu seçim bu çalışma kapsamında marmara bölgesi ile sınırlandırılmıştır. Ardından kullanıcının ana parametre seçimlerine göre önceden hazırlanmış bitki önerileri arasından seçim yapılarak, kullanıcıya arayüz üzerinden bitki alternatifleri sunulmaktadır. Kullanıcı, bu alternatiflerin bulunduğu sayfalar arasında "sonraki sayfa" butonuna basarak geçiş yapabilmektedir. Kullanıcı sayfaları inceleyerek bu bitkiler arasından seçim işlemini gerçekleştirmektedir. Seçim işlemine bağlı olarak belirlenen bitkinin modeli görselleştirme çıktısına eklenmektedir.



Şekil 3.9 Bitki önerisi algoritması

Filtrasyona giren ekstensif ve intensif bitki listeleri ise; [34] ve [27]'daki verilere dayanmaktadır. [34]'daki çalışma alanının, İstanbul koşullarında ekstensif yeşil çatı sisteminin uygulanabilirliği açısından model teşkil ettiği görülmektedir. Söz konusu çalışma kapsamında Türkiye florası dahilinde Marmara bölgesinde doğal olarak yayılış gösteren türler tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda; Marmara bölgesinde doğal olarak bulunan ve ekstensif yeşil çatılar için önerilen bitkilerin, İstanbul'daki ekstensif yeşil çatı sistemlerinin koşullarına uyum sağlayabileceği belirtilmiştir. Bu sebeple [34]'daki Marmara bölgesinde doğal olarak bulunan ve İstanbul şartlarında ekstensif yeşil çatı sistemlerinde kullanılabilecek potansiyel türler listesi bitki türleri çıktısı olarak ele alınmıştır. Bu çalışma kapsamında, ekstensif yeşil çatılar için bitki önerisi filtresi olarak her familyadan birer adet tür seçilmiştir. Seçilen türler Tablo 3.5'de listelenmiştir.

Tablo 3.5 Ekstensif yeşil çatı sistemlerinde kullanılabilecek bitki türleri seçimi ([34]'ten uyarlanmıştır)

	Familya	Cins	Tür
1	<i>Apiaceae</i>	<i>Daucus</i>	<i>carota</i>
2	<i>Asteraceae (Compositae)</i>	<i>Anthemis</i>	<i>tinctoria</i>
3	<i>Boraginaceae</i>	<i>Echium</i>	<i>vulgare</i>
4	<i>Brassicaceae (Cruciferae)</i>	<i>Cardamine</i>	<i>hirsuta</i>
5	<i>Caryophyllaceae</i>	<i>Petrorhagia</i>	<i>saxifraga</i>
6	<i>Crassulaceae</i>	<i>Sedum</i>	<i>sediforme</i>
7	<i>Cyperaceae</i>	<i>Carex</i>	<i>caryophylla</i>
8	<i>Ericaceae</i>	<i>Calluna</i>	<i>vulgaris</i>
9	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia</i>	<i>myrsinites</i>
10	<i>Fabaceae (Leguminosae)</i>	<i>Trifolium</i>	<i>pratense</i>
11	<i>Gentianaceae</i>	<i>Centaurium</i>	<i>erythraea</i>
12	<i>Lamiaceae</i>	<i>Prunella</i>	<i>vulgaris</i>
13	<i>Liliaceae</i>	<i>Allium</i>	<i>vineale</i>
14	<i>Onagraceae</i>	<i>Epilobium</i>	<i>parviflorum</i>
15	<i>Papaveraceae</i>	<i>Papaver</i>	<i>rhoeas</i>
16	<i>Plantaginaceae</i>	<i>Plantago</i>	<i>media</i>
17	<i>Plumbaginaceae</i>	<i>Goniolimon</i>	<i>incanum</i>
18	<i>Poaceae</i>	<i>Deschampsia</i>	<i>flexuosa</i>
19	<i>Polygonaceae</i>	<i>Polypodium</i>	<i>vulgare</i>
20	<i>Primulaceae</i>	<i>Lysimachia</i>	<i>nummularia</i>
21	<i>Rosaceae</i>	<i>Medicago</i>	<i>lupulina</i>
22	<i>Rubiaceae</i>	<i>Galium</i>	<i>verum</i>
23	<i>Saxifragaceae</i>	<i>Saxifraga</i>	<i>paniculata</i>
24	<i>Scrophulariaceae</i>	<i>Veronica</i>	<i>persica</i>

[27]'de ise Türkiyede yetişebilen ve intensif yeşil çatı uygulamalarında kullanılabilecek ağaçlar ve çalılar içeren iki farklı tablodaki türler bitkilendirme çıktısı olarak ele alınmıştır. Ekosistemlerin bütünlüğünü korumaya yönelik avantajları nedeniyle, doğal

bitki türleri hem kentsel hem de kırsal ekosistemler için son derece önemlidir. Bu sebeple iki tablonun birleşiminden, intensif yeşil çatılar için bitki önerisi filtresi olarak yine sadece doğal yayılışa sahip olan familyalardan birer adet tür seçilmiştir. Seçilen türler Tablo 3.6'de listelenmiştir.

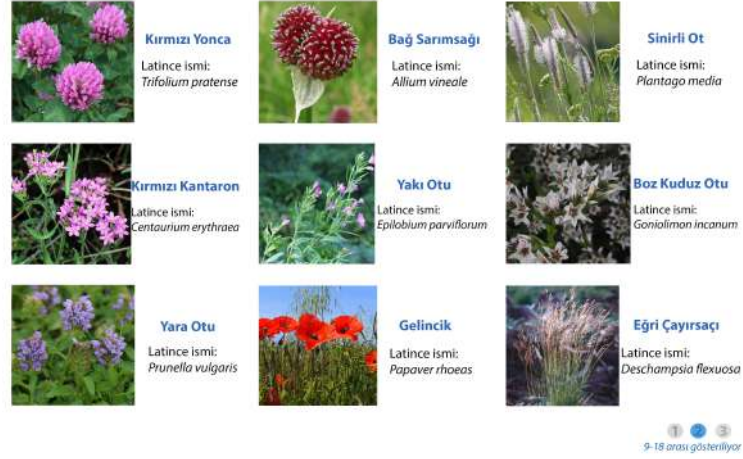
Tablo 3.6 İntensif yeşil çatı sistemlerinde kullanılabilecek ağaç ve çalı türleri seçimi ([27]'den uyarlanmıştır)

	Familya	Cins	Tür
1	<i>Aceraceae</i>	<i>Acer</i>	<i>palmatum</i>
2	<i>Adoxaceae</i>	<i>Viburnum</i>	<i>tinus</i>
3	<i>Anacardiaceae</i>	<i>Rhus</i>	<i>coriaria</i>
4	<i>Apocynaceae</i>	<i>Nerium</i>	<i>oleander</i>
5	<i>Asteraceae</i>	<i>Helichrysum</i>	<i>italicum</i>
6	<i>Betulaceae</i>	<i>Corylus</i>	<i>avellana</i>
7	<i>Buxaceae</i>	<i>Buxus</i>	<i>sempervirens</i>
8	<i>Cornaceae</i>	<i>Cornus</i>	<i>mas</i>
9	<i>Cupressaceae</i>	<i>Juniperus</i>	<i>sabina</i>
10	<i>Elaeagnaceae</i>	<i>Elaeagnus</i>	<i>angustifolia</i>
11	<i>Ericaceae</i>	<i>Arbutus</i>	<i>unedo</i>
12	<i>Fabaceae</i>	<i>Cercis</i>	<i>siliquastrum</i>
13	<i>Hydrangeaceae</i>	<i>Hydrangea</i>	<i>spp.</i>
14	<i>Hypericaceae</i>	<i>Hypericum</i>	<i>perforatum</i>
15	<i>Lamiaceae</i>	<i>Rosmarinus</i>	<i>officinalis</i>
16	<i>Lauraceae</i>	<i>Laurus</i>	<i>nobilis</i>
17	<i>Lythraceae</i>	<i>Lagerstromia</i>	<i>indica</i>
18	<i>Myrtaceae</i>	<i>Myrtus</i>	<i>communis</i>
19	<i>Oleaceae</i>	<i>Olea</i>	<i>europaea</i>
20	<i>Pinaceae</i>	<i>Picea</i>	<i>spp.</i>
21	<i>Rosaceae</i>	<i>Pyrus</i>	<i>salicifolia</i>
22	<i>Salicaceae</i>	<i>Salix</i>	<i>lanata</i>
23	<i>Taxaceae</i>	<i>Taxus</i>	<i>baccata</i>
24	<i>Ulmaceae</i>	<i>Ulmus</i>	<i>glabra</i>

