

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN
ÖLÇÜLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA: TAHRAN ÖRNEĞİ

Amirmohammad DARYAEİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN
ÖLÇÜLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA: TAHRAN ÖRNEĞİ

Amirmohammad DARYAEİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN
ÖLÇÜLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA: TAHRAN ÖRNEĞİ

Amirmohammad DARYAEİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 18/06/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Aynur KAZAZ (Danışman)

Doç. Dr. İkbâl ERBAŞ

Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK

ÖZET

YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN ÖLÇÜLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA: TAHRAN ÖRNEĞİ

Amirmohammad DARYAEİ

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aynur KAZAZ

Haziran 2019; 108 Sayfa

Kentler, geçmişten günümüze insanoğluna ev sahipliği yapan, zaman içinde sanayileşme, teknolojik gelişmeler ve sosyal değişimlerin sonucu yoğun nüfusa sahip yerleşim yerlerine dönüşmüştür. Kentler, çevreye olan olumsuz etkileriyle enerjinin yoğun tüketildiği, yapısında çok fazla ısı ada barındıran, tarımsal etkinliğin yapılmadığı, etkilenen ve etkileyen sosyal yapılardır. Günümüzdeki kentlerin sahip olduğu alanların çoğunluğu geçirimsiz yapısal yüzeylerden oluşmaktadır. Bu durum; suyun doğal döngüsünü bozan bir yapıya sahiptir. İnsanoğlunun modern temel yaşam alanı olan kentler; insanı, yaşamı ve dünyayı tehdit eder hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, step iklimine sahip olan Tahran'da, örnek bir çatı uygulamasında, yapılan ölçümler yardımıyla, Tahran koşullarında yeşil çatı sistemlerinin enerji verimliliğine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, son yıllarda İran'da uygulanan birkaç proje incelenerek yeşil çatıların önemi; ekolojik, ekonomik ve sosyal ön plana çıkan yanları, yeşil çatı teknolojisi önündeki engeller, politikalar, kentin ekosistem üzerindeki baskı faktörleri incelenmiştir.

Bu çalışma, başlıca iki yönde genel bir bakış sunar; yeşil çatı sistemlerinin kentlerdeki enerji verimliliği ve kentteki önemli etkilerini tartışmaktadır. Çalışma, literatür taraması ve Tahran'da yapılan bir uygulama ile ilgili verilere dayanmaktadır. Bu bağlamda, bugüne kadar yapılan araştırmalar, araştırmaların sayısal girdileri ve bulgularından yararlanılmıştır. Bunu yaparken, yeşil çatıların bölgesel özelliklerine özel bir önem verilmiştir.

Bu çalışma sonucu elde edilen sonuçlara göre, Tahran gibi mega kentlerde yeşil çatı alanların tasarlanması ve uygulanması, bununda devlet politikası olarak teşvik edilmesi kent ve geleceği açısından hava kirliliği, enerji verimliliği ve çevreye olumlu etkileri, dünya bağlamında ise küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarına karşı bir çözüm önerisi olarak görülmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: Yeşil Çatı, Kentleşme, Çevresel Etkiler, Enerji Verimliliği, Kent Isı Adası

JÜRİ: Prof. Dr. Aynur KAZAZ

Doç. Dr. İkbal ERBAŞ

Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK

ABSTRACT

A STUDY ON THE MEASUREMENT OF THE EFFECTIVENESS OF ENERGY EFFICIENCY OF GREEN ROOF SYSTEMS: TEHRAN EXAMINATION

Amirmohammad DARYAEI

MSc/PhD Thesis in Construction Management

Supervisor: Prof. Dr. Aynur KAZAZ

June 2019; 108 pages

Cities have been transformed into inhabitants of densely populated areas, which have been home to mankind from the past to the present day, as a result of industrialization, technological developments and social changes. Cities, the environment with the negative effects of energy is consumed extensively, in the structure of many heat island, agricultural activity is not done, affected and affect social structures. As the negative effects of the changes in the cities on the cities during the process are not perceived or ignored in the process, today's cities evolved into complex structures that consume nature. Nowadays, the majority of the city's areas are composed of impermeable structural surfaces. This situation has a structure that disrupts the natural cycle of water. Cities, the modern basic living space of human beings, have become a threat to human beings, life and the world. Our era is facing the world and hence the problems of life, environmental pollution, global warming and climate change.

This study provides an overview of two main directions; discuss the effects of green roof systems on urban energy efficiency and the city. The study is based on literature review and data on an application in Tehran. In this context, up to date researches, numerical inputs and findings of research have been utilized. In doing so, special attention was paid to the regional characteristics of the green roofs. In general, it increases energy efficiency, decreases the negative effects of urbanization.

According to the results obtained from this study, the design and implementation of green roof areas in mega cities such as Tehran, as a state policy, is proposed as a solution for future air pollution, energy efficiency, global warming and climate change problems. can meet the needs of the area and provide valuable environmental, economic and social opportunities.

KEYWORDS: Green Roof, Urbanization, Environmental Impacts, Energy Efficiency, Urban Heat Island

COMMITTEE: Prof. Dr. Aynur KAZAZ

Assos. Prof. Dr. İkbâl ERBAŞ

Asst. Prof. Dr. İlyas Devran ÇELİK

ÖNSÖZ

Günümüzde dünya nüfusun kentlerde yoğunlaşması, küresel iklim değişikliği, hava kirliliği, çevre kirliliği gibi çevresel sorunlar kent yaşamını zorlaştırdığı gibi bütün insanlığı da tehdit eder görünümde olduğundan çözüme odaklı yaklaşım gerektirmektedir.

Sağlıklı ve yaşanabilir kentler için atık yönetimi, su yönetimi ve kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, binalarda enerji verimliliği, yangın geciktirme, hava kalitesinin iyileştirilmesi, gürültü ve elektromanyetik radyasyonun azaltılması acil çözüm beklemektedir. Yaşam ve dünyanın karşı karşıya kaldığı küresel iklim değişiklikleri vb. çevre sorunları kentlerdeki yaşamı giderek zorlaştırmaktadır. Bu noktada; yeşil çatılar, çevre dostu olma ve binaların estetik ve mimari özelliklerinin geliştirilmesi gibi avantajlar sunan pasif bir enerji tasarrufu teknolojisi olarak düşünülebilir.

İlgili yazında yapılan çalışmalarda ortaya çıkan ortak algı ve sonuçlar incelendiğinde; sağlıklı ve yaşanabilir kentler için yeşil çatıların çevreye ve yaşama katkıları yadsınamaz bir gerçek olarak ortaya konulmaktadır. Yeşil çatılar; atıkların saptırılması, su yönetimi ve kentsel ısı adalarının etkisinin kamu yararına azaltılması, enerji verimliliği, yangın geciktirme, karbondioksit ve oksijenin değişiminin sağlanarak hava kalitesinin iyileştirilmesi ve gürültü ve elektromanyetik radyasyonun azaltılması bağlamında gibidir çok katkı sunmaktadır. Tahran gibi mega kentlerin yoğun yapılaşma sorunu ve yeşil alanların azlığı, mevcut bina çatılarının yeşil çatılara dönüştürülmesi ile hava kirliliğinin azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve dolayısıyla kentin eko sisteme olumlu katkıları ile, yaşamın önündeki engeller ortadan kalkarak sürdürülebilir kent için önemli bir fırsat sunacaktır.

Çalışmamın her aşamasında benden bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, yol gösteren Sayın Hocam Prof. Dr. Aynur KAZAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	7
2.1. Yeşil Çatı Kavramı.....	8
2.2. Yeşil Çatıların Kentsel Alanlarda Çevresel Etkileri.....	13
2.2.1. Fiziksel çevre üzerindeki dengeleyici etkileri.....	14
2.2.2. Binaya etkileri.....	18
2.2.3. Sosyal - psikolojik – estetik etkileri.....	18
2.3. Yeşil Çatılar.....	19
2.3.1. Yeşil çatı türleri.....	19
2.3.1.1. İntensif (yoğun) yeşil çatılar.....	21
2.3.1.2. Eksentif (seyrek) yeşil çatılar.....	23
2.3.1.3. Semi insentif (yarı-yoğun) yeşil çatı sistemleri.....	26
2.4. Yeşil Çatı Bileşenleri.....	29
2.4.1. Bitki katmanı.....	30
2.4.2. Bitki taşıyıcı katman.....	31
2.4.3. Filtre ve drenaj katmanı.....	31
2.4.4. Mekanik etkilere karşı koruyucu katman.....	31
2.4.5. Kök tutucu katman.....	31
2.4.6. Su yalıtımı ve çatı konstrüksiyonu.....	32
2.5. Kentsel Alanlarda Baskı Unsurları.....	32
2.6. Kentsel Mekanlarda Yeşil Çatılar.....	33
2.6.1. Yeşil çatı sistemlerinin fiziksel çevredeki dengeleyici özellikleri.....	34
2.6.2. Yeşil çatı sistemlerinin ekolojik döngüsü ve değerlendirilmesi.....	36
2.6.3. Kentsel alanlarda vejetasyon, sıcaklık ve enerji dengesi.....	38

2.6.4. Biyoçeşitlilik ve habitat.....	40
2.6.5. Kent ısı adaları (Urban Heat Island/UHI)	41
2.6.6. Enerji	43
2.6.7. Hava kalitesi	45
2.6.8. Gürültü	47
2.6.9. Yağmur suyu yönetimi	48
2.6.10. Sera gazları ve ağır metallere etkisi	48
2.6.11. Çatı yalıtımı ile çatı ve bina ömrünü uzatması.....	49
2.6.12. Estetik ve yaşam kalitesi	49
2.6.13. İş üretimi ve ekonomik gelişim	50
2.7. Yeşil Çatı Değerlendirme Kuruluşları ve Değerlendirme Kriterleri	50
2.8. İran’da Bir Politika Olarak Yeşil Çatı Sistemleri.....	52
2.8.1. İran yapı sektöründe yeşil çatılar	53
3. MATERYAL VE METOD	58
3.1. Metod.....	58
3.1.1. Tahran’ın coğrafi ve fiziki özellikleri	60
3.1.2. Çalışma alanı ve fiziki özellikleri	62
3.1.3. Çalışma alanı iklimsel veriler	63
3.1.4. Veri toplama ve değerlendirme.....	64
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	66
4.1. Neden İntensif Çatı.....	66
4.2. Uygulama	67
4.2.1. Su yalıtımı	70
4.2.2. Drenaj sistemi	71
4.3.3. Kök bariyer çatı bariyeri	72
4.3.4. Bitki yetiştirme ortamı.....	72
4.3.3. Ekim	74
4.3. Yeşil Çatı Sisteminde Oluşan Isı, Sıcaklık ve Çevre Etkileri	75
4.4. Yeşil Çatılarda Enerji Verimliliği	76
5. SONUÇLAR	80
6. KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yeşil Çatı Sistemlerinin Enerji Verimliliğine Etkisinin Ölçülmesi Üzerine Bir Araştırma: Tahran Örneği” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

18/06/2019

Amirmohammad DARYAEİ

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

mm	: Milimetre
°C	: Santigrat
BTU	: British ThermalUnit
CO ₂	: Karbondioksit
kWh	: KiloWatt saat
kg	: Kilogram
m ²	: Metre kare
PM	: Partikül madde
m ³	: Metre küp
SO ₂	: Sülfürdioksit

Kısaltmalar

AHP	: Analitik Hiyerarşik Süreç
AÜ	: Akdeniz Üniversitesi
EPI	: Environmental Performans Index
GSA	: General Services Administration
UHI	: Kent Isı Adası
MM	: Milimetre
"	: İnç(Inch) in

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yeşil çatılar kentsel ekosistemler üzerindeki etkileri	15
Şekil 2.2. Yeşil çatının yapısal tipik kesiti	20
Şekil 2.3. İnsentif yeşil çatı yapısal kesiti	21
Şekil 2.4. İntensif yeşil çatılarda kullanılabilecek bitki türleri	22
Şekil 2.5. İntensif bitkilendirilmiş yeşil çatı örneği	22
Şekil 2.6. Ekstansif (seyrek) yeşil çatının yapısal kesiti	23
Şekil 2.7. Eksentif yeşil çatılarda kullanılabilecek bitki türleri	24
Şekil 2.8. Eksentif bitkilendirilmiş yeşil çatı örneği	25
Şekil 2.9. Semi intensif yeşil çatının yapısal kesiti	26
Şekil 2.10. Yeşil çatı sistemlerin karşılaştırılması	27
Şekil 2.11. Yeşil çatının bileşenleri	29
Şekil 2.12. Yeşil çatı sisteminin işleyiş şeması	30
Şekil 2.13. Kentlerdeki baskı unsurları	32
Şekil 2.14. Kırsal ve kentsel alanlar arasındaki farklı güneş ışınımı dağılımı	35
Şekil 2.15. Ekosistem yapı ilişkisi	36
Şekil 2.16. 2016 yılı Küresel ölçekte kentsel ve kırsal alanlarda ortam ince partikül madde hava kirliliğinin g/m^3 ($PM_{2.5}$), yıllık ortalama konsantrasyonlarının bölgelere göre dağılımı	37
Şekil 2.17. Bitkilendirilmiş ve geleneksel çatı sistemlerinin güneş ışınımına karşı davranışlarının karşılaştırılması	39
Şekil 2.18. Yeşil çatılarda biyoçeşitlilik	40
Şekil 2.19. Kentsel ısı adası etkileri	42
Şekil 2.20. Bir çatı için yüzey enerji dengesi	44
Şekil 2.21. $PM_{2.5}$ hava kirliliği, yıllık ortalama maruz kalma	46
Şekil 2.22. Yeşil ve standart çatılar arasındaki iklimsel işleyişi gösteren şema	47
Şekil 2.23. Erişilebilir yeşil çatı dinlenmek için güvenli bir yer sağlar	50
Şekil 2.24. Dünya genelinde çevre sağlığı ve ekosistem canlılığı	51
Şekil 2.25. 2018 Çevresel Performans Endeksi	52
Şekil 2.26. İran'ın Masuleh köyünde geleneksel çatı bahçesi	55
Şekil 3.1. Abbas Abad Avenü Nahid Projesi İntensif çatı sistemi projesi AutoCad çizimi	59
Şekil 3.2. Tahran Coğrafi Konumu gösteren harita	60