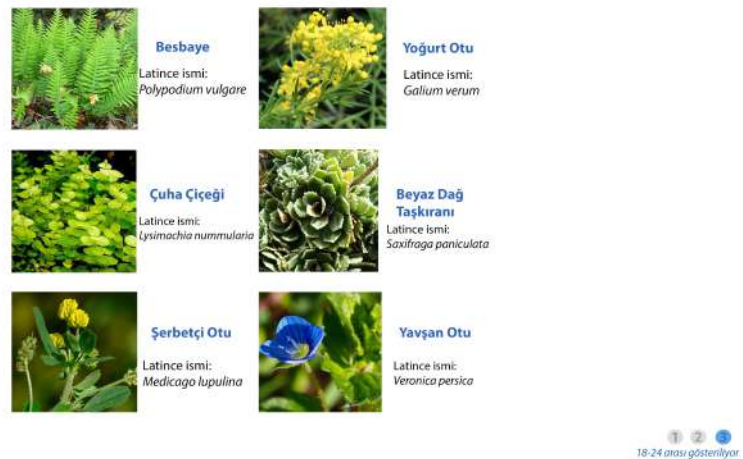
Bitki önerisi algoritması, bitki alternatifleri bölge seçimine göre değişebilecek şekilde kurgulanmış ancak bu çalışma kapsamında Marmara Bölgesi ve İstanbul İli ile sınırlandırılmıştır. Bu sebeple filtrasyon sonucunda ekstensif ve intensif olmak üzere iki alternatif bitki tipi üretilmektedir. Her alternatifte 24 adet bitkilendirme seçeneği bulunmaktadır. Bu algoritma çıktısı sonucunda arayüzde görülen ekstensif bitki arayüz çıktıları sırasıyla; şekil 3.10'de, şekil 3.11'de ve şekil 3.12'de gösterilmiştir. İntensif bitki arayüz çıktıları ise sırasıyla şekil 3.13'da, şekil 3.14'da ve şekil 3.15'da gösterilmiştir. Bu çıktılarda her bitki için; görsel, Türkçe ismi ve Latince ismi olmak üzere üç bilgi yer almaktadır. Bu bilgiler; ilk 2 sayfada 9 adet, son sayfada ise 6 adet olacak şekilde arayüzde sunulmuştur. Kullanıcı sonraki butonu ile ikinci ve üçüncü sayfalara geçiş yapabilmektedir. Bitki filtrasyon çıktısının altında ise



Şekil 3.10 Ekstensif bitki arayüzü çıktısı-1



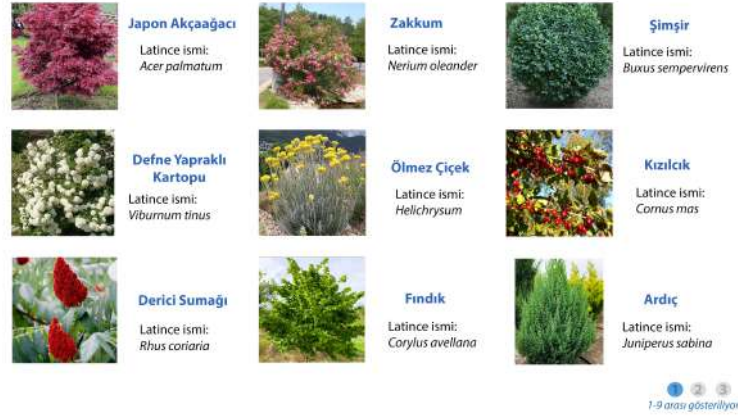
Şekil 3.11 Ekstensif bitki arayüzü çıktısı-2



Şekil 3.12 Ekstensif bitki arayüzü çıktısı-3

kullanıcının bitki tercihlerini yapabileceği seçim bölümü yer almaktadır. Seçim bölümündeki bitki isimlerinden istenilen bitki adının seçilmesi ile görselleştirme çıktısı

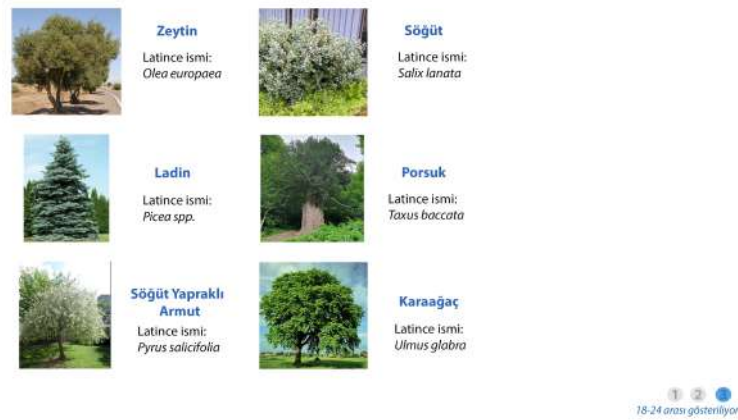
güncellenmektedir. Bu bölümün filtrasyon seçenekleri bitki tipi ana parametresinin seçimine göre belirlenen, yeşil çatının intensif ya da ekstensif olma durumuna göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 3.13 İntensif bitki arayüzü çıktısı-1



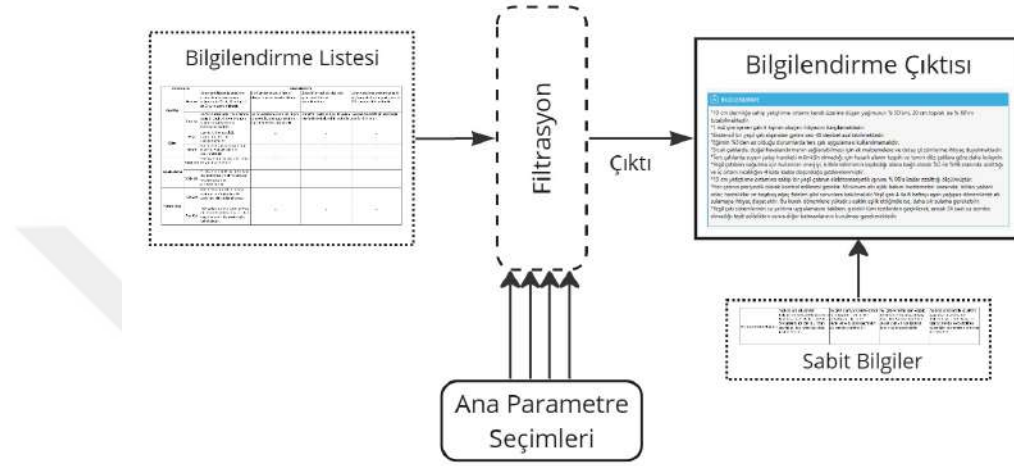
Şekil 3.14 İntensif bitki arayüzü çıktısı-2



Şekil 3.15 İntensif bitki arayüzü çıktısı-3

Bilgilendirme Algoritması

Bilgilendirme algoritmasının akış şeması şekil 3.16'de gösterilmiştir. Bu algoritma; kullanıcının ana parametre seçimleri doğrultusunda, Tablo 3.7'de gösterilen filtrasyon işlemini gerçekleştirerek kullanıcıya seçtiği yeşil çatı sistemi hakkında bilgiler sunmaktadır. Parametre seçimlerine bağlı olarak filtrelenen bilgilere ek olarak parametre seçimlerine bağlı olmaksızın sabit olarak arayüze yansıtılan genel bilgilendirmeler de bulunmaktadır.



Şekil 3.16 Bilgilendirme algoritması

Bu algoritmanın sonucunda belirlenen bilgilendirmeler yazılı olarak arayüze yansıtılarak kullanıcıya sunulmaktadır. Bu sayede kullanıcının belirlediği yeşil çatı sistemi ve bitkiler hakkında dikkat etmesi gereken noktaları öğrenmesi amaçlanmaktadır. Bunlara ek olarak kullanıcıyı, yeşil çatıların faydaları hakkında bilgilendirmeye yönelik açıklamalar da yer almaktadır.

Ana parametrelerden bitki tipi seçiminin belirlediği ekstensif ve intensif yeşil çatı tipleri için dörder adet bilgilendirme mevcuttur. Eğim ana parametresinin seçim sonuçlarından teras ve eğimli çatılar için birer adet bilgilendirme mevcuttur. Havalandırma boşluğunun olup olmama durumuna göre belirlenen soğuk ve sıcak çatı seçimleri için birer adet, yalıtım sırası ana parametresinin belirlediği düz ve ters çatı seçimleri için ise yine birer adet bilgilendirme çıktısı mevcuttur. Parametre seçimlerinden bağımsız olarak, genel bilgileri içeren sabit bilgilendirmeler ise dört çıktıdan meydana gelmiştir. Bu bilgilendirmeler; enerji tasarrufu oranları, bakım süreleri, sulama ihtiyaçları ve kurulum önerilerini kapsamaktadır.

Tablo 3.7 Bilgilendirme çıktıları

PARAMETRE	SEÇENEK	BİLGİLENDİRME
Bitki Tipi	Ekstensif	*10 cm derinliğe sahip yetiştirme ortamı; kendi üzerine düşen yağmurun % 50'sini, 20 cm toprak ise % 60'ını tutabilmektedir. *1 m² çim içeren çatı 4 kişinin oksijen ihtiyacını karşılamaktadır. *Ekstensif bir yeşil çatı dışarıdan gelen sesi 40 desibel azaltabilmektedir. *10 cm yetiştirme ortamına sahip bir yeşil çatı, elektromanyetik ışıınımı % 99'a kadar azaltabilmektedir.
	İntensif	*20-40 cm arası yetiştirme ortamına sahip bir yeşil çatı, üzerine düşen yağmurun %45'ini tutma kapasitesine sahiptir. *50 cm yetiştirme ortamı kalınlığına sahip yeşil çatının yağmur tutma kapasitesi % 90'a varmaktadır.İntensif bir yeşil çatı dışarıdan gelen sesi 46-50 desibel azaltabilmektedir.Ağaçlar, hava kirliliğini azaltmada en etkili bitkilerdir.
Eğim	Teras	*Eğimin %5'den az olduğu durumlarda ters çatı uygulanmamalıdır.
	Eğimli	*Eğimin %20'yi geçtiği durumlarda, kaydırma önleyici kullanımı önerilmektedir.
Havalandırma	Soğuk Çatı	*Soğuk çatılarda ikinci çatı düzlemine ihtiyaç duyulmaktadır.
	Sıcak Çatı	*Sıcak çatılar, doğal havalandırmanın sağlanabilmesi için ek malzemeler ve detay çözümleri gerektirmektedir.
Yalıtım Sırası	Düz Çatı	*Eğim betonunun kullanılması su yalıtımını koruduğundan, düz çatılarda sıklıkla kullanılmaktadır.
	Ters Çatı	*Ters çatılarda, suyun yatay hareketi mümkün olmadığından hasarlı alan tespiti ve tamiri düz çatılara göre daha kolaydır.
Parametrelerden Bağımsız		*Yeşil çatıların soğutma için kullanılan enerjiyi, (bitkilendirmenin kapladığı alana bağlı olarak) %2 ile %48 arasında azalttığı ve iç ortam sıcaklığını 4 kata kadar düşürdüğü gözlemlenmiştir. *Her çatının periyodik olarak kontrol edilmesi gerekir. Min. 6 aylık periyotlarda; istilacı otlar, hastalıklar ve başıboş ağaç fideleri gibi sorunlara bakılmalıdır. *Yeşil çatı 4-6 haftayı aşan yağışsız dönemlerde ek sulamaya ihtiyaç duyacaktır. Bu kurak dönemlerle yüksek sıcaklık birleştiğinde ise, daha sık sulama gerekebilir. *Yeşil çatı sistemlerinde su yalıtımı uygulamasını takiben, tüm testlerden geçirilerek, 24 saat su sızıntısı olmadığı teyit edildikten sonra diğer katmanlarının kurulması gerekmektedir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeşil çatıların çıkış noktası olan çatı bahçesi fikrinin ilk ortaya çıkışı M.Ö. 2000’li yıllara dayansa da, geçmişten günümüze gelene kadar sistem yön değiştirmiştir. Teknolojinin her geçen gün ilerlemesi ve hızla artan nüfus sonucunda değişen şehir yapısı; geçmişte sadece estetik ve keyif amaçlı tasarlanan yeşil çatıların, iklimsel değişimleri iyileştirici ve enerji verimliliğini destekleyici farklı düzenlemelere göre şekillendiği sistemler olarak evrilmesine sebep olmuştur. Sürdürülebilirlik kavramının önemli bir parçası olan yeşil çatı kavramı, binaların yaşayan çevreye uyum sağlaması için kullanılan bir tanım haline gelmiştir. Yeşil çatılar; kentsel ısı adası etkisini azaltmak, karbon salınımını dengelemek, sel riskini azaltmak, enerji kaybını önlemek gibi birçok etkiye sahip olan verimli bir araçtır. Küresel ısınma kapsamında dünya çapında geliştirilen iklim senaryolarına karşı etkin bir öneme sahip ve enerji verimliliğine destek olan yeşil çatı uygulamaları her geçen gün artmaktadır. Yeşil çatıların potansiyel faydalarını değerlendirmek ve tasarım sürecine yardımcı olmak için geliştiriciler ve mimarlar tarafından kullanılabilecek kapsamlı tasarım araçlarına artan bir ihtiyaç vardır [19]. Bu alandaki bilimsel çalışma ve kaynak sayısı günden güne artsa da, özellikle tasarım sürecinde yeşil çatı sistem seçeneklerine ihtiyaç duyulduğu saptanmış ve halen keşfedilmesi gereken potansiyeller barındırdığından araştırılmaya değer bulunmuştur.

Yeşil çatı sistemleri çeşitli özelliklere göre farklılaşıp özelleşmektedirler. Sistem tasarımıındaki geleneksel süreçte; optimal çözümlerin üretimi farklı alanlara ait uzman bilgisi ile firmalara bağımlılık gerektirmektedir. Ayrıca yeşil çatı tasarımının çeşitli değişkenlere sahip olması ve çözümlenmesi gereken çokça detay içermesinden dolayı tercih edilmediği görülmüştür. Bu sebeple bütün süreci kapsayan tam tanımlı bir akış ile kullanılabilecek bir sistem açığı olduğu saptanmıştır. Bu çalışmanın amacı da; söz konusu sorunlara bir çözüm önerisi olarak, parametrik yeşil çatı modeli ortaya koymaktır.

Bu çalışma kapsamında aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmıştır:

- Yeşil çatıların çok yönlü ve ilişkisel yapısı, bileşenleri nasıl etkiler?

- Yeşil çatıyı oluşturan katmanlar nasıl ilişkilendirilebilir?
- Hangi parametreler yeşil çatı sistem tasarımını etkiler?
- Sistem hangi bileşenler üzerinden parametrize edilebilir?

Bu araştırma sorularına verilen cevaplar doğrultusunda yeşil çatı ön tasarım sürecinde kullanıcıya destek olacak bir parametrik sistem modeli önerilmiştir.

Yeşil çatı tasarımının parametrik tabana dayandırılması üzerinden geliştirilmiş olan bu çalışmanın ikinci bölümünde; literatür taraması yapılarak tanımlar ve temel kavramlar açıklanmıştır. Ayrıca, yeşil çatı tipleri, yeşil çatı yapım süreçleri, bu süreçleri içeren yapı örnekleri ve yeşil bina sertifikasyon sistemleri ile standartlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yeşil çatı uygulamalarına odaklanarak, sistem ölçütleri, gereklilikleri ve genel tasarım kriterleri üzerine araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Literatür taramasının ardından, yeşil çatı tasarım ve üretim alanında faaliyet gösteren firmaların sistem detay çözümleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Üçüncü bölümde ise; bu alanda faaliyet gösteren firmalar ile anket çalışması gerçekleştirilerek, alana dair bilgi toplanmıştır. Anket sonucunda; sektörde parametrik yeşil çatı tasarımına dair bir modelin mevcut olmadığı görülmüştür. Ancak bu durumun, yeşil çatı tasarım parametrelerinin tanımsızlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna dayanarak, bu çalışma sonucunda geliştirilen modelin, yeşil çatı ön tasarımında parametrik ortama geçiş için bir adım olacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu anket sonucunda Türkiye'deki yeşil çatı projelerinin Marmara bölgesinde uygulandığı görülmüştür. Bu sebeple bu çalışmada geliştirilen model, Marmara bölgesi özelindeki bitki türlerini içerecek şekilde kurgulanmıştır. Ayrıca, ankette katılımcılara parametrik yeşil çatı programı kullanıp kullanılmayacakları sorulduğunda; katılımcıların %33'ü evet cevabı verirken, geri kalanlar hayır cevabı vermiştir. Yeni gelişen teknoloji ve yazılımların piyasada aktif olarak kullanılması çoğu zaman gecikmeli olarak gerçekleşmektedir. Örneğin 1980'li yıllarda geliştirilen BIM (Building Information Modeling) yazılımları günümüzde halen tam olarak yaygınlaşmamıştır. BIM'e göre nispeten daha yeni sayılabilecek parametrik araçların geniş çapta benimsenmesi, henüz çözüme kavuşmamış bir mesele olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna karşın; anket sonuçlarındaki olumlu geri bildirimler, bu çalışmada geliştirilen modelin kullanımına yönelik umut verici bir perspektif sunmaktadır.