Şekil 3.3. Tahran'ın Jeomorfolojisi	61
Şekil 3.4. Tahran parkları, meyve bahçeleri ve yeşil alanların konum haritası	61
Şekil 3.5. Çalışma alanındaki binanın konumunu gösterir uydu haritası	62
Şekil 3.6. Tahran İran'ın Başkenti	63
Şekil 3.7. Tahran sıcaklık grafiği	64
Şekil 3.8. Tahran aylara göre iklim tablosu	64
Şekil 4.1. Abbas Abad Avenue Nahid Projesi	68
Şekil 4.2. Abbas Abad Avenue Nahid intensif yeşil çatı projesi 3D modelleme ve 3D görseli	70
Şekil 4.3. Abbas Abad Avenue Nahid Projesi intensif yeşil çatı uygulamasının bileşenleri	70
Şekil 4.4. Abbas Abad Avenue Nahid intensif yeşil çatı projesi çatı yalıtımının ana parçaları	71
Şekil 4.5. Abbas Abad Avenue Nahid Projesi intensif yeşil uygulamasının aşamaları..	73
Şekil 4.6. Abbas Abad Avenue Nahid intensif yeşil çatı projesi uygulaması yapım ve Tamamlanmış görselleri	74
Şekil 4.7. Yeşil çatı ve beton alandaki ısı akışı iletiminin karşılaştırılması	78
Şekil 4.8. Geleneksel çatıya zıt olarak yeşil çatıdaki ısı dağılımı	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Abbas Abad Avenue Nahid Projesi yeşil çatısının ısı transferi periyodik ölçümleri	17
Çizelge 2.2. Farklı tipteki yeşil çatıların karşılaştırılması	27
Çizelge 4.1. Abbas Abad Avenue Nahid intensif yeşil çatı projesi özellikleri.....	69
Çizelge 4.2. Isı akışlarının yeşil çatı enerji dengesine katkısı	77

1. GİRİŞ

21. yüzyılda küresel ölçekte görünür olan iklim değişikliği; dünya genelinde yaşam güvenliğini tehdit eden, yeni, doğrudan ve çok yönlü küresel sorun olarak tanımlanmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerinin özellikle aşırı hava olaylarının ortaya çıkmasıyla oldukça ciddi boyutlarda gerçekleştiği görülmektedir. Bu nedenle; insanoğlunun ve yerkürenin geleceğinin tehlike altında olabileceği birçok otorite tarafından kabul edilmektedir (Çolakçioğlu 2018). Bugün küresel iklim değişikliğinin, insan-kent-doğa etkileşiminde meydana gelen çok yönlü bozulmaların nedenlerine genel bir perspektifte neden sonuç ilişkisinde incelenmesi daha uygun olacaktır (Çetinkaya 2013).

Avrupada 18. ve 19. yüzyıllardaki yeni buluşların etkisi ve buhar gücü ile çalışan makinelerin yığın üretimde kullanılması ile başlayan sanayi devrimi insanlık tarihinde önemli bir dönüm noktasını oluşturmaktadır. İnsanlık sanayi devrimi ile hız kazanan sanayileşme, kentlerin hızlı ve kontrolsüz büyümesinde etkin rol üstlenmiştir. Sanayileşme sürecinde göz ardı edilen tek unsur çevre olduğu açıkça söylenebilir. Dolayısıyla plansız ve kontrolsüz kentleşme, çevresel içerikli birçok olumsuzlukları da kentsel alanlarda ortaya çıkmasına yol açmıştır. Plansız ve çevre faktörünü göz ardı eden sanayileşme sürecinde, doğal çevrenin hızlı değişimine, yeni bir sosyal çevrenin oluşumuna, çevre kirliliğine, ekolojinin bozulmasına, çevre-insan dengesinin tehlikeli bir boyuta ulaşmasını sağlamıştır (Kılıç 2006).

Sanayi devrimi ile başlayan süreçte; sanayileşme ve ekonomik gelişmeler özellikle liman kentlerinde yoğunlaşmıştır. Bu kentlerde sanayi, ticari, gelişim ve dönüşüm kentleşme olgusuna hızlı bir ivme kazandırmıştır. Bu kentlerin nüfus çekim gücünü ise daha iyi yaşam olanakları ve beklentileri oluşturmuştur. Dolayısıyla sanayileşme, kentleşme, kentlerin sayısal artışına ve kırsal-kent karşıtlığını zaman içinde ortadan kaldırmıştır. Sanayileşme süreci insanları geleneksel yaşantıdan modern yaşama doğru değişimde önemli bir rol üstlenirken, sadece toplumsal yapıları değil, bu toplumların yaşam mekânı olan kentleri de değiştirmiştir (Gültekin ve Doğan 2018). Başka bir ifade ile insanoğlu var olduğu andan günümüze kadar varlığını ve çevresini değiştirerek sürdürmektedir. İnsanın değişmeyen temel özelliği ise yerkürenin zenginliklerinden faydalanarak gelişmesi ve ileri uygarlıkları inşa edebilmesidir (İlkin ve Alkin 1991). Bu bakış açısıyla gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin kalkınması ve gelişimi için etken olgu kentlerdir. Değişim ve dönüşüm; ekonomik anlamda farklılaşma-gelişme, sosyal-kültürel alanlara sahip kentsel mekânların varlığını oluşturmuştur. Bununla birlikte bu kentler teknolojik gelişmelerin hızlı kabul gördüğü cazibe merkezleri olarak yoğun nüfusa maruz kalarak hızlı yayılım ve öngörülemeyen büyüme sürecine girmiştir (Gül ve Polat 2009).

Geçmişten günümüze ticaret, kültürel ve sosyal açıdan birçok medeniyete ve yönetime ev sahipliği yapmış olan kentler; zaman içinde çeşitli yönlerde değişim ve dönüşüme uğramış sosyal yapılarıdır (Çetinkaya 2013). Bu değişim ve dönüşüm içerisinde kentler, arazi kullanımının en yoğun olduğu, insan eli etkisinin en fazla olduğu mekânlar olmuştur. Kentlerde sanayinin gelişmesi ile birlikte üretim merkezlerinde çalışmak üzere kırdan kente giderek artan yoğun

göç konut, ulaşım, ticari amaçlı kullanımlar için yapılaşmayı hızlandırmıştır. Yapılaşma; kentiçi ve kent çevresindeki varolan yeşil dokunun plansız ve yanlış arazi kullanımını ile hızla yapılaşarak betonarme yığınların ve geçirimsiz yüzeylerin oluşturduğu dokulara dönüşmüştür. Kentsel alanlardaki yapılar ve üretim için gereksinim duyulan enerji ihtiyacı fosil yakıtlardan yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yapı ağırlıklı kentsel alanlar üretim ve tüketim baskıları sonucu çevre ve hava kirliliği üreten, atmosfere sera gazları salınımının odak noktasını oluşturan, çevresel sorunların yoğunlaştığı alanlar hâline gelmiştir. Kentler; doğal ve tarihi dokunun tahrip edildiği, giderek artan ekolojik sorunların başgösterdiği, yaşamın giderek zorlaştırmakta olduğu, insan doğa ilişkilerinin yeniden tahsis edilmeye çalışıldığı mekanlar olmuştur. Günümüz kentleri, kentsel yatay ve dikey yayılımın plansızlığı ile gelişim ve değişime terk edildiği, ekolojik temelden yoksun olduğu görülmektedir (Korkut, Kiper ve Üstün Topal 2017).

Genel olarak kentleşme, doğal ortamdan yapılı ve yoğun yapılaşmış çevreye geçişi ifade ederken; aynı zamanda kentleşme, geçirimsiz asfalt kaplı yüzeylerin geniş alanlarını da yaratarak, bitki örtüsü ve yaşam alanı kaybı, yüzey kayması ve su basması gibi problemler yaratmasına yol açmaktadır. İfade edilen bu olumsuzlukların her biri giderek değişken bir iklim tarafından da belirgin bir şekilde desteklenmektedir. Bu olumsuzluklarolağandışı çevresel, ekonomik ve sosyal zorluklar sergilerken, kentlerin şimdi ve gelecekte daha yaşanabilir hale getirmek ve bu yönde geliştirmekancak yeni düşünce biçimleri ve yaklaşımların gerçekleşmesi ile mümkün olabilecektir. Yaşanan küresel çapta çevre sorunları ve onun etkileri olumlu gelişmeleri sağlasa da küresel ölçekte atılması gereken adımlarda geç kalındığı düşüncesi güncelliğini korumaktadır. Dünya genelinde birçok ülke; kentlerde yeşil altyapıya sahip olmanın önemini ve zorunluluğunu kabul etmektedir. Diğer bir bakış açısı ile kentler iklim değişikliğinin hem sorunu hem de çözümün önemli bir parçasıdır. Diğer pek çok şehir gibi Tahran'da kentleşmenin artması yönünde baskılanmaya devam etmektedir. Bu baskılama unsurları; hızlı nüfus artışı ve kentsel gelişim, doğal ortamların aşırı derecede mühendislik altyapısına dönüştürülmesi, otomobillerden, endüstriden ve ticaretten gelen ısı üretimi, güneş enerjisinin binalar ve döşemeli yüzeyler tarafından tutulmasıyla birleştiğinde, doğal olarak sıcak şehir ortamları kentsel ısı adaları yaratması; Bunlar, çevre, insan sağlığı ve refahı üzerinde olumsuz etkilemektedir.

Estetik amaçlarla oluşturulan çatı bahçelerinin tarihi M.Ö. 2500 yıllarına kadar ulaştığı ilgili arkeolojik bulgu ve kanıtlardan görülmektedir (Karaman 2018). Bu bahçeler çeşitli bölgelerin yerel mimarisine kadar uzanabilirken, çatı bahçelerin eski çağlardan beri varlıklı sınıf tarafından inşa edildiği belgelenmiştir (Osmundson 1999). Tarihsel süreçte çatı bahçeleri estetik bir obje iken, günümüzde çevresel olumlu etkileri için tesis edilen alanlardır. Yeşil çatıların ekolojik amaçlı çatı bahçeleri olarak kullanıldığı bölge Kuzey Avrupa'dır. Kuzey Avrupa'nın uzun ve soğuk kış mevsiminde oluşan zorlu koşullarda yaşayabilmek için geliştirilen yöntemler arasındadır. Bu yöntemlerden biri çatının toprakla örtülerek üzerine otlar ve diğer bitki türleri ile stabilize edilmesi ile ısı yalıtımının sağlanması amacıyla oluşturulan çayır örtüsü ile kaplı çatılardır. Modern anlamda yeşil çatılar ise 1960 yıllarda İsviçre'den, özellikle Almanya ile birlikte birçok

ülkede yaygınlaşmıştır (Ekşi 2012). Bu bağlamda çatı bahçeleri yeni bir olgu veya yapı değildir.

Yeşil çatılar, hızla gelişen ve büyüyen kentlerde yoğun kullanımlar ve kaybolan yeşil alanlar, kentin ihtiyacı olan yeşil dokunun yeniden tesis edilmesinde bir çözüm olarak önem kazanmaya başlamıştır. Bitkilendirilmiş yeşil çatı sistemleri “ekstensif” (seyrek) ve “intensif” (yoğun) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu iki sistemin karışımı ile oluşturulan yarı-inensif sistemde bulunmaktadır. İntensif yeşil çatı sistemleri çalı ve ağaçlarla bitkilendirilmiş, yer yüzeyindeki bahçeye benzer drenaj, sulama, yer kaplamaları, koruyucu tabalaları gerektirmektedir. Eksentif yeşil çatı sistemleri ise daha çok estetik amaçlı tesis edilen, genellikle *Sedum* türleri gibi yenileme yetenekleri yüksek ve kuraklığa dayanıklı bitkilerle bitkilendirilmiş, sığ yetiştirme ortamına sahip drenaj, sulama sistemleri gerektirmeyen, binaya ve kente ekolojik katkıları nedeniyle tercih edilen çatı bahçeleridir. Eksentif yeşil çatı sistemleri intensif yeşil çatılara göre daha az bakım, altyapı ve daha sığ yetiştirme ortamlarına ihtiyaç duymaktadırlar (Ekşi 2012). İntensif yeşil çatıları inşa edilmesi yüksek maliyeti içermektedir. Bu tür çatılarda toprak ve bitkilerle ilgili artan ağırlıkları desteklemek için çatılarda çok fazla değişikliğin yapılması gerekmektedir. Eksentif yeşil çatı sistemlerinde ilke, çok fazla sulama ve bakım gerektirmeyen, yavaş büyüyen bitki örtüsünü destekleyen, çatı yapısı üzerine çok ince bir toprak tabakası uygulamayı içermelidir. Eksentif çatılarda, yetiştirme ortamını yerinde tutmak için yükseltilmiş bir şebeke yapısı varsa, otuz derece eğimli çatılara da uygulanabilir. Yaşam alanı olarak kullanım amaçlı olmadığından genellikle yaya erişim özelliği bulunmamaktadır. Sulama sistemleri, gübreleme ve sık bakım gerektiren intensif yeşil çatıların aksine, eksentif yeşil çatılar çok az sulama, bakım veya gübre gerektirir (Hoffman and McDonough 2004).