Anketin ardından, bu çalışmanın ilk hipotezi doğrultusunda, yeşil çatı tasarımını destekleyici bir parametrik model geliştirilmiştir. Ancak, geliştirilen modelin kullanılabilirliği deneysel olarak test edilmemiştir. Bu nedenle, üretilen modelin tasarım sürecine katkı sağlayacağı düşünülmektedir, ancak bu hipotez deneysel olarak

doğrulanmamıştır.

Çalışmanın ikinci hipotezi üzerine yapılan değerlendirmeler, hipotezin doğru olduğunu, ancak eksikliklerin bulunduğunu ortaya koymuştur. Yapılan literatür incelemesi sonucunda, yeşil çatıların bitki türü ve çatı eğimi temelinde sınıflandırılabilirdiği, ancak kapsamlı bir sınıflandırma için havalandırma ve yalıtım sırası parametrelerinin de dikkate alınması gerektiği tespit edilmiştir. Ek olarak, konum parametresinin, sistem çözümünden ziyade diğer parametrelerin sınırlarını ve çatıda kullanılabilecek bitki çeşitlerini etkileyen önemli bir faktör olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen model iki adet parametre girdisi ve üç adet çıktı bölümünden oluşmaktadır. Parametreler kendi içerisinde etki derecelerine göre beş ana ve üç alt olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Kullanıcılara, doğrudan seçim yaptırmak yerine, tasarımı şekillendirecek sorular yöneltilmiştir. Bu sorulara verilen cevaplar doğrultusunda, ana parametreler belirlenmiştir. Bu sorulardan ilki, konum (bölge) seçimini belirlemektedir. Daha sonra bitki tercihini belirlemek amacıyla kurgulanan sorunun cevabı, yeşil çatı tipi seçimini belirlemektedir. Ardından eğim yüzdesi, çatının havalandırma boşluğu durumu ve yalıtım sıralaması seçilerek ana seçim parametreleri tamamlanmaktadır. Alt parametreler ise bitki sıklığı, yetiştirme ortamı kalınlığı ve parapet yüksekliği seçimlerini kapsamaktadır. Önerilen sistem modelinin görselleştirme çıktılarından biri olan üç boyutlu model çıktısında; malzeme uygulama, bağlantı ve bitiş noktası detayları bu aşamada eklenmemiştir. Bu unsurlar, ayrı bir çalışma alanında detaylı bir şekilde ele alınması gereken konular arasında yer almaktadır.

Modelin çıktıları ise; üç boyutlu model ve iki boyutlu sistem kesitinden oluşan görselleştirmeleri, yazı formatında sunulan bilgilendirme bölümünü ve filtreleme imkanı sunan bitki önerilerini içermektedir. Bilgilendirme çıktıları, kullanıcıyı ana parametre seçiminde yönlendirmenin yanı sıra, kullanıcının seçimlerinin olası sonuçları hakkında bilgi ve öneriler sunmaktadır. Bu arayüzün çıktıları, seçim sorularına verilen cevaplar doğrultusunda eşzamanlı olarak değişmektedir. Bitki önerisi çıktısı; bölge ve yeşil çatı tipi seçimlerine göre, kullanılabilecek çeşitli bitki filtrasyonu sunmaktadır. Bu çalışmanın üçüncü hipotezini desteklemektedir. Ancak bu doğrulama sadece teorik olarak Marmara bölgesi için gerçekleştirilmiştir. Bitkiler biyolojik birer organizmadır. Bitkilerin yetiştirilmesi için; bitkinin kök yapısı, kuraklık dayanımı, sulama ihtiyacı, böceklenme gibi bir çok etken söz konusu olduğu için, bu önerilerin uygulamalı olarak test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, önerilen bitkilerin her durumda uygulama sonrasında başarılı olacağı iddiasında bulunmak için gerekli olan testler yapılmamıştır.

Literatürde, yeşil çatı sistemini parametrize eden veya parametrik bir sistem modeli sunan herhangi bir kaynağın yer almadığı görülmüştür. Yine literatürde; yeşil çatılara yönelik herhangi bir arayüz, uygulama veya eklentiye dair somut bir bulguya rastlanmamıştır. Ancak Avusturalya'nın Melbourne şehrinde geliştirilen bir bitkilendirme rehberi bulunmuştur. "Kentsel Doğa Bitkilendirme Rehberi" adlı bu çalışma; bitki önerilerini büyüme koşulları, karakteristikler ve biyoçeşitlilik başlıkları altındaki alt parametrelerle ilişkilendirerek sunmaktadır. İlgili rehber; özgün olarak yeşil çatıları ele almamıştır, ancak yeşil çatıların seçim kriteri olan bitkilendirme üzerinden oluşturulmuştur. Bu çalışmada, yeşil çatı tasarımının katmanları bütünsel bir yaklaşımla ele alınarak bir sistem modeli önerisi geliştirilmiştir. Bu modelde, kullanıcıya sırasıyla karar vereceği beş parametreye göre, 16 farklı yeşil çatı kesiti arasından seçilebilecek sistem kesitleri, üç ve iki boyutlu görselleştirme aracılığıyla sunulmaktadır. Ayrıca, kullanıcının seçimlerine bağlı olarak şekillenen bitki önerileri ve bilgilendirmeler sunulmaktadır.

Önerilen bu model, hem konum (bölge) parametresinin Türkiye'deki bölgeleri kapsayacak şekilde belirlenmiş olması, hem de bitki önerisi çıktısının Marmara bölgesi ile sınırlandırılmış olması sebebiyle, yerel bağlamda önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır. Bununla birlikte, küresel ölçekte, bu modelin geliştirilme potansiyeli bulunmaktadır. Türkiye'deki yerel çevresel koşullar ve bitki örtüsüne odaklanarak tasarlanan bu sistem modeli, aynı zamanda benzer iklim ve ekolojik koşullara sahip diğer bölgelerde de uygulanabilir çözümler sunabilir. Bu model yerel düzeyde başlangıç niteliğinde geliştirilmiş olup, küresel ölçekte yeşil çatı sistem tasarımı alanında geliştirilme imkanı sunan farklı potansiyeller barındırmaktadır.

Önerilen modelin, yeşil çatı tasarım sürecine yardımcı olarak sistemin anlaşılmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Erken tasarım evresinde kullanılabilecek olan bu model, uzmanlık bilgisi gerektirmeyen algoritma tabanlı bir tasarım üzerine kurgulanmıştır. Ayrıca, bu model aracılığıyla gerçekleştirilen seçimlerin sonuca olan etkisinin eş zamanlı olarak görülebilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma, özellikle ön tasarım aşamasında mevcut yeşil çatı sistem seçeneklerinin eksikliğini gidermeyi ve çok disiplinli bir çalışma ortamının dezavantajlarını azaltmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, çalışmanın yeşil çatı kullanımının daha yaygın hale gelmesine katkıda bulunması amaçlanmaktadır.

Bu araştırmanın geliştirdiği model; mevcut durumda, kullanıcının belirlediği parametrelere bağlı olarak 16 farklı sistem arasından tek bir çözüm önermektedir. Ancak bu durum, her bir parametre kombinasyonu için yalnızca tek bir sistem çözümü olduğu anlamına gelmemektedir. Özellikle yeni malzeme araştırmaları ve sistemler sayesinde, katmanların birden çok katmanın işlevini yerine getirebildiği

özmler bulunmaktadır. Bu bağlamda, aynı parametre kombinasyonu için birden fazla sistem çözümü üretebilmek mümkündür. Ayrıca, katman diziliminden bağımsız olarak seçilen malzemeye dayalı olarak çeşitli sistem kesitleri oluşturulabilmektedir. Mevcut durumda her parametre kombinasyonuna göre, model çıktısı tek bir sistem çözüm önerisi sunmasına rağmen, bu durum çalışmanın temel kısıtlılığını ifade etmektedir. Bununla birlikte modelin sunduğu çıktı; kullanıcıyı sadece tek bir çözümle sınırlandırmasının ötesinde, potansiyel çözüm önerilerine yönlendirmeyi amaçlamaktadır.

Gelecek çalışmalarda ise:

- Modelin kullanılabilirlik testlerinin yapılması,
- Modelin; maliyet ve yük miktarının verildiği yazılı çıktı ile enerji ve su depolama miktarı kıyaslamalarını içeren istatistiki çıktı oluşturacak şekilde geliştirilmesi,
- Modelin BIM ortamına entegrasyonu,
- Bitki önerilerinin, diğer bölgeleri de kapsayacak şekilde genişletilmesi,
- Model arayüzünün görselleştirme çıktılarından biri olan iki boyutlu kesit çıktılarının eşitlendirilebileceği,
- Modelin; malzeme uygulama, bağlantı ve bitiş noktası detaylarını içerecek şekilde geliştirilebileceği,
- Bu çalışmada ortaya konulan model çıktılarının açık alan testleri ile analiz edilerek kullanıma hazır hale getirilebileceği,
- Mevcut çatılarda, gerekli statik hesaplamalarının yapılarak yeşil çatıya dönüştürülmesi ile daha detaylı bir model önerisinin ortaya konabileceği düşünülmektedir.

- [1] T. Osmundson, *Roof gardens: history, design, and construction*. WW Norton & Company, 1999.
- [2] B. Ercan, “Çatı ve teras bahçeleri,” 1992.
- [3] K. Vijayaraghavan, “Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends,” *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 57, pp. 740–752, 2016.
- [4] M. Ekşi, “Çatı ve teras bahçelerinde kullanılan konstrüksiyon elemanları ve yeni yaklaşımlar,” *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, 2006.
- [5] A. Uzun, *Çatı bahçesi ders notları*, 2002.
- [6] K. D., *Hanging gardens of babylon*, Website. [Online]. Available: <https://tr.pinterest.com/pin/359936195189681925/>.
- [7] E. A. KÜLEKÇİ, “Geçmişten günümüze yeşil çatı sistemleri ve yeşil çatılarda kalite standartlarının belirlenmesine yönelik bir araştırma,” *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 35–53, 2017.
- [8] M. TUNBİŞ, “Çatı bahçeleri,” *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, vol. 37, no. 4, pp. 103–116, 1987.
- [9] K. L. Getter, D. B. Rowe, “The role of extensive green roofs in sustainable development,” *HortScience*, vol. 41, no. 5, pp. 1276–1285, 2006.
- [10] M. Köhler, “Long-term vegetation research on two extensive green roofs in berlin,” *Urban habitats*, vol. 4, no. 1, pp. 3–26, 2006.
- [11] Z. Meletis, B. Webster, *An overview and history of rooftop gardening*, 1999. [Online]. Available: <http://felix.geog.mcgill.ca/other/environ/1998/group5/g5irp1.html>.
- [12] ArchDaily, *Architecture classics: Villa savoye / le corbusier*, Website. [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/84524/ad-classics-villa-savoye-le-corbusier>.
- [13] E. Oberndorfer *et al.*, “Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services,” *BioScience*, vol. 57, no. 10, pp. 823–833, 2007.
- [14] C. Werthmann, *Green Roof-A Case Study: Michael Van Valkenburgh Associates’ Design for the Headquarters of the American Society of Landscape Architects*. Princeton Architectural Press, 2007.
- [15] R. R. Coffman, “Vegetated roof systems: Design, productivity, retention, habitat, and sustainability in green roof and ecoroof technology,” Ph.D. dissertation, The Ohio State University, 2007.

- [16] E. Erkul, “Yeşil çatı sistemlerinin yapım açısından irdelenmesi,” Ph.D. dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [17] D. Municipality, 2009.
- [18] Y. Kaymak, “Çevre odaklı mimari tasarım yaklaşımı kapsamında yeşil çatılar ve türkiye ölçeğinde uygulanabilirliği üzerine bir araştırma,” Ph.D. dissertation, Yüksek Lisans Tezi), TC Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ..., 2014.
- [19] D. J. Sailor, “A green roof model for building energy simulation programs,” *Energy and buildings*, vol. 40, no. 8, pp. 1466–1478, 2008.
- [20] N. Balvedi, T. Giglio, “Influence of green roof systems on the energy performance of buildings and their surroundings,” *Journal of Building Engineering*, vol. 70, p. 106430, 2023.
- [21] P. Belkhode, P. Belkhode, K. Borkar, “An approach to experimental data-based mathematical modelling for a green roof,” in *Applied Analysis, Computation and Mathematical Modelling in Engineering: Select Proceedings of AACMME 2021*, Springer, 2022, pp. 249–257.
- [22] H. B. GEYİKLİ, F. CANAN, “Examination of vertical green facades and green roofs in terms of ecological criteria and evaluation of energy efficiency,” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 11, no. 4, pp. 1047–1058,
- [23] E. Demirhan, “Yeşil çatılarda yağmur suyu ve güneş enerjisi sistemlerinin sakarya üniversitesi’ndeki kazan dairesi binasında uygulanması,” M.S. thesis, Sakarya Üniversitesi, 2021.
- [24] T. AYATA, D. ERDEMİR, “Effect of green roof systems on the temperature decrease of roofs with artificial neural networks—şanlıurfa example,”
- [25] Y. Lin, L. Zhao, X. Liu, W. Yang, X. Hao, L. Tian, “Design optimization of a passive building with green roof through machine learning and group intelligent algorithm,” *Buildings*, vol. 11, no. 5, p. 192, 2021.
- [26] S. Tsang, C. Y. Jim, “Applying artificial intelligence modeling to optimize green roof irrigation,” *Energy and Buildings*, vol. 127, pp. 360–369, 2016.
- [27] M. EKŞİ, *Çatı Bahçeleri*. Tohum Yayıncılık, 2021.
- [28] S. Kader, S. Chadalavada, L. Jaufer, V. Spalevic, B. Dudic, “Green roof substrates—a literature review,” *Frontiers in Built Environment*, vol. 8, p. 1019362, 2022.
- [29] K. Luckett, *Green roof construction and maintenance*. McGraw-Hill Education, 2009.
- [30] T. Tokaç, “Bitkilendirilmiş çatı sistemleri için tasarım seçeneklerinin geliştirilmesi,” Ph.D. dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [31] B. Kobaş, *Oluşturulmakta olan türk yeşil bina değerlendirme sisteminin malzeme kategorisi için breeam ve leed örneklerinin incelenmesi*, 2011.
- [32] M. A. Fauzi, N. A. Malek, “Green building assessment tools: Evaluating different tools for green roof system,” *International Journal of Education and Research*, vol. 1, no. 11, pp. 1–14, 2013.

- [33] F. L. L. FLL, *Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites*, 2002.
- [34] N. Küçük, "Marmara bölgesi'nde doğal yetişen otsu bitkilerin yeşil çatı sistemlerinde kullanım olanaklarının değerlendirilmesi," Ph.D. dissertation, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.
- [35] M. Eksi, D. B. Rowe, "Green roof substrates: Effect of recycled crushed porcelain and foamed glass on plant growth and water retention," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 20, pp. 81–88, 2016.
- [36] A. B. Besir, E. Cuce, "Green roofs and facades: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 915–939, 2018.
- [37] M. Erbaş, *Enerji etkin yapı tasarımının etkili elemanlarından olan yeşil çatıların dünya ve ülkemiz örnekleri üzerinden bir incelemesi*, 2011.
- [38] S. Weiler, K. Scholz-Barth, *Green roof systems: a guide to the planning, design, and construction of landscapes over structure*. John Wiley & Sons, 2009.
- [39] T. Wheeler, J. Osborne, M. O'Hearn, C. James, S. Kim, J. Mentink, "Sydney city council green roof resource manual," *Environa Studio, Sydney*, 2010.
- [40] A. Nagase, N. Dunnett, "Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity," *Landscape and urban planning*, vol. 97, no. 4, pp. 318–327, 2010.
- [41] N. Dunnett, A. Nolan, "The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-extensive green roof," in *International Conference on Urban Horticulture 643*, 2004, pp. 305–309.
- [42] Ü. Göç Yener, "Green roof as an element of green infrastructure and inferences for implementations in turkey," M.S. thesis, Middle East Technical University, 2021.
- [43] L. S. Velazquez, "Organic greenroof architecture: Design considerations and system components," *Environmental Quality Management*, vol. 15, no. 1, pp. 61–71, 2005.
- [44] N. Dunnett, N. Kingsbury, et al., *Planting green roofs and living walls*. Timber press Portland, OR, 2008.
- [45] B. Doug, D. Hitesh, L. James, M. Paul, "Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the city of toronto," 2005.
- [46] S. G. G. Solutions, *Sedum blanket system*, Website. [Online]. Available: <https://www.sky-garden.co.uk/product/sedum-blanket-system/>.
- [47] V. i.d., *Description of the planting system with the i.d. mat sedum mat*, Website. [Online]. Available: <https://www.vegetalid.com/solutions/green-roofs/with-sedum-mats-id-mat/description.html>.
- [48] E. C. Snodgrass, L. L. Snodgrass, *Green roof plants: a resource and planting guide*. Timber Press Portland, OR, 2006.
- [49] M. Altun, "Bitkilendirilmiş çatılarda katmanlaşma," Dec. 1995.
- [50] Hydrotech, *Green roof assembly*, Brochure, 2022.