Sağlıklı bir insan yerleşimi; bölgesel, doğal ve dünyanın olağan döngüsü için önemli bir alt sistemin varlığını gerektirir. Tasarımcının geniş görüş açısı ve duyarlılığı ile oluşturulan sistem, birikim, kültür, estetik anlayışla çok sayıda çözümler üretir (Korkut vd. 2017). Kentlerde çevresel etkilerin azaltılması yönünde önemli bir çözüm olan yeşil çatı teknolojisi, binaların sürdürülebilirliğini iyileştirmek için kullanılan enerji verimli bir teknolojidir (Asif 2016). Bu gerçek, son yıllarda inşaat sektörünün dekarbonizasyonuna yönelik olarak gerçekleştirilen çok sayıda araştırma çabasının temelini oluşturmaktadır. Bunlar arasında enerji verimliliği stratejilerinin geliştirilmesi, enerji tasarrufu ve yönetiminin oluşturulması ve net sıfır enerji inşası (NZEB) gibi yenilikçi kavramlar yer almaktadır (Alnatheer 2005; Ouldboukhite, Belarbi, Jaffal ve Trabelsi 2011). Yeşil altyapı, yeşil alanlar ve su sistemleri dâhil olmak üzere doğal peyzaj varlıkları, yeşil altyapı, ağaçlar, parklar, suya duyarlı kentsel tasarım (sulak alanlar ve yağmur bahçeleri gibi) ve yeşil çatılar, duvarlar ve cepheleri içermektedir. Yeşil çatılar yeni binalara dâhil edilebildikleri veya mevcut binalara yerleştirilebildikleri için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Yeşil çatılar kentin yayılması nedeni ile kent genelinde yeşillik kaybını azaltabilmek, hava kirliliği, kent ısı adalarının etkilerini azaltılması ve estetik iyileştirmeler sağlamak için kullanılmaktadır. Hızlı ve plansız kentleşme doğal çevrenin aşırı azalma ve kirlenme risklerini de ortaya çıkartmıştır. Enerjinin yaklaşık olarak %40’ı yapı

çevrelerde tüketilmektedir (Karabacak; BBTY 2016). Bu bağlamda yeşil altyapının kentlerdeki varlığının artması gerekmektedir.

Bu çalışmada önemle vurgulanan; 21 yüzyılda küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi olumsuz sonuçların insan ve yaşam için büyük bir tehdit olarak gerçekleştiği ve bunun sonucu belirgin sonuçlarını da dünya genelinde sürekli olarak yaşandığının gerçekliğidir. Küresel ısınma ve küresel iklim değişikliği yoğun nüfusun yaşadığı kentlerde, kentler, sorunun ve çözümün en önemli parçasıdır. Genel olarak günümüz kentlerinin kent-çevre, küresel ısınma ve iklim değişikliğine etkileri karşılaştırmalı olarak irdelenecek, yeşil çatı kavramı, yeşil çatı sistemlerinin enerji verimliliğine etkileri Tahran örneği ile incelenecektir. Dolayısıyla yeşil çatı sistemlerinin enerji verimliliğine, kent ekolojisine, doğaya, insanlığa ve dünyaya katkıları, varolan sorunlara getirdiği çözüm önerileriyle birlikte tartışılacaktır.

Dünya üzerindeki mega kentlerde nüfus ve yapıların yoğun olarak artışı buna paralel yeşil alanların aynı paralellikte üretilemeyişi Tahran gibi mega kentin de sorununu oluşturmaktadır. Tahran'da bu durum açıkça görülmektedir ki, kentteki yapılaşmaya paralel mevcut yeşil alanların oranı daha düşük gerçekleşmektedir. Bugün yeşil çatı teknolojisinin gelişmiş ülkelerde hızlı artışına karşın gelişmekte olan ülkelerde kullanım azlığı dikkat çekicidir. Tahran genelinde genellikle yeşil alanlar ve bahçeler şehir merkezlerinden uzakta tasarlanıp tesis edildiğinden, bu alanların kente olan katkısı sınırlı kalmaktadır. Tahran'da hızlı büyüyen yapılaşma sürecindeestetik ve değer katma amaçlı yeşil çatılar veya çatı bahçelerin tasarlanması yeterli olmasa da gelecek için umut vericidir. Yeşil çatı teknolojisi ve konstrüksiyonun İran'da arzu edilen seviyede gelişmemiş olması; özellikle hava kirliliği ile anılan Tahran'da araştırılması ve incelenmesi gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeşil çatıların kentsel alanlarda yeşil alanları iyileştirir ve birçok çevresel, ekolojik ve ekonomik avantaj sağlayarak kent insanına ve doğal yaşama yarar sağlamaktadır. Birçok etki ve yararları ile yeşil çatılar, yağmur suyu akışını ve kentsel ısı adasının etkilerini azaltmakta, toz ve dumanı ve karbondioksiti emekte, oksijen üretmekte, gıda üretimi için alan yaratmakta olup; ayrıca hayvanlar ve bitkiler için de doğal yaşam alanı sağlamaktadır.

Tahran'da diğer büyük kentlerde olduğu gibi hızlı yayılım sonucu yeşil alanların azalması, kent ısısındaki artış gibi sorunlara çözüm üretebilmek adına yeşil çatıların önemi artmıştır. Kentleşmenin hızlı bir şekilde sürdüğü Tahran'da yeşil çatı sistemlerinde kullanılan konstrüksiyon sistemlerinin tam anlamıyla gelişmemiş olması, yapılan uygulamaların azlığı, bunun yanında kentin ihtiyacı olan yeşil alanların, yeşil çatılar ile dönüşümünü zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle bu tezde; yeşil çatıların bu dönüşümde önemli bir rol üstlendiği gerçekliğinden hareketle araştırılması ve incelenmesi gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; step iklimine sahip olan Tahran'da örnek bir çatı uygulamasında yapılan ölçümler yardımıyla Tahran koşullarında yeşil çatı sistemlerinin enerji verimliliğine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, son yıllarda İran'da uygulanan birkaç proje incelenerek yeşil çatıların önemi; ekolojik,

ekonomik ve sosyal ön plana çıkan yanları, yeşil çatı teknolojisi önündeki engeller, politikalar, kentin ekosistem üzerindeki baskı faktörleri incelenmiştir. Tahran'daki bina çatılarının yeşil çatılara dönüştürülmesi için gerekli olan bazı faktörler, kriterler ve iyileştirmeler, yeşil çatı teknolojileri ve yenilikler entegrasyonu açısından analiz edilerek değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda bu tez kapsamında elle alınmış olan Tahran'da yeşil çatı uygulaması mevcut klasik çatıların yeşil çatılara dönüşümü ile ilgili elde edilecek avantajlar ele alınarak karşılanmıştır. Tahran koşullarında yeşil çatı sistemleri ile enerji verimliliği aynı paralellikte kentsel ekosistemin bir parçası olarak düşünülmesi, kendi kendine yetebilen sürdürülebilir kentsel ekosistemi geliştirilerek desteklenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Küresel iklim değişimlerinin hızla arttığı günümüzde güncel bir araştırma konusu olarak yeşil çatı sistemlerinin enerji verimliliğine etkisinin ölçülmesi ve bu araştırmanın hava kirliliği ile anılan Tahran'da bir uygulama örneği üzerinden yapılması, bu açıdan yapım yönetimi literatürüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın ana hedeflerinden biri olan yeşil çatı sistemlerinin enerji verimliliğine etkisinin ölçülmesi yapım yönetimi alanında katkı verecek çalışmalardan biri olacaktır. Ayrıca, çalışmanın konusu olan uygulamanın Tahran'da yapılmış olması İran inşaat sektörünün güncel durumu üzerine değerlendirmeler de içermekte olup; bu alandaki araştırmaların da çalışmanın özgünlüğüne katkı sağlayıcı nitelikte olması açısından önemlidir. Bu anlamda, çalışma gerek ulusal, gerekse uluslararası alanda oldukça özgün bir çalışma olmaya adaydır. Buna ek olarak çalışmanın, binalarda enerji verimliliği ve yeşil çatı alanlarında yapılacak araştırma-geliştirme çalışmalarına kolaylık ve katkı sağlaması ise genel hedefleri arasındadır. Çalışmanın son kazanımı ise; daha çok sektörü ilgilendirecek olmasıdır.

Tahran gibi mega kentlerde, yeşil çatı sistemlerinin yaygın kullanım imkanı bulması, kentsel dokuya önemli katkılar sunarken, geleceğin kentlerinin şekillenmesi anlamında ve bir yol gösterici olabilecektir. Çalışmadan elde edilen bulguların literatüre ve inşaat sektörüne yararlı olacağı düşünülmektedir. Dünya genelinde herkes tarafından, tartışılan, çözüm başlıklarının sıralandığı günümüzde yeşil çatı sistemlerinin enerji verimliliğine etkisinin ölçülmesi ve bu araştırmanın Tahran'daki bir uygulama örneği üzerinden yapılmasının yapım yönetimi literatürüne katkı sağlayıcı nitelikte olacağı düşünülmektedir. Çalışma yeşil çatı sisteminin terminolojisi ile günümüz dünyasındaki uygulamalarına değinen bir eser olarak ulusal yapım yönetimi ilgililerinin ve inşaat sektörünün kullanımına sunulmuştur.

Çalışma kapsamında kentsel alanlarda enerji tasarrufu ve peyzaj geliştirme için çözümler, bina ve kent ölçeğinde önemli bir bileşeni olan yeşil çatıların enerji verimliliğine etkisinin ölçülmesi konuyla ilgili akademik çalışmalardan yararlanılarak, Tahran iklim koşullarındaki önemi analitik olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada daha detaylı araştırma ve değerlendirmelerin yapılabilmesi için step iklim koşullarının hakim olduğu Tahran'da gerçekleştirilen örnek yeşil çatı uygulamasının yapım aşamasından bitim aşamasına kadar geçen süreç ayrıntıları ile incelenmiş, yeşil çatı ile normal çatı yüzeyi ile ilgili ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında yapılan ölçümler yeşil çatı yüzeyinde

oluşan sıcaklık değişiminin normal çatıya göre daha hızlı olduğunu, ancak yüzeyde oluşan bu değişimin yeşil çatı tarafından %70 oranında azaltılabildiğini ortaya koymaktadır. Yeşil çatı sistemleri bilim ve teknolojik gelişmelere paralel olarak artış eğiliminde olan malzemeler, yöntem ve teknikler, tasarım ve uygulamalarda sürekli kendini yenilemektedir. Yeşil çatı sistemlerinin çeşitleri, kullanım alanları, maliyetleri, bitkilendirilme koşulları, yararları sınıflandırılarak açıklanmıştır. İnşaat sektöründeki yeşil çatı uygulamalarında günümüzde artış gözlenirse de yaygın bir şekilde kullanılmadıkları, daha gelişme aşamasında oldukları ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma gerek akademik camianın gerekse inşaat sektörünün yeşil çatı sistemlerinin geçmişte birçok zorlukla yerine getirilen enerji verimliliğine etkisinin ölçülmesinde elde edilen bulguları akademik bir disiplinle tartışmayı hedeflemektedir. Bu anlamda çalışmanın literatüre ve sektöre faydalı olacağı düşünülmektedir. Çalışma ayrıca yeşil çatı sisteminin terminolojisi ile günümüz dünyasındaki uygulamalarına değinen bir eser olarak ulusal yapım yönetimi ilgililerinin ve inşaat sektörünün kullanımına hazır olacaktır.

2. KAYNAK TARAMASI

Bu bölümde; yeşil çatılar ile ilgili kuramsal temeller, tanımlar, önemi, güncel durumu ve türleri hakkındaki bilgiler ilgili literatür araştırılarak genel bir çerçevede sunulmuştur.

Birleşmiş Milletler 2014 yılı verilerine göre dünya nüfusunun yarısından fazlası kentlerde yaşamakta ve gündün güne büyük artışlar yaşandığı gözlemlenmektedir. Kentlerdeki yoğun nüfus ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan yapılaşma faaliyetleri, doğal kaynakların tükenmesine ve doğal yapının bozulmasına, küresel ısınma ve iklim değişikliğine, hava ve suyun kirlenmesine, ekonomik, sosyal ve çevre gibi önemli olumsuzlara yol açmaktadır (Dikmen ve Savcı 2015).

Kentler, doğal ortamı değişikliğe uğratarak yeni çevresel koşullar oluştururlar. İnsanlar tarafından üretilmiş kendine özgü ekolojik ve atmosferik koşulları içlerinde barındırırlar (Chen, Ng, An vd. 2012). Yapı sektörü yeşil alan için küçük bir arazi alanı tahsis etmekte, daha yoğun alanlarda yeşil alanların tahribatı ile yapılaşma daha fazla gerçekleştirilmektedir. Bu ve benzeri nedenler kentsel alanlarda yeşil alanlar sınırlandırmakta, neredeyse yeni yeşil alanların geliştirilmesini imkânsız hale getirmektedir (Kralli ve ark. 1996). Kentsel alanlardaki sınırlı yeşil alan ile ilgili problem, kentsel yapı çatı örtülerinin bina özelliklerini kısmen değiştirilmesi ile yeşil alanlar üretilmesi ile çözülebilir (Frazer 2005).

Kentler, üzerinde buldukları alanların ekolojik yapısını, atmosferik özelliklerini, mikro iklimini değiştirerek farklı bir ekoloji, atmosfer ve mikro iklim oluşturmaktadır (Tozam ve Bulut Karaca 2018). Kentlerdeki yapılaşma enerji tüketimini arttırması, enerji tüketiminde fosil yakıtların kullanılması kent alanlarındaki sıcaklık artışını arttırmaktadır. Planlı, denetimli ve çevresel etkileri dikkate alan yapılaşma, kentsel alanlarda bitkilendirme olanaklarının artmasına ve kent ikliminin iyileşmesine katkı sağlamaktadır.

Kent ısı adası (Urban Heat Island/UHI); kentin, çevresindeki kırsal alanlara göre sıcaklık farkının daha fazla olması olarak adlandırılmaktadır (Kuşçu Şimşek ve Şengezer 2012). Kentlerdeki beton ve asfalt yüzeylerin kırsal alanlara göre fazla olması, toprak, bitki ve yeşil alanların zayıf olması, havadaki partiküllerin yoğun olması kentlerin güneş enerjisinin daha çok soğrulduğu, sıcaklık farklılığının daha fazla olduğu alanlara dönüştürmüştür. Bununla birlikte kent yerleşim planlarında olmayan kaçak yapılaşma sonucu oluşan yerleşimler rüzgâr geçişi ve hava sirkülasyonunu engellemektedir. Kentsel ısı adasının şiddeti gün batımından itibaren başlayarak yüksek değerlere ulaşmakta, gece ise etkisi gündüz saatlerine göre daha yüksek olmaktadır. Kentsel ısı adasının şiddeti; yapısal yoğunluğa, sert zeminli geçirimsiz yüzeylerin ve yeşil dokunun dağılımına, yüzey malzemelerinin termofiziksel özelliklerine, antropojenik ısı üretimine ve kentin geometrik özelliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Canan 2017). Kentsel ısı adası; hava kalitesinin düşmesine, bina soğutmalarında enerji tüketiminin artmasına, kent üst tabasında kirliliğe, kent mikro iklim

rejimlerinde değişimlere yol açmaktadır. Ayrıca bu sıcak hava dalgalanmalarının yaşandığı günler hasta-yaşlılarda rahatsızlık ve yaşamsal tehlike oluşturmaktadır.

2.1. Yeşil Çatı Kavramı

Yeşil çatıların kökeni binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. En ünlü yeşil çatılar Babil'in Asma Bahçeleridir. Birçok medeniyet çeşitli yeşil çatı tiplerini buldukları coğrafyanın şartlarına göre; estetik, yalıtım, ısıtma-soğutma, gürültüve çatı yapısını koruması vb. gibi birçok fayda sağlayıcı amaçlarla kullanmışlardır. 19 yüzyılın başlarında Kuzey Avrupa'da çatının toprakla kaplanarak üzerine otsu ve bazı bitkiler uygulaması ile ısı yalıtımı sağlamak amacıyla oluşturulan yeşilçatı sistemleri, 1960'lı yılların başında İsviçre'de modern yeşil çatı teknolojileri; toprak ortamını ve bitki örtüsünü desteklemek için çatının üzerine yerleştirilmiş bir katman sisteminden yapılmıştır. Bu sistem, özellikle Almanya ile birlikte birçok ülkeye yayılarak kullanılmaya başlanmıştır (Ekşi ve Uzun 2016).

Yeşil çatılara olan ilgi, Sanayi Devrimi ile başlayan sanayileşme eğilimleri ile birlikte kentsel alandaki nüfus yoğunluğunun artmasına, ekosistemi küresel ölçekte etkileyici çevresel olumsuzlukların ortaya çıkmasına artmıştır. Enerji tasarruflu binalar fikri ile eşanlı olan yeşil binalar ve yeşil çatılı binalar, iklim değişikliği ve tahrip edilen ekosistemin olumsuz çevresel etkilerine karşı bir çözüm önerisi olarak sunulmaktadır. Bu sistemler; kent altyapısının dayanıklılığını ve direncini artırarak sürdürülebilir kent ekosistemini destekleyici ve direncini artıran seçenek olarak kabul görmektedir.

Yücel (2009), yeşil çatıları, "çatı bahçeciliği veya bitkilendirilmiş çatı teknolojisi yaşayan çatılar veya eko çatılar olarak da tanımlanabilen yeşil çatılar, normalin altında ağırlıklı çevrede yetişen mikroorganizmaları ve bitkileri barındıran biyolojik oluşumlar" olarak tanımlamaktadır. Kabuoğlu (2005), yeşil çatıların "kentlerde endüstri ve trafik kaynaklı nitrojen bileşiklerinin neden olduğu hava kirliliğini ve tozu azaltarak, nitrojen bileşiklerinin emilmesini ve filtre edilerek hava kalitesinin iyileştirilmesini sağladığını" ifade etmektedir (Dikmen ve Savcı 2015).

Kentsel alanlarda kaybolan yeşil alanların geri kazanımı veya iyileştirilmesi amacıyla tesis edilen yeşil çatı sistemleri, yapılaşma ve geçirimsiz yüzeylerle kaplı alanların kentlerdeki yoğunluğu nedeniyle ortaya çıkan olumsuz etkilere etkili çözümler sunmaktadır. Son zamanlarda kentlerin çevresel olumsuz etkilerini azaltan, yeni yeşil ve yaşam alanları kazanımı amacıyla öne sürülen yeşil çatı sistemleri "gelişen teknoloji, yapı malzemesi bilimi sayesinde çatıların yüzeyi enerji tüketen bir yapı elemanından, ekosisteme katkı sağlayan bir yapı bileşenine dönüşmektedir" (Akpınar Külekçi 2017).

Mevcut kent binalarında ya da yeni binalardaki çatıların farklı özelliklerle bitkilendirilmesiyle oluşturulan bu sistemler; çatılarda kullanılacak olan bitkilerin türlerine ve bitkilerin optimal bir şekilde yaşamaları için gereken alt sistem elemanlarının niteliklerine göre iki gruba ayrılmaktadır. Literatürde bitkilendirme ile oluşturulan yeşil çatı sistemleri; bitki türlerine ve bitkilerin en uygun şekilde

yaşamaları için gereksinim duyulan alt sistem katmanlarının özelliklerine göre intensif (yoğun) ve eksentif (seyrek) çatı olarak iki tip arasında bir ayrım çizmektedir. İki çatı sisteminin temel özellikleri ile oluşturulan semi-intensif (yarı-yoğun) ara bir çatı sistemidir (Werthmann 2007).

İntensif, eksentif ve yarı-intensif yeşil çatı kategorisini farklılaştıran faktörler arasında toprak derinlikleri, yükleme kapasiteleri ve işlevleri bulunmaktadır. Eksentif yeşil çatılar ince toprak derinliklerine ve daha az sayıda toprak katmanına sahiptir, bu nedenle bunlar daha az ağırlıkta, daha az maliyetli ve daha az bakım gerektirir. Buna karşılık intensif yeşil çatılar derin toprak katmanlarına sahip olup ağırlığını artıran çok çeşitli bitkiler yetiştirilmesinden dolayı hem yüksek bakım gerçekleştirmekte hem de daha maliyetli olmaktadır. Bitkilendirme tipinin değişmesi, yeşil çatı sistemini oluşturan yapısal katmanlarda değişikliklere yol açmaktadır (Ekşi 2012).

Yaşadığımız yüzyılda dünya genelindeki ülkelerde kentleşme ve buna bağlı olarak kent kaynaklı farklı nitelik ve nicelikteki çevresel sorunlar çok ciddi boyutlara ulaşmıştır. Özellikle kentleşme; büyüme ve tüketim ihtiyacına bağlı fosil yakıtların yoğun tüketimi; kentsel alan ve kent çevresindeki alanların konut ve endüstriyel kullanım ağırlıklı paylaşımını hızlandırmıştır (Hepcan 2009). Bu durumda çevre dengesi ve döngülere zarar veren, doğal ekosistemin kendini yenileyebilirliğini ortadan kaldıracak şekilde doğal dokunun tahribatına yol açmaktadır. Bu anlamda kentleşme; ekolojik sistemi olumsuz etkileyerek, küresel ısınma ve iklim değişikliğine olumsuz katkı sunan, çevresel sorunların en önemli etkeni ve belirleyicisi olmaktadır. Bu etken; İran dâhil dünyanın tüm ülke kentlerinde kendisini hissettirmekte olup insan ve yaşam üzerinde tehdit oluşturmaktadır. Kentlerin hızlı gelişimi ve büyümesi, kent çevresindeki alanlarla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca plansız, denetimsiz ve altyapıdan yoksun yapılaşma; doğal alanlar üzerindeki baskı oluşturarak ekosistemin doğal işleyişini bozmaktadır. Doğal ortamlar üzerindeki kent baskısı, gerek doğal alanların yapılarak örtülmesi günden güne yoğunluk kazanan yapay kentsel yaşama alanının oluşmasına yol açmaktadır. Ortaya çıkan bu yapay kentsel yaşam alanları, yaşamın tüm paydaşlarını doğal alandan uzaklaşmasına, insan-doğal çevre arasındaki dengenin sürdürülebilirliği geri dönüşümsüz hale getirmektedir (Moharram Nejad ve Bahman Poor 2009). Bu bağlamda yeşil çatılar kentsel çevre için istenen bir biyolojik kapasiteyi sağlayan, verimli ve sürdürülebilir kılan bir canlı ekosistemin oluşumuna önemli oranda katkı sağlamaktadır (Fatouhi 2015). Yeşil alan, belirli bir fonksiyona sahip olabilen kentsel fiziksel genişlemenin bir parçasıdır. Yeşil binalar, yeşil kentler, yeşil çatılar mimarlığın ve kentleşmenin yeni yaklaşımlarından olarak, çevre ve kentlerin sürdürülebilir kalkınmasının kalitesini artırmak ve bozulan dengelerin onarılması için fırsat oluşturmaktadır. Ayrıca kentlerdeki mevcut çatıların yeşil çatılara dönüştürülmesi pratik kullanım veya kentsel alanların optimal kullanım olasılığını artırması bağlamında yeni yeşil kazanımlar olarak da düşünülebilir (Tahran Belediyesi Park ve Yeşil Çatı Organizasyonu 2010).

Arazi ve varolan mevcut kaynakların yoğun ve plansız kullanımı, dünya nüfusunun büyük bir oranını kentlerde barınması mevcut olan çevresel olumsuz etkilerin artmasına yol açmaktadır. Kentler, dünya yüzeyinin %2'sini kapsadığı,

sera gazlarının önemli bir miktarı ile birlikte dünyadaki toplam karbondioksit miktarının %80'ini açığa çıktığı ve bu emisyonların %75'ini enerji kullanımı ile gerçekleştiği yerlerdir. Yakın gelecekte dünya genelinde kentleşme oranı %70'e ulaşacak, gelişmekte olan ülkelerdeki 200.000 km² kent arazisinin 600.000 km²'ye ulaşması ile kentleşme ve doğal çevre ilişkisinin bu büyümeyi nasıl dengeleneceği ve bu büyüme ile ortaya çıkacak sorunların nasıl çözüleceği önemlidir. Bu yüksek oranlar, kent içi ve kent çevresindeki doğal alanlarda, yeterli bitki örtüsüne sahip olmayan inşaat alanlarının yükselerek kentsel alana dönüştürülmesine ve çevresel sorunların önemli ölçüde çoğalmasından dolayı olacaktır. Dolayısıyla kenti çevreleyen doğal alanlardaki çevresel sorunlar daha da büyüyecektir. Kentlerin doğa, doğal yaşam ve insan üzerindeki olumsuzlukların en az seviyeye indirilmesi, doğal alanlardaki nüfus ve kent baskının kaldırılabilmesi, daha verimli, yaşanabilir kentler için planlama, yaklaşımlar, teşvikler ve girişimler gereklidir. Bu bağlamda ön plana çıkan bitkilendirilmiş yeşil çatılar, yeşil kent, ekokent, yaşanabilir kent olguları bütünleşmektedir. Bu girişimler temel olgu ise; kentlerin doğa, doğal yaşam ve insan için en yüksek düzeyde verimliliği ve korumayı sağlayacak yeniden yapılandırma düşüncesini yansıtmadır (Sınmaz 2013).

Yeşil çatılar doğa dostu teknolojinin kentlerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasında etkili olurlar. Genel olarak kentlerdeki mevcut bina çatı yüzeyleri ve kentsel alan yüzeylerin %20 ile 25'ini oluşturmaktadır (Shishegar 2012). Verimsiz, atıl ve göz ardı edilen çatıların her metrekaresi yeşil alan yaratmak için bir fırsat sunmaktır (Düzenli, Alpak ve Yılmaz 2018). Bu alanların bitkilendirilmiş yeşil çatılara dönüştürülmesi sürdürülebilir ve verimli yaşam alanlarının oluşturulması, çatıların izolasyonu ile ısıtma-soğutmada enerji verimliliği, atık su miktarı, toz ve duman seviyelerinin, gürültü kirliliği ve çevrenin değişen iklimini azaltılması gibi işlevleri bulunmaktadır. Birçok açıdan bilimsel olarak faydası kanıtlanmış yeşil çatıların yaşayan bitki örtüsü ile binaların çevresindeki alanlar üzerindeki olumsuz etkileri azaltıcı özelliğe sahiptir. Bu özelliği ile yeşil çatılar, kentleşmenin ve kentsel gelişimin enerji verimliliğine dayalı bir anlayış, daha fazla alanın yeşil alana dönüşümü ve çevre sorunlarının çözümü için yaklaşım, ekosistemi koruyan kentsel dönüşüm farklı bir çözüm olarak başarıyla kullanılabilir sistemler olarak önerilmektedir. Yeşil çatıların kısa dönemde inşa maliyetleri diğer geleneksel çatılara oranla daha yüksek olmasına karşın, yukarıda belirtilen faydaları dikkate alındığında hem enerji tasarrufu, olumlu çevresel etkileri nedeniyle uzun dönemde daha ekonomik olduğu söylenebilir (Shishegar 2012).