- [51] M. Mobasheri, “Green roofs-construction and functional requirements for four buildings on the ist campus,” *Tecnico Lisboa*, 2014.
- [52] N. R. Cunningham, “Rethinking the urban epidermis, a study of the viability of extensive green roof systems in the manitoba capital with an emphasis on regional case studies and stormwater management,” M.S. thesis, 2001.
- [53] B. Temur, *Yeşil çatılarda su yalıtımının düzenlenmesi*, 2022.
- [54] Y. Olgun, “Yeşil çatı: Tasarım ve uygulama örnekleri,” M.S. thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [55] M. Kamil. “Yeşil çatılar ve çatı teknolojisi,” *Onduline Avrasya*. (2015), [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=PImtg_0cpQo.
- [56] ZinCo, *United world college in dilijan, armenia – setting a trend*, Website, 2017. [Online]. Available: https://zinco.se/news/press_releases/press_release_details.php?id=104.
- [57] ZinCo, *Project report united world college*, Brochure, 2020. [Online]. Available: https://zinco-greenroof.com/sites/default/files/2020-04/ZinCo_Dilijan_United_World_College.pdf.
- [58] Arkiv, *Garanti bbva bankası teknoloji kampüsü*, Website. [Online]. Available: <https://www.arkiv.com.tr/proje/garanti-teknoloji-kampusu/4432>.
- [59] www.yesilbinadergisi.com, *Yeşil bina*, e-Brochure, 2020. [Online]. Available: <https://www.yesilbinadergisi.com/edergi/21/51/>.
- [60] BTM, *Btm optigreen anti-slip system type s (cable)*, Website. [Online]. Available: <https://www.btm.co/en/btm-optigreen-anti-slip-system-type-s-cable>.
- [61] R. Paul, *A swirling green roof tops the gorgeous nanyang technical university in singapore*, Website, 2015. [Online]. Available: <https://inhabitat.com/amazing-green-roof-art-school-in-singapore/>.
- [62] greenroofs.com, *Nanyang technological university (ntu) school of art, design and media (adm)*, Website. [Online]. Available: <https://www.greenroofs.com/projects/nanyang-technological-university-ntu-school-of-art-design-and-media-adm/>.
- [63] ZinCo, *Le cordon bleu in paris – an instructive and tasty roof*, Website. [Online]. Available: <https://zinco-greenroof.com/press-release/le-cordon-bleu-paris>.
- [64] S. L. Cantor, *Green roofs in sustainable landscape design*. WW Norton & Company, 2008.
- [65] ArchDaily, *California academy of sciences / renzo piano building workshop + stantec architecture*, Website. [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano>.
- [66] Arkiv, *Küçükçekmece belediyesi yeni hizmet binası*, Website. [Online]. Available: <https://www.arkiv.com.tr/proje/kucukcekmece-belediyesi-yeni-hizmet-binasi/2351>.

- [67] Y. B. Dergisi, *Yeşil bina dergisi – küçükçekmece belediyesi*, Website. [Online]. Available: <https://turkeco.com/tr/yesil-bina-dergisi-kucukcekmece-belediyesi/>.
- [68] v3arkitera, *M1 eydan alışveriş merkezi*, Website. [Online]. Available: <https://v3.arkitera.com/h20759-m1-meydan-alisveris-merkezi.html>.
- [69] Arkitera, *M1 eydan alışveriş merkezi*, Website. [Online]. Available: <https://www.arkitera.com/proje/m1-meydan-alisveris-merkezi/>.
- [70] L. Wang, *Spectacular green roof tops vancouver's double leed platinum convention center*, Website. [Online]. Available: <https://inhabitat.com/spectacular-green-roof-tops-vancouvers-double-leed-platinum-convention-center/>.
- [71] T. R. Oke, "The energetic basis of the urban heat island," *Quarterly journal of the royal meteorological society*, vol. 108, no. 455, pp. 1–24, 1982.
- [72] NASA. "Nasa and green roof research." Erisim Tarihi: 18.04.2023. (), [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/agency/sustainability/greenroofs.html>.
- [73] M. Palme, L. Inostroza, G. Villacreses, A. Lobato-Cordero, C. Carrasco, "From urban climate to energy consumption. enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect," *Energy and buildings*, vol. 145, pp. 107–120, 2017.
- [74] Z. Frese, "Green roofs: Analyzing the potential for mitigating the effects of urbanization," 2016.
- [75] M. Y. Joshi, J. Teller, "Urban integration of green roofs: Current challenges and perspectives," *Sustainability*, vol. 13, no. 22, p. 12378, 2021.
- [76] GRFHC. "About green roofs." Erisim Tarihi: 11.06.2023. (), [Online]. Available: <https://greenroofs.org/about-green-roofs>.
- [77] A. Raimondi, U. Sanfilippo, M. Marchioni, M. Di Chiano, G. Becciu, "Influence of climatic parameters on the probabilistic design of green roofs," *Science of The Total Environment*, vol. 865, p. 161291, 2023.
- [78] F. R. Leite, M. L. P. Antunes, "Green roof recent designs to runoff control: A review of building materials and plant species used in studies," *Ecological Engineering*, vol. 189, p. 106924, 2023.
- [79] ZinCo, *The ecological benefits of a green roof*, Website. [Online]. Available: <https://zinco-usa.com/why-have-green-roof>.
- [80] S. L. S. Torres, *Investigating crumb rubber amendments for extensive green roof substrates*. University of Maryland, College Park, 2010.
- [81] B. A. Currie, B. Bass, "Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the ufore model," *Urban ecosystems*, vol. 11, pp. 409–422, 2008.
- [82] P. Y. Tan, A. Sia, "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*, Citeseer, 2005.

- [83] M. Santamouris, "Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments," *Solar energy*, vol. 103, pp. 682–703, 2014.
- [84] S. W. Peck, C. Callaghan, M. E. Kuhn, B. Bass, "Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in canada," 1999.
- [85] M. Connelly, M. Hodgson, "Sound transmission loss of green roofs," *Proceedings of the 6th Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities*. Baltimore, MD. April, 2008.
- [86] M. Connelly, M. Hodgson, "Sound transmission loss of extensive green roofs-field test results," *Canadian Acoustics*, vol. 36, no. 3, pp. 74–75, 2008.
- [87] H. S. Yang, J. Kang, M. S. Choi, "Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level," *Building and Environment*, vol. 50, pp. 44–55, 2012.
- [88] U. Berardi, A. GhaffarianHoseini, A. GhaffarianHoseini, "State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs," *Applied energy*, vol. 115, pp. 411–428, 2014.
- [89] K. Ksiazek, J. Fant, K. Skogen, "An assessment of pollen limitation on chicago green roofs," *Landscape and Urban Planning*, vol. 107, no. 4, pp. 401–408, 2012.
- [90] S. Brenneisen, "Space for urban wildlife: Designing green roofs as habitats in switzerland," *Urban habitats*, vol. 4, 2006.
- [91] I. Jaffal, S.-E. Ouldboukhitine, R. Belarbi, "A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance," *Renewable energy*, vol. 43, pp. 157–164, 2012.
- [92] M. T. Simmons, B. Gardiner, S. Windhager, J. Tinsley, "Green roofs are not created equal: The hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate," *Urban Ecosystems*, vol. 11, pp. 339–348, 2008.
- [93] A. Niachou, K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis, G. Mihalakakou, "Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance," *Energy and buildings*, vol. 33, no. 7, pp. 719–729, 2001.
- [94] C. Y. Jim, "Effect of vegetation biomass structure on thermal performance of tropical green roof," *Landscape and ecological engineering*, vol. 8, pp. 173–187, 2012.
- [95] T. Sun, E. Bou-Zeid, Z.-H. Wang, E. Zerba, G.-H. Ni, "Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport," *Building and Environment*, vol. 60, pp. 211–224, 2013.
- [96] A. Nardini, S. Andri, M. Crasso, "Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: Shrubs versus herbaceous plants," *Urban Ecosystems*, vol. 15, pp. 697–708, 2012.