Aşırı fosil yakıt kullanımı ve doğa tahribatı yeni bin yılda küresel ısınma ve iklim değişikliği ile karşı karşıya bırakmıştır. Bu sorunların önüne geçilmesi ve etkilerinin azaltılması için oluşan ortak bilinç, mevcut yeşil alanların korunması, yeni yeşil alanların oluşturulmasını da içeren uluslararası çalışmalar ve antlaşmalar aynı zamanda yapı sektörü içerisindeki yeşil çatı sistemlerini gelişmesine ve büyüyen bir endüstriye dönüştürmüştür. Günümüz kentlerindeki yapı endüstrisi ve mimarisinde bitkilendirilmiş çatılar, konut, ticari ve kamusal yapılarda prestij unsuru olarak nitelendirilmektedir. Genel olarak yeşil çatılar; kent eko-sistem tesislerinin azaltılması, kentlerdeki yetersiz yeşil alanların

boşluğunu doldurarak mikro klimayı dengeleyerek, doğal çevrenin yaşamasını desteklemesi, karbondioksit-oksijen değişiminin sağlanması, kent ısı adası etkisinin azaltılması, bina çatılarında ısı yalıtım kapasitesini artırarak sıcaklığının dengelenmesini sağlaması, su drenaj miktarını azaltması ile atık su yönetiminin iyileştirilmesi, kentsel biyoçeşitliliğe olan katkısı, kent üzerindeki toz parçacıklarının ve hava kirliliğinin azaltılması, binalarda ses yalıtımı sağlayarak gürültüyü absorbe etmesi gibi olumlu etkileri önemli kazanımlarını açıklamaktadır. Yeşil çatıların faydaları ekonomik, sosyal ve çevresel olarak gruplandırılabilir. Ekonomik açıdan yeşil çatılar, çatı ömrünü uzatıp, enerji verimliliği ve yapılarda yalıtım görevi üstlenmektedir. Sosyal açıdan yeşil çatılar, bulunduğu ortama estetik anlamda değer kazandırması, konforlu ve fonksiyonel açık alanlar olarak uygun bir yaşam alanı olması, doğa ile iç içe olduğu hissi ile psikolojik açıdan insan sağlığında etkili olduğu ifade edilebilir. Çevresel açıdan yeşil çatılar, biyoçeşitlilik ve doğal yapıya sağladığı katkı ile doğal yaşamı desteklemesi, yeni yeşil alanlar kazanımı ile çevresel olumlu etkileri artık tartışmanın ötesinde bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. Ekonomik, sosyal ve çevresel olumlu etkilerinin yanında tasarımcılar ve mimarlar, yeşil çatı sistemlerinin bu olumlu etkilerini dikkate alarak tasarımlarında yeşil çatıları daha fazla ön plana çıkartmaları, kentlerin çevresel sürdürülebilirliğini geliştirmeye destek sunacaktır (Arabi ve Amir 2014).

Waldbaum (2008), yeşil bir çatı, bitkiler ve bitki örtüsünden çok daha fazlası olduğunu ifade etmektedir. Yeşil çatı kısmen veya tamamen bitki örtüsüyle kaplı bina çatısı, su yalıtım membranı, kök bariyeri, üzerine dikilmiş, drenaj ve sulama sistemleri gibi ek katmanları içeren bir yetiştirme ortamıdır. Yeşil çatılar; ekolojik çatılar, bitkilendirilmiş çatılar, bitki örtülü çatılar veya yaşayan çatılar olarak da adlandırılmaktadır. Yeşil çatılarda yaşayan bitki örtüsü, doğal olarak gelişmekte ve değişken faydalar sağlamaktadır. Ayrıca, daha geniş bir perspektifle projelendirilmiş yeşil çatılar, su yalıtım membranının uzun süre dayanmasına katkı sağlayarak bu alanlarda kentsel tarımı olanaklı hale getirirler. Hake (2007) ve Green Roof Manual (2009), yeşil çatılardaki bitki örtüsünün daima yeşil olması doğal yaşama destek olurken; yeşil kentler için yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu anlamda yeşil çatılar, kentsel çevreyi daha yaşanabilir, verimli ve sürdürülebilir hale getirmektedir. Ulusal ve uluslararası literatürde yeşil çatıları tanımlamak için kullanılan diğer yaygın terimler yaşayan çatı, bitkilendirilmiş çatı ve ekolojik çatıdır. Genel olarak yeşil çatının su geçirmez çatı membranının üzerinde yer alan katmanlar; kök koruyucu tabaka, su tutma tabakası, drenaj tabakası, filtre tabakası, yetiştirme ortamı ve bitkiler yer almaktadır (Erkul 2012). Yeşil çatı, ısıtma-soğutma dengesi ile binalarda termal konforu geliştirmek için bir seçenektir (Morau, Ranaivoarisoa, Andriamamonjy 2018).

Yeşil çatıların sundukları çeşitli yararlılıklar nedeniyle yerel veya kentsel ölçekte önemli çevresel faydalar sağlamaktadır. Yeşil çatılar, kent mikro iklimini dengelemesi, kent sıcaklığının ya da kent ısı adası etkisinin azaltılması, havadaki toz, duman ve kimyasal parçacıkların temizlenmesi, canlıların yaşamına destek olması açısından önemli rol oynamaktadır (Castleton, Stovin, Beck ve Davison 2010). Crassulaceae familyasına ait *Sedum* türü bitkileri tüm dünya genelinde geniş bir yayılım göstermektedir. *Sedum* türü bitkiler, sığ yetiştirme ortamına sahip, kurak

ve soğuk bölgelerde, suyun sınırlığı olduğu habitatlarda yaygındır (Balcı 2009). Türkiye, İran ve dünya genelinde en çok kullanılan yeşil çatı sistemi, %1 eğimli teras çatılara uygulanan, sıg yetişme ortamına sahip, kuraklığa ve çatıdaki değişken iklim şartlarına uyum sağlayabilen *Crassulaceae* familyasına ait *Sedum* türü bitkilerle bitkilendirilmeleri verimlidir. Yeşil çatılar yapılaşma ile kaybedilmiş toprak ya da bitkilerle kaplı alanların bina çatıları ile yeniden elde edilmesi bağlamında ekolojik yapı ile örtüşmektedir (Ekşi 2012). Gelişmiş ülkelerde bitkilendirilmiş çatılar tasarımı ve uygulamalardaki anlayış; doğal yapı-insan-çevre arasındaki ilişkileri dengeli ve sürdürülebilir bir döngü temellidir.

Yapım yönetimi literatüründe yeşil çatı sistemleri ile ilgili yayınlar; Houtan vd.(2015) İran'da yeşil çatı tasarımında kullanılan bitkiler üzerine çalışma gerçekleştirmiş, Mohsen vd.(2016) ise İran'da yeşil çatıların gelişimi ile ilgili insanların beklentileri, yeşil çatı ve enerji verimliliği, Karen (2002), çatı bahçeleri ve enerji verimliliğinin çevresel faydaları, Barreca (2016), çatı bahçe işleri gibi bu alanda çalışan bazı araştırmacılar örnek verilebilir.

Kentsel ölçekte enerji kaynaklarının yaklaşık %50'lik kısmının binalar tarafından kullanıldığı gerçeği ile enerji etkin-ekolojik binalar doğal yolla sağlanan konfor ortamı ile mekanik yüklerin minimize edilerek enerji tasarrufunun hedeflendiği platform oluşturur. Bina performansını etkileyen yapı bileşenleri arasında çatılarda yeşil çatı uygulamaları bu platformun bir bileşenidir (Ayçam ve Kınalı 2013). Yeşil çatılar yoğun nüfuslu kentlerdeki çatıların% 50-60'ına yerleştirildiğinde yaz mevsiminde ihtiyaç duyulan soğutma ihtiyacı için enerji kullanımı önemli ölçüde düşebileceği tahmin edilmektedir (Weiler and Barth 2009; Srivastava 2011).

Arabi ve diğ. (2015), tarafından yapılan “yeşil çatılar ile kentsel ısı ada azaltılması” adlı çalışmanın sonuç bölümünde özellikle kentsel alanların yeşillendirilmesi ve çatıların yeşil çatılara dönüştürülmesi; yüksek hava sıcaklıkları ve kent ısı adasının etkilerinin azaltılmasına yönelik ana strateji olarak kullanılması önerilmektedir. Aynı çalışmada kentsel ısı adası fenomeni ile mücadele için kilit tedbirlerden yeşil teknolojiler ve bitki örtüsü dâhil olmak üzere yeşil yaklaşımların önemine dikkat çekilmektedir. Kentsel alanlardaki geçirimsiz yüzeyli alanların yoğunluğu, kentsel alanlardaki bu alanların yeşil alana dönüştürülmesinde ortaya çıkan yüksek maliyet (kamulaştırma, yeşil alanların oluşturulması için uygun alan eksikliği vb.), kentsel alanlardaki yeşil alan ihtiyacında bina çatı alanlarını ön plana çıkartmaktadır. Yeşil çatılar kentlerde yaygınlaşması ile bir kentin en sıcak noktalarının sıcaklık değerleri düşürülebilmektedir. Yeşil çatıların diğer avantajları arasında hava kirliliğinin azaltılması, akan suyun yönetiminin iyileştirilmesi, halk sağlığının iyileştirilmesi ve kentsel çevrenin estetik değerinin artırılması yer almaktadır.

Getter ve diğ. (2006), kent iklimi ile kırsal alan arasındaki iklim farklılığını test etmek amacı ile Toronto ve Berlin'de 2005 yılında gerçekleştirilen bir ölçüm çalışması Toronto ve Berlin'de yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde Toronto kentsel alanlardaki yüzey ve hava sıcaklıklarının kırsal alanlara göre yaz mevsiminde 2-3°C daha fazla olduğu, Berlin'de yapılan ölçümlerde ise Berlin ve

onu çevreleyen kırsal alanlara göre yaz mevsiminde akşam saatlerinde 4-5 °C daha fazla hava sıcaklığına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yüksel (2005), tarafından “Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisinin yaz aylarında uzaktan algılama ve meteorolojik gözlemlere dayalı olarak saptanması ve değerlendirilmesi üzerinde bir araştırma” adlı doktora çalışmasında, yeşil çatıların kentsel alanlarda tahrip edilen bitki örtüsünün yerini alarak hava ve yüzey sıcaklığının artışı engelleyeceğini, bitkilendirilmiş çatılardaki bitki örtüsündeki bitkilerin evapotranspirasyon, gölgeleme ve bitki taşıyıcı katmanının ise ısı depolaması sayesinde, sıcaklık artışının engellenmesine katkıda bulunarak güneşten gelen ışınların yüzey sıcaklığını arttırması engelleyeceğini ifade etmektedir.

Liu (2004), yeşil çatıların farklı işlevlere ve alanlara sahip binalar için ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkisini analiz eden çalışmasında 72 m²'lik bir çatı alanı eşit iki alana bölümlendirilerek 36 m²'si ekstensif çatı sistemi ve diğer yarısı bitümlü su yalıtım malzemesi kullanılarak geleneksel çatı sistemine dönüştürülmüştür. İklimsel verimler her iki çatı yüzeyindeki ve bünyesindeki sıcaklık miktarları, dış ortamdan iç ortama ısı akış düzeyleri, yansıtıcılık özellikleri ve atık su uzaklaştırma miktarları iki yıl süresince ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre; bu çatı sistemlerinin altında yer alan iç ortamın iklimlendirilmesi için gerekli olan ortalama günlük enerji; referans çatıda; 6,0/7,5 kWh/gün, ekstensif çatıda ise bu ihtiyaç 1,5 kWh/gün olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla, %75 oranında bir enerji tasarrufu sağlandığı söylenebilir.

2.2. Yeşil Çatıların Kentsel Alanlarda Çevresel Etkileri

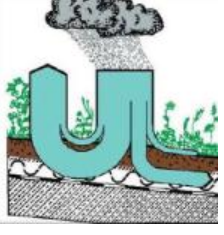
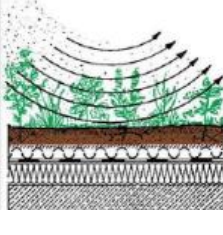
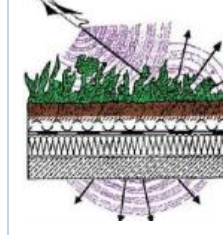
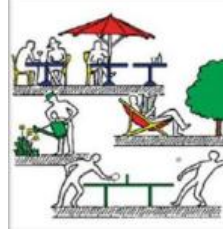

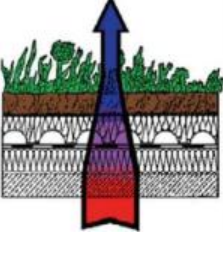
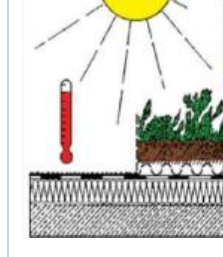

Yapılar, insanların yaşamsal gereksinimlerini karşılayan en önemli araçlardır. Bu önemnin yanında yapılar ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri bakımından önemli olgulardır. Yapılar, çevresel etkilerde dikkate alınarak projelendirildiğinde ve uygulandığında ekolojik yararlar sağlamaktadır. Dünya genelindeki enerji tüketiminin %40-50'lik kısmını yapı ve yapıyla ilişkili uygulamalardan, sera gazı salınımının %33'ü yapılardan kaynaklanmaktadır. Yenilenemeyen kaynakların tüketimi ve ısıtma/soğutma sistemlerinin kullanımı ile açığa çıkan sera gazı miktarlarının yüksek oluşu küresel ısınma, iklim değişikliği gibi sorunların artmasını sağlamaktadır (Berardi vd. 2014; Akt., Koca 2019).

Yeşil çatılar, kentsel alanlarda yeşil dokunun yetersizliğinin aşılması için mevcut binalardaki çatı alanlarının yeşil örtüler, ağaçlar ve diğer bitkilerle oluşturulması ile doğal yaşamın kentsel alanlara yeniden girmesi için basamak olan yeşil koridor görevini üstlenecektir. Bu bağlamda bitkilendirilmiş çatılar, kentsel biyoçeşitliliği teşvik ederken parçalanmış habitatları birbirine bağlayabilirler (Li and Yeung 2014). Dolayısıyla ortaya konan çözümlerdeki orta nokta; daha az yenilenemeyen kaynak kullanımını gerektirecek yeşil yapılar, yeşil alanlar ve bitkilendirilmiş çatıların kentsel alanda arttırılmasıdır. Farklı iklim koşullarına sahip birçok ülkede sürdürülebilir kent yaşamı ve yapıları için yeşil çatılar önerilmektedir. Yeşil çatıların olumlu çevresel etkileri; yağış hızının azaltılması (yağmur yönetimi), biyoçeşitlilik ve habitatın korunması ve

geliştirilmesi, kentsel ısı adası etkisini azaltılması, enerji tasarrufu, kentsel tarım, ses izolasyonu, hava kalitesinin artırılması, estetik ve yaşam kalitesi seviyesinin yükseltilmesi, iş üretimi ve ekonomik gelişme, bina ve çatı ömrünün uzatılması gibi çok işlevli etkiler olarak sıralanabilir (GSA 2011; Sögüt ve Şenol 2014). Kentsel alanların çoğunluğunun yüzeyleri asfalt ve güneş ışınımını absorbe eden ve geceleri yansıtan sert malzemeler ve geçişsiz geniş alanlarla kaplıdır. Bu alanlar, kent ekosistemine ve mikroiklimine olumsuz etkileri olabilmektedir. Bu olumsuz etkilerin en önemli olanı kent ısı adası etkisidir. Kent ısı adası; kentlerin yapısal yoğunluklarının artması sonucu gözlemlenen olumsuz bir mikroklimatik koşuldur (Canan 2017). Yeşil çatılar, kent ısı adası etkisini azaltmakta, binaların enerji akışını düzenlemede etkin bir rol üstlenir. Ayrıca yeşil çatılar, gürültü önleyici bir yalıtım (Dunnett ve Kingsbury 2004) ve yangına karşı yapı direncini artırır (Porsche ve Köhler 2003); yüzey su akışını geciktirerek kent altyapısının yükünü azaltarak farklı ölçeklerde birçok sosyo-çevresel avantaj sağlarlar (Hui 2006).

2.2.1. Fiziksel çevre üzerindeki dengeleyici etkileri

Dünya genelinde yenilenemeyen enerji kaynaklarındaki kısıtlılık gelişmiş ülkelerde yeşil çatı kavramını ve uygulamalarını ön plana çıkartmıştır. Yeşil çatılar konusunda Avrupa'da önemli bir yere sahip Almanya, yeşil çatı uygulamalarını mevzuat ve diğer düzenlemeler ile teşvik etmektedir. Yeşil çatılar kentlerin ekolojik sürdürülebilirliğinin sağlanmasında etkin bir şekilde kullanılacak sistemlerin başında gelmektedir. Sınırsız bir kaynak olarak görülen doğa, insan eli ile hızla tüketilmeye başlanmış, sanayileşme ve kentleşmenin etkisi ile çevresel sorunların günden güne ortaya çıkmasına neden olmuştur (Aras 2019). Kentler buldukları doğal ortamı değişikliğe uğratarak yeni çevresel koşullar meydana getirirler. Ortaya çıkan bu değişikliğin çevre üzerinde önemli etkileri ciddi boyutlara ulaşmıştır (Kabuloğlu 2005; Kınalı 2013). Ortaya çıkan bu etkiler ve sorunlar insanoğlu için çözüm arayışlarını zorunlu kılmıştır. Yeşil çatılar, çevresel olumsuz etkileri tolere edilmesinde ve yaşanabilir kentlerin tesisine ekolojik, teknik ve sosyal faydaları ile önemli katkılar sunmaktadır. Yeşil çatıların fiziksel çevre üzerindeki etkileri; ekolojik sürdürülebilirlik, habitat ve biyoçeşitliliğin korunması, kent ısı adalarının etkilerinin azaltılması, hava sıcaklığına etkisi, havadan savrulan partiküllerin filtre edilmesi, karbondioksit ve oksijenin değişiminin sağlanması, yağmur suyuna etkisi, elektromanyetik radyasyonu azaltıcı etkisi, sera gazları ile ağır metallere etkisi, gürültü etkisini azaltması ve hava kalitesini iyileştirmesi (Aras 2019), elektromanyetik radyasyonu azaltıcı etkisi, çatı yalıtımının ömrünü uzatması, estetik ve rekreasyon açısından önemli çözümler sağlayabilir (Kabuloğlu 2005; Kınalı 2013) (Şekil 2.1).

			
Atık su miktarı azalır	Daha az tozlu ortam yaratır	Ortam gürültüsü azalır	Yeni yaşam alanları oluşturur
			
Ortamin iklim karakteristiği değiştirir, kent ısı adası etkisini azaltır	Çatının ısı izolasyonu artar, enerji verimliliği artar.	Su yalıtımı ile bina ömrünün daha uzun olmasını sağlar	Doğal çevre oluşturur, habitata destek sunar, estetik ve konfor sağlar

Şekil 2.1. Yeşil çatılar kentsel ekosistemler üzerindeki etkileri (Özyavuz, Karakaya ve Ertin 2015)

Blackhurst ve diğ., (2010) göre, geleneksel çatı yüzeylerinin yeşil çatılara dönüştürülmesi, kentsel alana hem ekolojik hemde estetik yönünden değer katar, dolayısıyla çevre ve toplum için bir dizi potansiyel fayda sağlayacağını bildirmiştir (Akt., Özyavuz, Karakaya ve Ertin 2015). Bu potansiyel faydaları arasında en önemlilerinden biri yeşil çatılar geleneksel çatılara göre enerji dengesini sağlayarak, bina ve yakın çevresindeki sıcaklık artışına izin vermemektedir. Geleneksel çatı yüzeyleri güneş ışığını absorbe eder. Gündüz absorbe ettiği radyasyonu gece atmosfere tekrar vermektedir. Yeşil çatılarda enerji depolayan bitki yüzeyine sahip olduğu için ısıyı çatı yüzeyine geçirmez, solar radyasyonu fotosentez için absorbe etmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinin Chicago eyaletinde gerçekteştirilen bir çalışmada, yaz günlerinde yapılan ölçümlerde geleneksel çatı ile yeşil çatı arasındaki sıcaklığın yeşil çatılara göre 28°C daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Söğüt ve Damla 2014). Yeşil çatılar kentsel alanlar için yeşil bir alan sağlamının yanı sıra kent sınırlarında yaşayan insanları dış çevrenin olumsuz koşullarından koruyan, habitat oluşturması potansiyeline sahip olarak önem kazanmaktadır. Yeşil çatı sistemleri gelişen teknoloji ve yapı malzemeleri bilimi ile çatı yüzeylerini, enerji tüketen bir yapısal elemandan çok ekosisteme katkı sağlayan yapı bileşenine dönüşmüştür. Geleneksel çatılar, ısı emen, atıl ve kullanılmayan bileşenken, yeşil çatılara

dönüşümü ile bina dışı yaşam alanı sağlayan, yaşama destek sunan bir alana dönüşecektir. Yeşil çatı kavramı basit tanımının ötesinde ekolojik ve sosyal açıdan oldukça önemli avantajlar sunan sistemlerdir (Özyavuz, Karakaya ve Ertin 2015). Bu avantajlar:

- Yeşil çatı sistemleri yüzey sıcaklıklarının azalmasında, evapotranspirasyon ve gölgeleme etkileri ile katkı sağlaması,
- Yeşil çatı sistemleri ısı dalgalanmalarını 10°C ile 30°C derece dolaylarında tutarak çatı yüzeyinde sıcaklık stresi oluşturmaması, yapı elemanlarının işlevsel ömürlerini artırması,
- Kentsel alanlardaki çatılar, asfalt, beton duvar ve yüzeyler gündüz güneş ışınını absorbe ederek gece yansıtırlar. Bunun sonucu su miktarının düşmesi, kent ve kırsal alan arasındaki sıcaklık farklılaşması oluşması kent ısı adalarının oluşumunu, mikro iklimsel değişimler ve yeşil alan kaybının oluşması söz konusu olmaktadır. Yeşil çatılar önemli ölçüde bu sorunların çözümünde etkili olması,
- Yeşil çatılar, kentlerde önemli miktarda karbon emisyonunu azaltarak hava kalitesini iyileştirmesi,
- Yeşil çatılar hiçbir yanıcı malzeme içermediği, ısı ve alev geçirmediği için üst düzeyde yangın korunumu sağlaması (Dikmen ve Savcı 2015)
- Biyoçeşitliliğin korunması ve gelişimi için habitatlar oluşturması,
- Kentsel alanlarda bina, beton duvar ve kaldırım vb yapıların yoğunlaşarak doğal bitkinin yerine alması sıcaklık artışlarını beraberinde getirerek kentsel ısı adası etkisini oluşturur. Yeşil çatılardaki bitki örtüsü absorbe edilen kızılötesi güneş ışınlarının kentsel yüzey alanlarının sıcaklıklarını arttırmasının önüne geçebilmesi,
- Bitki taşıyıcı katmanlar ve toprak tabakası farklı iklim koşullarında çatı alanlarında ekstra yalıtım sağlayarak hava sıcaklığını etkilemesi, ısı ve enerji kayıplarını da belli bir oranda azaltması,
- Yeşil çatılar bitkilendirilmiş örtüsü filtrasyon ve havada bulunan her türlü toz, partikül ve parçacıkları emebilmesi özelliği ile ortamdaki partikül miktarını ve kirlilik seviyesini düşürmesi,
- Bitkilendirilmiş yeşil çatılarda bulunan bitkiler fotosentez yaparak havadaki CO₂'yi alıp O₂ salarak hava kirliliği ile problemleri azaltması
- Bitkilendirilmiş çatılardaki bitkiler hızlı hava akışını yavaşlatır. Trafik ve diğer gürültü kaynaklarından gelen sesleri absorbe ederek yaşam kalitesini arttırması.
- Bitkilendirilmiş yeşil çatılar yağın yağmur sonucu olan birikintiyi emer, aşamalı olarak buharlaştırarak havaya aktarırlar. Emilemeyen su miktarı ise drenaj sistemine aktarılır.
- Bitkiler yağın yağmur sonucu oluşan su birikintisini içe doğru çeker ve aşamalı olarak da buharlaştırarak sistemden havaya doğru aktarırlar. Geleneksel çatılara göre yeşil çatılar yağmur suyunu tutma kapasiteleri 24 saatlik bir dilimde %70 kapasitesine sahiptir.
- Yeşil çatılar yağmur suyunu emerek içlerinde bulunan zararlı gazların filtrelenmesini sağlaması,

- Yoğun yeşil çatılar organik gıda üretimi için potansiyel sunar ve bir sosyal buluşma yeri sağlar.
- Kentsel bir çevrede ek “yeşil” estetik ve konfor alanı sunmasıdır (Aras 2019).

Binalar ve ulaşım sistemlerini oluşturan yapısal çevre, atmosfere salınan tüm sera gazı salınımının üçte ikisini oluşturmaktadır (Yöntem 2016). Yeşil çatı uygulamaları sağlıklı ve çevresel etkenlere duyarlı malzeme ve bitki seçimleri ve bileşenleri ile optimize bir sistemdir. Bu sistemin potansiyel çevresel faydaları başta enerji tüketim yükünü dengeleyerek, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma ve sera gazı salınımlarının daha az gerçekleştirmesini sağlar. Yeşil çatı sistemleri tasarım ve uygulamalarında binaya katacağı görsel ve estetik değerlerin yanında, bulunduğu yerin mikroklima iklim faktörleri de gözönünde bulundurularak maksimum faydanın sağlanacağı yeşil çatı sistemi tercih edilmelidir.

Sögüt ve Şenol (2014), tarafından yeşil çatıların geleneksel (bitkilendirilmemiş) çatılara göre ısınma durumlarının incelendiği çalışmada, geleneksel bitkilendirilmemiş çatı yüzeylerine göre bitkilendirilmiş çatı yüzeyleri arasında önemli sıcaklık farklılıkları bulunmaktadır. Çizelge 2.1’de Abbas Abad Avenu Nahid yeşil çatı projesi ısı transferi periyodik ölçümleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Abbas Abad Avenu Nahid yeşil çatı projesi ısı transferi periyodik ölçümleri

Gündüz	Ortalama sıcaklık	18.4 °C
	Çatının yeşil alan sıcaklığı	17.1 °C
	Normal çatı boşluğu sıcaklığı	32 °C
Gece	Ortalama sıcaklık	0
	Yeşil alan sıcaklığı	4.7 °C
	Normal çatı boşluğu sıcaklığı	0.2 °C

Çizelge 2.1 incelendiğinde; çatı yüzeyine ulaşan sıcaklıklar arasında önemli farklılıklar olduğu, ortalama sıcaklık kış aylarında 0 ve yaz aylarında 18.4 iken, geleneksel bitkilendirilmemiş çatı membranının altındaki sıcaklık ortalaması kış aylarında 0.2 °C ve yaz aylarında 32°C olarak ölçümlenmiş, yeşil çatı tabakasının altındaki sıcaklık kış aylarında 4.7°C ve yaz aylarında 17.1 °C olarak ölçülmüştür. Ortaya çıkan bu farklılıkların nedeni, bitkilendirilmiş çatı yüzeyleri enerji dengesinin oluşmasında etkin rolünün olması ile bina ve yakın çevresinde sıcaklık artışlarını dengelemesidir. Yeşil çatılar binayı sadece ultraviyole (UV) ışınlarından korumakla kalmaz, aynı zamanda don ve güneş ışığından korur, izolasyona da katkı sağlar. Almanya’da yapılan bir çalışmada 1 m² çatı bahçesinin

2 lt yakıt tasarrufu sağladığı bildirilmiştir. Geleneksel çatılarda alanı soğutmada kullanılan ortalama günlük enerji gereksinimi 20500-25600 BTU (6-8 kWh) iken yeşil çatılı binalarda %75'den daha fazla azalarak ortalama enerji gereksinimi 5100 BTU (2 kWh)'nin altına düşmektedir. Dolayısıyla kent ölçeğinde bir yeşil çatı uygulaması ile enerji kullanımında her yıl metrekareye 4.15 kWh'ya varan düzeyde enerji tasarrufu sağlanabilecektir (Sögüt ve Şenol 2014).