- [97] D. J. Sailor, T. B. Elley, M. Gibson, "Exploring the building energy impacts of green roof design decisions—a modeling study of buildings in four distinct climates," *Journal of Building Physics*, vol. 35, no. 4, pp. 372–391, 2012.
- [98] P. Bevilacqua, "The effectiveness of green roofs in reducing building energy consumptions across different climates. a summary of literature results," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 151, p. 111 523, 2021.
- [99] P. Bevilacqua, R. Bruno, N. Arcuri, "Green roofs in a mediterranean climate: Energy performances based on in-situ experimental data," *Renewable Energy*, vol. 152, pp. 1414–1430, 2020.
- [100] F. Olivieri, C. Di Perna, M. D'Orazio, L. Olivieri, J. Neila, "Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a mediterranean coastal climate," *Energy and Buildings*, vol. 63, pp. 1–14, 2013.
- [101] B. Pearen, C. Wilson, "Feasibility study for green roof application on queen's university campus," *Queen's Phys. Plant Serv*, 2006.
- [102] K. Liu, B. Baskaran, "Thermal performance of green roofs through field evaluation," 2003.
- [103] B. Green, "A guide to using plants on roofs, walls and pavements," *Mayor of London. Greater London Authority*, 2004.
- [104] R. S. Ulrich, R. F. Simons, B. D. Losito, E. Fiorito, M. A. Miles, M. Zelson, "Stress recovery during exposure to natural and urban environments," *Journal of environmental psychology*, vol. 11, no. 3, pp. 201–230, 1991.
- [105] E. O. Wilson, *Biophilia*. Harvard university press, 1986.
- [106] L. M. Schumann, *Ecologically inspired design of green roof retrofit*. University of Maryland, College Park, 2007.
- [107] J. Jungels, D. A. Rakow, S. B. Allred, S. M. Skelly, "Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the northeastern united states," *Landscape and Urban Planning*, vol. 117, pp. 13–21, 2013.
- [108] UN-Habitat, *Prosperity of cities: State of the world's cities 2012/2013*, May 15, 2023, 2012. [Online]. Available: <https://unhabitat.org/prosperity-of-cities-state-of-the-worlds-cities-20122013>.
- [109] L. Pérez Urrestarazu, S. S. Herrera Gómez, A. Quevedo Nolasco, "Role of green roofs in climate change mitigation. a case study in seville (spain), the," 2017.
- [110] Y. D. D. S. K. Karaosman, Ç. Çözümlemesi, "Yeşil çatılar ve sürdürülebilir bina değerlendirme sistemleri," 2006.
- [111] E. G. Yetkin, *Mevcut yapılar kapsamında yeşil bina sertifika sistemleri enerji kriterlerinin belirlenmesi için leed, breeam ve dgnb sistemlerinin karşılaştırmalı analizi*, 2014.
- [112] B. Güneş, *Sena, türkiye'deki leed ve breeam yeşil bina sertifikasına sahip binaların analizi*, 2017.
- [113] P. M. Philippi, "Introduction to the german fl-guideline for the planning, execution and upkeep of green roof sites," in *The Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference*, 2005.

- [114] J. Breuning, A. Yanders, "Introduction to the fl guidelines for the planning, construction and maintenance of green roofing," *Green Roofing Guideline*, p. 9, 2008.
- [115] G. B. C. (USGBC), *The Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*, <http://www.environment.gen.tr/environment-and-architecture/81-the-leadership-in-energy>, 2011.
- [116] USGBC, *Leed rating system*, Website, 2007. [Online]. Available: <https://www.usgbc.org/leed>.
- [117] J. Todd, J. Boecker, "Continuous improvement of the us green building council's leadership in energy and environmental design (leed®) rating system™," in *Common Ground, Consensus Building and Continual Improvement: International Standards and Sustainable Building*, ASTM International, 2009.
- [118] E. Yazıcı, *Sustainability and how breeam values the assets and what significance it can bring in the construction industry*, 2017.
- [119] T. Ağan, *Yeşil bina sistemlerinde yeşil çatı uygulamaları ve yapısal davranış etkisi*, 2021.
- [120] BRE, *Breeam*, Website. [Online]. Available: <https://bregroup.com/products/breeam/>.
- [121] ÇATIDER, *Çatı kaplama malzemeleri uygulama detayları*, Website, 2018. [Online]. Available: <https://www.catider.org.tr/index.php?action=page&id=260>.
- [122] ÇEDBİK, *Çevre dostu yeşil binalar derneği*, Website, 2007. [Online]. Available: <https://cedbik.org/tr/cedbik-cevre-dostu-yesil-binalar-dernegi>.
- [123] Ş. v. İ. D. B. Çevre, *Binalar ile yerleşmeler için yeşil sertifika yönetmeliği*, Resmî Gazete, 2022. [Online]. Available: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/06/20220612-1.htm>.
- [124] İBB, *İstanbul imar yönetmeliği*, Resmî Gazete, 2018. [Online]. Available: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/05/20180520-4.htm>.
- [125] Y. AKSOY, S. İÇMEK, "Çatı bahçelerinin kent yaşamındaki yeri ve önemi: İstanbul kentinden örnekler,"
- [126] İ. Tozam, "Kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında çatıların değerlendirilmesi: Yeşil çatılar ve serin çatılar," M.S. thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [127] K. Learned, *Green Roofs: Policies, Incentives and Recommendations for Calgary*. Calgary, Alberta: University of Calgary, Faculty of Environmental Design ..., 2007.
- [128] O. A. A.Ş., *Sistem ondugreen yeşil çatı sistemi*, Brochure.
- [129] S. Cascone, "Green roof design: State of the art on technology and materials," *Sustainability*, vol. 11, no. 11, p. 3020, 2019.

- [130] R. Kumar, S. Kaushik, "Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings," *Building and environment*, vol. 40, no. 11, pp. 1505–1511, 2005.
- [131] Bauder, *Green Roof Design Considerations*, Brochure, 2019. [Online]. Available: <https://www.bauder.co.uk/technical-centre/design-considerations>.
- [132] V. Stovin, G. Vesuviano, H. Kasmin, "The hydrological performance of a green roof test bed under uk climatic conditions," *Journal of hydrology*, vol. 414, pp. 148–161, 2012.
- [133] C. Y. Jim, L. L. Peng, "Weather effect on thermal and energy performance of an extensive tropical green roof," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 11, no. 1, pp. 73–85, 2012.
- [134] M. Shafique, X. Luo, J. Zuo, "Photovoltaic-green roofs: A review of benefits, limitations, and trends," *Solar Energy*, vol. 202, pp. 485–497, 2020.
- [135] ZinCo, *Planning guide: Solar energy and green roofs*, Brochure, 2011. [Online]. Available: https://zinco-greenroof.com/sites/default/files/2023-05/ZinCo_Solar_Energy_Green_Roofs.pdf.
- [136] ZinCo, *Planning guide: Systems for pitched green roofs*, Brochure, 2013. [Online]. Available: https://www.zinco.ca/assets/pdf/Guide_pitched_green_roofs.pdf.
- [137] N. Gerzhova, C. Dagenais, S. Ménard, P. Blanchet, J. Côté, "A parametric study of fire risks of green roofs to adjacent buildings," *Fire*, vol. 5, no. 4, p. 93, 2022.
- [138] E. Özdemir, M. C. Altun, "Bitkilendirilmiş çatı sistem tasarımı için bir kontrol listesi önerisi,"
- [139] O. V. S. İ. BAKANLIĞI, M. G. MÜDÜRLÜĞÜ, "Köppen iklim siniflandirmasına göre türkiye iklimi," 2016.
- [140] R. et al, *World Maps of Köppen-Geiger Climate Classification*, <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>, 2023.
- [141] M. Ekşi, "Yeşil çatı sistemlerinin su ve enerji dengesi açısından değerlendirilmesi: İstanbul örneği," *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı*, 2012.