2.2.2. Binaya etkileri

Yapılaşmanın yoğun olduğu kentlerde azalan veya kaybedilen yeşil alanların, mimari ölçekte artırılması mümkün olabilir. Yapılar kent ölçeğinde birer mini ekosistemdir; bina çevresindeki hava, su ve toprak ile birliktelik sergiler ve genel olarak bir bütünü oluştururlar. Kentsel alanları oluşturan asfalt ve betonla kaplanmış yüzeyler suyun toprağa gerektiği gibi süzülmesini engellerler. Kaplanan çatı yüzeyleri, beton duvar ve kaldırımlar, gün içerisinde güneş ışınlarını tutar ve depolar, gece olunca da yansıtırlar. Bu olumsuz sonuçlar; su kaynaklarının azalması, kentsel alanlar ve açık alanlar arasında önemli derecede sıcaklık farklılaşmasını, ısı adaları etkisini, iklim değişimini artırma yönündedir. Bina üzerinde tesis edilecek bitkilendirilmiş yeşil çatı sistemleri önemli ölçüde bu olumsuz sonuçları tersine çevirebilir (Karaosman 2005). Yeşil çatılar, çatı strüktürünü yüksek sıcaklık değişimlerinden korumaktadır. Yaz mevsiminde bina içerisinde serinceletici etki yaparken, kış mevsiminde bina içindeki ısının daha fazla korunmasını sağlamaktadır. 10 cm tabaka kalınlığına sahip bir yeşil çatı 1 cm kalınlığındaki ısı yalıtım etkisine sahiptir.

Yeşil çatı sistemlerin doğal bir ekosistemin yerini alması mümkün olmasa da ekosistemde yer almayan yapay bir yüzeyi bitkilendirilerek yeşil çatı sistemine dönüştürülmesi ile doğaya uyumlu hale getirilmesi yoğun yapılara sahip kent ekolojisi açısından büyük önem taşımaktadır (Ekşi 2012).

2.2.3. Sosyal - psikolojik – estetik etkileri

Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu 2014 yılı verilerine göre 7.2 milyara ulaşan dünya nüfusunun yarısı kentlerde yaşamaktadır (Dikmen ve Savcı 2015). Bu oran kentsel alanlarda insanları sosyal, psikolojik ve estetik yönden olumlu etkileyecek yeşil alanlara olan ihtiyacı belirtmesi açısından önemlidir. Kentleşme ve nüfus yoğunluğu gibi nedenlerle yeşil ve açık alanların giderek azaldığı kent alanlarında insanların yeşil alana olan ihtiyacı bitkilendirilmiş çatı ve çatı bahçeleri ile belirli bir oranda karşılanabilir. Yeşil çatı yapılarında insan-doğa etkileşimine imkân vermesi, sağlıklı, doğal ve kaliteli çevre sunması ile yaşamsal öneme sahiptirler. Binalardan kent düzeyine kadar olan yerleşim alanlarında yer alan yeşil çatı ve bahçeler kent ortamında sosyal iletişime olanak sağlayan alanlardır. Kent ölçeğinde yaygınlaşan yeşil çatılar görsel etki ve estetik, yeşil ve kaliteli yaşam alanları ve konforlu buluşma alanlarıdır. Yeşil çatılar, doğal çevrenin ve biyolojik çeşitliliğin korunması, estetik ve rekreasyon açısından önemli çözümler sağlayan dolayısıyla da insan yaşamına ve doğal yaşama destek ve katkı sağlayan yeniden kazanılan doğal yaşam alanlarıdır (Kabiloğlu 2005; Kınalı 2013).

2.3. Yeşil Çatılar

Yeşil çatı, binaların yaşayan çevreye uyum ve katkı sağlaması anlamında tesis edilen yapılar için kullanılan bir kavramdır. Yeşil çatı “çatı bahçeciliği” veya “bitkilendirilmiş çatı teknolojisi” olarak tanımlanabilir (Seçer Karıptaş 2010). Günümüzde yeşil çatılar, ekolojik ve estetik amaçlarla tasarlanmakta ve uygulanmaktadır. Yeşil çatılar, kentsel alanlarda doğal alanların oluşturulması ve kentsel alanda en uygun habitata sağlayan canlı organlar ve ekosistemlerdir (Roseen ve ark. 2007; Ansari ve Keshtkar 2006). Kentsel arazi yüzeyinin yapılaşma nedeniyle azalması, kent mikro iklimindeki değişimler, hava kirliliği ve çevresel etkilerin azaltılması için bir çözüm olarak oluşturulan farklı toprak derinliğine sahip, bitkilendirilmiş çatı alanlarıdır (Sayyad ve Maddahi 1997). Yeşil çatılar, “çatı bahçeciliği” veya “bitkilendirilmiş çatı teknolojisi”, “Yaşayan Çatılar” veya “Eko Çatılar” olarak da tanımlanabilir. Bitkilendirilmiş çatı terimleri yeşil çatı (green roof), eko çatı (ecorooft), yaşayan çatı (living roof) ve çatı bahçesi (roof garden), gibi çeşitli isimlerle anılıp çoğunlukla birbiri ile karıştırılan ve sıklıkla da birbirleri yerine kullanılan terimler olsa da bunlar kullanım amaçları estetik ve ekolojik olmak üzere, yapısal katmanları ve bitkilendirme türleri ayırım noktalarını oluşturmaktadır (Coffman 2007). Modern yeşil çatı teknolojileri, binaların yapısal sisteminde çok az değişiklik ya da hiçbir değişiklik yapılmadan kentteki mevcut çatıları bitkilendirilerek yaşayan bir yapıya dönüştürülmesine imkân sağlamaktadır.

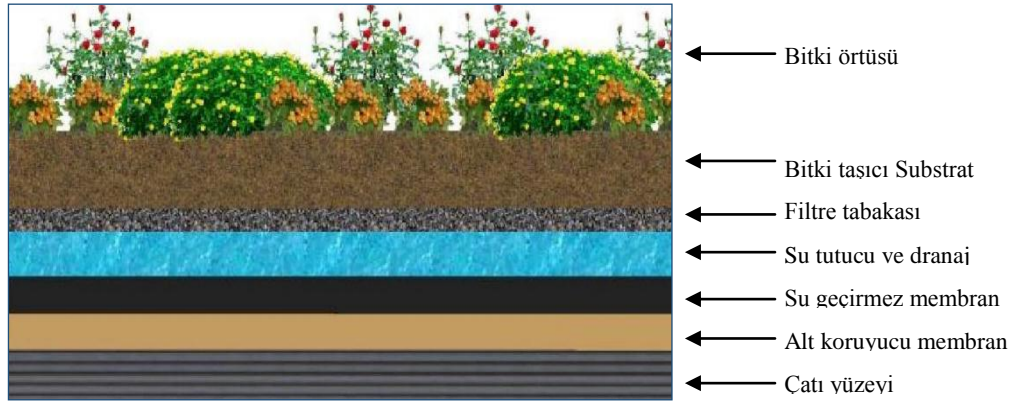
Yeşil çatılar, geniş bir sürdürülebilirlik ve ekolojik faydalar sunarken, aynı zamanda binaların estetik özelliklerini ve mimari tasarımları da geliştirmektedir (Jaffal 2012). Yeşil çatılar, diğer sürdürülebilir kentsel stratejiler gibi, dünyanın birçok ülkesinde başarılı bir şekilde uygulama imkânı bulmaktadır (Spala, Bagiorgas, Assimakopoulos, Kalavrouziotis, Matthopoulos ve Mihalakakou 2008). Yeşil çatıların farklı iklim koşullarında uygulanabilirliği ve etkinliği ile ilgili çalışmada, yeşil çatıların sıcak iklim koşullarında uygulanabilirliği ve etkinliğini göstermiştir (Canken 2008). Yeşil çatılar, yeni bir yaşam alanı olarak binaların çevreye uyum sağlamasını sağlayan sistemlerdir. Yeşil çatı tasarımlarında dikkat edilecek unsurlar; bitki türleri, çatı eğimi, çatı yükü gibi teknik özelliklerin yanında, bölgesel yağış miktarı ve rüzgar yönü gibi iklimsel koşulları göz önünde bulundurulmalıdır (Seçkin ve Seçkin 2016). Uygulanabilirliği açısından yeşil çatı sistemleri, binaların yapısal sistemini çok az değiştirerek ya da değiştirmeden, çok fazla sulama ve bakım gerektirmeden çatıları yaşayan bir bitki örtüsüyle kaplayan sistemler olarak ifade edilebilir. Dünyada ve Türkiye’de en çok kullanılan yeşil çatı sistemi %1 eğimli teras çatılara uygulanan, sığ yetiştirme ortamına sahip, kuraklığa ve çatıdaki değişken iklim şartlarına uyum sağlayan türlerle bitkilendirilmiş sistemlerdir. Yeşil çatılarda en çok tercih edilen bitkiler *Crassulaceae* familyasına ait *Sedum* bitkileridir (Ekşi 2012).

2.3.1. Yeşil çatı türleri

Yeşil çatılar, binanın enerji performansını, hava kalitesini ve kent ekolojisini iyileştirir, yağmur suyunun yarattığı problemlere çözümler üretirler (Karaosman 2005). Bu bağlamda yeşil çatılar, birçok kentsel çevre sorununu ele

almak için giderek daha önemli hale gelen çok yönlü sistemlerdir. Bu sorunlardan kentsel ısı ve yağmur suyu akışında azalmaya olan katkısıdır. Bununla birlikte, hem bina sahiplerine hem de kamusal alana çeşitli ek avantajlar sağlayan sistemlerdir. Binalarda ısıtma ve soğutma dengesi ile enerji kullanımını azaltması, büyük ölçüde çatı ömrünü uzatması, estetik açısından ve bina kullanım değerini arttırması, kentsel alana ve ekolojik yaşam alanı oluşturma ve koruma potansiyeli bulunmaktadır.

Yeşil çatılar, üzerine drenaj ve vejetatif tabakaların yerleştirildiği su yalıtım membranına sahip çatılardır. Yeşil bir çatı sisteminde genellikle alttan üste doğru katmanlardan oluşmaktadır. Standart bir yeşil çatı sisteminin tipik bir enine kesiti Şekil 2.2’de gösterilmektedir (Snodgrass ve McIntyre 2010).



Şekil 2.2. Yeşil çatının yapısal tipik kesiti (Snodgrass ve McIntyre 2010)

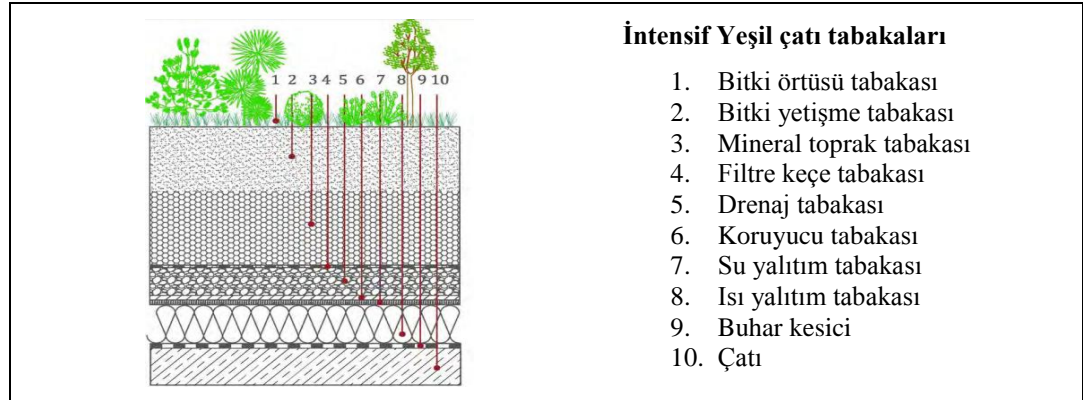
Yeşil çatı sistemindeki bu katmanlar; su yalıtımı ve çatı konstrüksiyonu (membran koruma ve çatı bariyeri), kök tutucu katman, mekanik etkileri karşı koruyucu katman, drenaj ve filtre katmanı, bitki taşıyıcı katman, bitki katmanlarından oluşmaktadır (Ouldboukhite, vd. 2011; Külekçi 2017). Yeşil çatılar normalin altında ağırlıklı çevrede yetişen mikroorganizmaları ve bitkileri barındıran biyolojik oluşumlardır (Dikmen ve Savcı 2015). Bitkilendirilmiş yeşil çatı sistemleriekili derinliğe ve ihtiyaç duyulan bitkilerin kapsamına bağlı olarak İntensif (Yoğun) ve Eksentif (Seyrek) iki kategoriye ayrılırlar (Liu 2004). İntensif ve eksentif yeşil çatı sistemin özelliklerinin karışımı ile oluşan semi-intensif (yarı-yoğun) ara yeşil çatı sistemidir (Lanham 2007).

İntensif yeşil çatılar, genellikle çalı ve ağaçlarla bitkilendirilmiş, yer yüzeyindeki bulunan peyzaj düzenlemelerine benzer görüntüsü ile estetik amaçlı tesis edilen ve insanlar tarafından ulaşılabilir alanlar olarak tasarlanan yeşil çatılardır (Snodgrass ve McIntyre 2010). Genellikle 15 cm’den daha derin bitki büyüme derinliğine sahip, yoğun bakım gerektiren yeşil çatılardır. Bu sistem $300-400\text{kg/m}^2$ arasında yük oluşturacağından, binanın statik sisteminin bu yüke dayanacak şekilde oluşturulması ve uygun bir sulama sisteminin yapılması gerekmektedir. Ekstensif yeşil çatılar bitki türlerinin bakım gerektirmeyen doğal yaşam döngüsünde kendi varlığını sürdürecekt bitkilerle bitkilendirilmiş, bitki taşıyıcı katman derinliği 2-15 cm arasında değişen sahip büyüme ortamı sunan yeşil çatılardır (Akpınar Külekçi 2017). Bu sınırlamalar çatı üzerinde

kullanılabilecek bitkilerin büyüklüğünü sınırlandırarak ve binaya oluşturacağı yükü yaklaşık 100 kg/m^2 'de olmasını sağlamaktadır (Molineux Fentiman, and Gange 2009). İntensif çatılara kıyasla, eksentif yeşil çatılar, düşük maliyetleri, hafiflikleri, sıg toprak tabakaları ve hafif bakımdan bağımsız olmaları nedeniyle daha yaygın olarak kullanılmaktadır. İntensif ve eksentif bir kombinasyonu olan semi-intensif olarak adlandırılan üçüncü tip yeşil çatı vardır (Shishegar 2012).