A

ULUSLARARASI KURUMLAR VE SERTİFİKASYON SİSTEMLERİ

Tablo A.1 Uluslararası kurumlar ve sertifikasyon sistemleri

KURULUŞ	SERTİFİKA	YEŞİL ÇATI	HİZMET/ÇALIŞMA
NRCA (National Roofing Contractors Association)			*"Vejetatif Çatı Sistemleri" kitapçığı *Konu ile ilgili geniş kapsamlı bilgiler içeren bir internet sitesi
ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)	ASHRAE Standard 241	Dolaylı *Hava kalitesi ve filtreleme	
ASLA			*Yeşil çatı turları ve eğitim oturumlarını içeren yıllık konferanslar
British Columbia University	BEPAC (Building Environmental Performance Assessment Criteria)	Dolaylı *Ozon tabakasını koruma *Enerji kullanımının çevresel etkileri *İç mekan çevre kalitesi *Kaynakların korunması	
BRE (Building Research Establishment)	BREEAM (The Building Research Establishment's Environmental Assessment Method)	Dolaylı *Enerji ve sera gazı emisyonları; *Su verimliliği *Atık yönetimi	

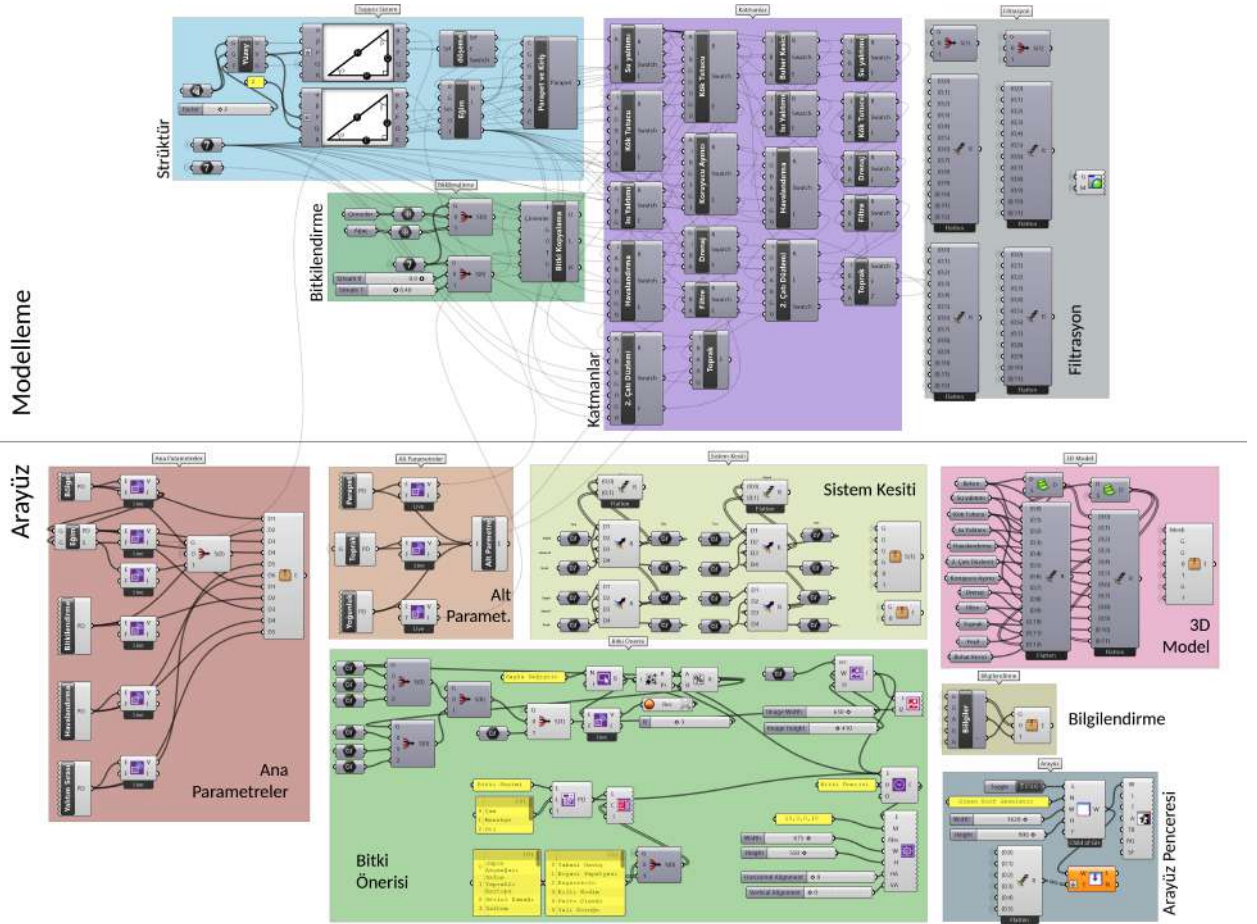
		*Hava kalitesi	
ASSOHQE (Association pour la Haute Qualité Environnementale)	HQE (High Quality Environmental standard)	Dolaylı *Binalar ve yakın çevreleri arasındaki uyumlu ilişki *Entegre inşaat yöntemleri ve malzeme seçimi *Enerji kullanımı *Su kullanımı *Hava kalitesi	
USGBC (U.S. Green Building Council)	LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	Dolaylı *Sürdürülebilir araziler * Su Verimliliği * Enerji ve Atmosfer * Malzeme ve kaynak kullanımı * İç Mekan Çevre Kalitesi * İnovasyon ve Tasarım Süreci * Bölgesel Öncelik	
Green Building Challenge	SBTool (Sustainable Building Tool)	Dolaylı *Enerji ve kaynak kullanımı *İç mekan çevre kalitesi *Sosyal ve ekonomik özellikler	
GRHC			* Yeşil çatı proejeleri için bir ödül programı * Yıllık konferanslar *Eğitim materyallerini içeren bir akreditasyon programı
FLL (Peyzaj Gelişimi ve Peyzaj İnşaatı Araştırma Kurumu)	FLL Yönergesi	Doğrudan	
Japan Sustainable Building Consortium (JSBC)	CASBEE (Comprehensive Assesment System for Built Environment Efficiency)	Dolaylı *Hava kalitesi *Enerji verimliliği	

		*Su verimliliği *Isı adası etkisi	
GBCA (Green Building Council of Australia)	GREEN STAR	Dolaylı *İç mekan çevresel kalitesi *Enerji verimliliği *Emisyon *Su verimliliği *Malzeme *Arazi kullanımı ve ekoloji	
Çin Bilim ve Teknoloji Bakanlığı ve Tsinghua Üniversitesi	GOBAS (Green Olympic Building Assessment System)	Dolaylı *Arazinin ve çevrenin korunması *Enerji verimliliği *Su verimliliği *Malzeme ve kaynak kullanımı *İç mekan çevre kalitesi ve yönetimi (konut binaları) *Yaşam döngüsü performansı (kamu binaları)	
IGRA (International Green Roof Association)			*Yeşil çatılar alanında uluslararası bilgi transferini sağlamak *Ekolojik yeşil çatı konseptini küresel olarak tanıtmak *Güvenilir, verimli yeşil çatı teknolojisi için uluslararası standartlara katkıda bulunmak
MNRE (Ministry of New and Renewable Energy, Government of India)	TERI GRIHA (The Energy and Resources Institute) (Green Rating for Integrated Habitat Assessment)	Dolaylı Aşağıdaki parametreler için karbon değerlendirmesi: *Su verimliliği, *Enerji kullanımı ve verimliliği,	

		*Atık yönetimi *Ulaşım *Sosyal (yeşil politika, temizlik, biyoçeşitlilik)	
DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)	DGNB Sistemi	Dolaylı *Ekolojik Kalite *Ekonomik Kalite *Teknik Kalite *Süreç Kalitesi	



B GRASSHOPPER ALGORİTMASI



Şekil B.1 Grasshopper algoritması

Konferans Bildirisi

1. Akalın Er, C., Tong, T., (2022). Parametrik Tabanlı Bir Yeşil Çatı Sistem Modeli Önerisi . MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM MSTAS2022 XVI. ULUSAL SEMPOZYUMU (ss.142-148). Eskişehir, Turkey