2.3.1.1. İntensif (yoğun) yeşil çatılar

İntensif yeşil çatılar; bitki yetiştirme tabakası 15 cm 'den daha derin toprak derinliğine sahip, çatı eğimi $\%2$ ile $\%10$ arasında değişen, drenaj tabakası 10 cm 'den daha derin, toprak derinliği nedeniyle bitkilere daha fazla kök derinliği sunan ve bitkilere yetiştirme ortamı sağlayan, erişilebilir alanlardır (Weiler ve Scholz-Barth 2009; Akt., Erkul 2012). İntensif yeşil çatılar, yüksek ısı ve yağmur suyu tutma özelliğine sahip, yüksek kesitli, yoğun bitkilendirilmiş bir yeşil çatı sistemleridir (Ting Au 2007; Akt., Erkul 2012) (Şekil 2.3). İntensif çatılar, yoğun bitkilendirme ile çeşitli bitkiler, ağaçsı ve ağaçların bile yetiştirilmesine imkân veren derin toprak tabakası söz konusu olacağından, sistemin çatıya verdiği yük $244,1 \text{ kg/m}^2$ ile $1464,7 \text{ kg/m}^2$ arasında değişim gösterebilecektir. Yoğun bitkilendirilmiş sistem, erişilebilir olması, bitkiler için bakım ve sulama gerektirmesi, çatıya gelecek mekanik etkiler de dikkate alınarak projelendirip uygulama yapılmalıdır (Clark 2008).



Şekil 2.3. İntensif yeşil çatı yapısal kesiti (Guide to Green Roofs 2011; Erkul 2012)

İntensif çatılar, derin toprak kalınlıkları ile daha fazla bitkilere kök derinliği sunmakla birlikte bitki türleri açısından büyük ve çeşitliliğe imkân tanıyan, toprak derinliği ve yetiştirme ortamı, sulama ve bakım gerektiren, maliyetli ve kapsamlı sistemlerdir. İntensif yeşil çatılarda bitkilendirme; çim, süs çalıları ve yarı olgun ağaçlara kadar bitki çeşitlerini, bünyesinde barındırabilir. İntensif çatılarda kullanılan bitki türleri *Cercis occidentalis* (Erguvan), *Hydrangea macrophylla* (Büyük yapraklı ortanca), *Hypericum perforatum* (Sarı Kantaron), *Abelia* 'Edward Goucher' (Çiçekli Güzellik Çalısı), *Azalea spp* (Açelya), *Viburnum tinus* (Defne Yapraklı Kartopu)'dur (Şekil 2.4). İntensif yeşil çatılar, çim ve yer örtüsünden çalı ve ağaçlara kadar her türlü bitki örtüsünün

gelişebileceği daha derin ekim ve yetiştirme ortamına sahiptir (Akpınar Külekçi 2017). Genellikle insanlar ve aktiviteler için erişilebilir yeşil çatılardır (Şekil 2.5).



Cercis occidentalis
(Erguvan)

Hydrangea macrophylla
(Büyük yapraklı ortanca)

Hypericum perforatum
(Sarı Kantaron)



Abelia 'Edward Goucher'
(Çiçekli Güzellik Çalısı)

Azalea spp(Açelya)

Viburnum tinus (Defne
Yapraklı Kartopu)

Şekil 2.4. İntensif yeşil çatılarda kullanılabilecek bitki türleri (Seçkin ve Seçkin 2015)

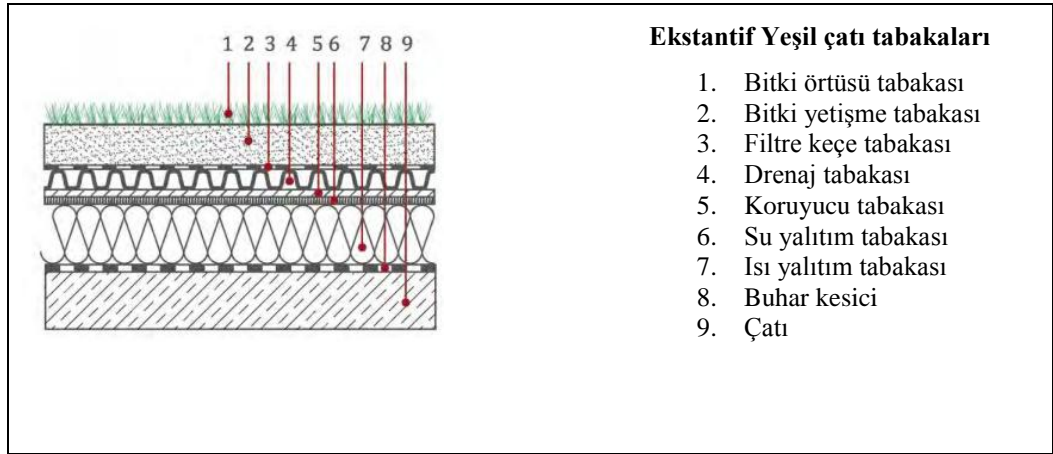


Şekil 2.5. İntensif bitkilendirilmiş yeşil çatı örneği (HDB Car Park Roof) (Akpınar Külekçi 2017)

Özellikle yeşil alanın sınırlı olduğu kentlerde mevcut bina çatılarına entegre edilirler. İntensif yeşil çatılar daha fazla sulama, gübre ve bakım gerektiren bahçelere kıyasla oldukça yapay ortamları temsil ederler. İntensif yeşil çatılar, tesis maliyeti, sulama ve bakımı yoğun olduğundan eksentif yeşil çatılardan daha maliyetlidir (Ngan 2004).

2.3.1.2. Eksentif (seyrek) yeşil çatılar

Çatı yüzeylerinde eksentif bitkilendirilmiş çatı yüzeyleri ile amaçlanan; su ihtiyacı az olan bitkilerle (*Sedum* türleri vb.) minimum bakım ve düşük ağırlıklara sahip katmanlar ile doğal bir yaşama ortamının oluşturulmasıdır. Ekstansif çatı sistemleri ince toprak derinliği (7-10 cm) sahip, bitki yetiştirme ortamı mineral tabanlı toprak karışımı, ezilmiş tuğla kırıntısı, organik madde ve topraktan oluşan, düşük ağırlıklarıyla ($72,6 \text{ kg/m}^2$ ile $169,4 \text{ kg/m}^2$) en bakım ve sulama gereksimi duyan bitkilendirilmiş çatı sistemidir (Weiler ve Scholz-Barth 2009). Ekstansif yeşil çatı sistemi, sulama gerektirmeyen ve çatı yüzeyinde kendi sürdürülebilirliğini sağlayan çatı yüzeyindeki doğal bir örtüdür (Alcazar 2004) (Şekil 2.6).



Şkil 2.6. Ekstansif (seyrek) yeşil çatının yapısal kesiti (Guide to green roofs 2011; Erkul 2012)



Sedum spurium 'Red Carpet' (Dam Koruğu Kırmızı Halı)



Allium schoenosprasum (Frenk Soğanı)



Aster spp. (Saraypatı)



Sedum acre (Kulak Otu)



Armeniria maritima (Çim Karanfili)



Carex spp. (Ayak Otu)

Şekil 2.7. Eksentif yeşil çatılarda kullanılabilecek bitki türleri (Seçkin ve Seçkin 53)

Çatıların bitkilendirme çalışmalarında *Sedum* (Dam Koruğu)'ların kullanımındaki etken ekstrem yetiştirme koşulları, az toprak derinliği, asgari besin maddesi içeriği gibi nedenlerle başarı sağlanmıştır. *Sedum* (Dam Koruğu)'lar otsu ya da çalı formu, yüzeysel köklü bitkilerdir. Fakir topraklarda, kurak ve bol güneşli alanlarda çok iyi gelişirler. *Sedum spurium* 'Red Carpet'(Dam Koruğu Kırmızı Halı), *Sedum acre* (Kulak Otu), *Allium schoenosprasum* (Frenk Soğanı), *Armeniria maritima* (Çim Karanfili), *Aster maritima* (Saraypatı), *Carex spp* (Ayak Otu), yosun, ot, çim bitkiler yetişebilmektedir (Şekil 2.7). Ekstansif yeşil çatılarda düzenli bakım gerektirmemesine rağmen, sonbahar ve ilkbahar başlarında yılda bir defa gübreleme gerekmektedir. Kuraklık koşulları olmadığı sürece sulama sistemine gereksinim duyulmamaktadır (Erkul 2012). Eksentif yeşil çatılar çevresel performans ve estetik amaçlı tesis edildiğinde maliyeti intensif çatıya göre daha az olmaktadır (Werthman 2007; Erkul 2012).

Eksentif yeşil çatılarda doğal drenaj özelliklerini sağlamak için çatı en az % 1,5-2 eğimli olmalıdır. Uygulamalarda 40 derece eğimli çatılar kullanılmış olsa da ekstansif yeşil çatılar uygulanması ancak 30 dereceye kadar olmaktadır(Velazquez 2005). Ekstansif yeşil çatıların diğer avantajı da güneşin

radasyonu azaltılması, sıcaklıkla ilgili genleşme ve daralmaya karşı uzatmasıdır (Alvarado ve diğ. 2007) (Şekil 2.8).



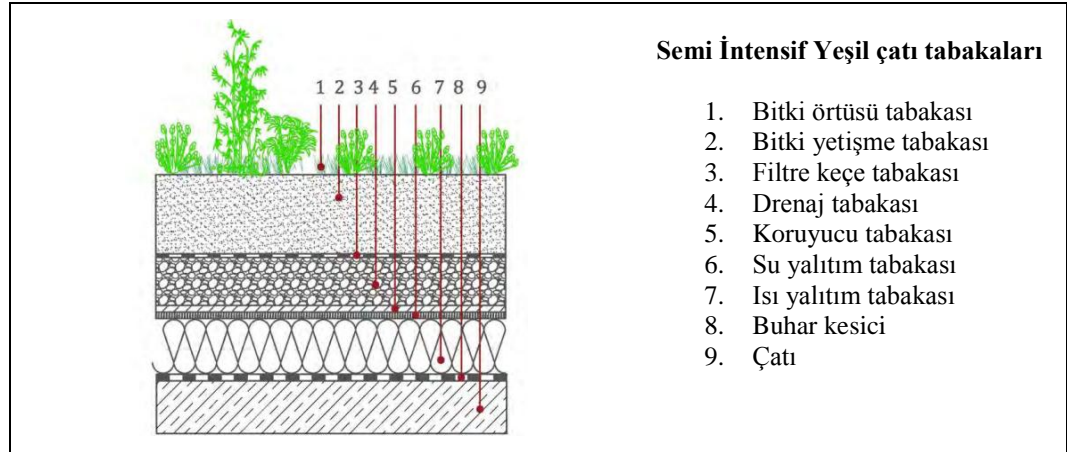
Şekil 2.8. Eksentif bitkilendirilmiş yeşil çatı örneği (London Roof Garden) (Akpınar Külekçi 2017)

Ekstensif çatı sistemleri rekreasyon amaçlı kullanımın yanında, estetik ve işlevsel söz konusu olması, bakım ve sulama az ya da hiç gerektirmemesi tercih nedenleri arasındadır (Akpınar Külekçi 2017). Uluslararası literatürde eksensif yeşil çatı sistemleri için önerilen bitki türü sayısı 354 adet olarak belirlenmiştir. Önerilen bitkiler cins ve tür düzeyinde incelendiğinde, *Compositae* (Asteraceae) familyası 28 adet cins ve 45 adet tür ile en fazla cins içeren familyadır. Bu familyayı 13 cins ve 31 tür ile *Caryophyllaceae* ve 13 cins ve 67 tür ile *Crassulaceae* familyası takip etmiştir. *Crassulaceae* (Damkoruğugiller) familyası içerisinde tespit edilen bitkilerin 49 tür ile *Sedum* cinsine aittir. *Lamiaceae* familyası ise 12 cins ve 24 tür ile dördüncü sırada yer almıştır. Tür düzeyinde ise *Liliaceae* familyası (zambakgiller) familyasındaki bitkiler çoğunlukla çok yıllık otsu, az olarak çalimsı veya ağaç görünümündedir. *Liliaceae* familyası 5 cins altında yer alan 30 tür ile yüksek bir tür çeşitliliğine sahiptir (Ekşi, Ulus ve Küçük 2016). Eksentif çatılar bitkiler 5-15 cm ince toprak kalınlığında bir toprak katmanı olduğundan, optimal fayda sağlanabilmesi; geniş bir uygulama alanına bağlıdır. Sınırlı alanda uygulan ve sınırlı yük kapasitesine sahip ekstensif yeşil çatılar, susuzluğa dayanıklı bitkilerin tercih edildiği bitki dokusu ile bakım gereksinimi minimum düzeydedir. *Sedum* bitkileri bu tür grupta olması nedeniyle tercih edilmektedir. İyi drene edilmiş, tam güneşli veya gölgeli alanlarda çok iyi gelişme gösterirler. Kuraklığa çok dayanıklı, besin maddesi yönünden fakir olan topraklar gelişme gösterirler. Ayrıca bitkilendirmede; yosunlar, sulu meyveler, otsu bitkiler ve çimenlerdir. *Sedum carpet* (Dam Kuruğu Kırmızı Halı) uygulamada en iyi sonuçları vermektedir. Bu bitkiler soğuk ve ısı, kuraklık ve rüzgâr gibi koşullara dayanabilmeleri, uzun süre boyunca kendilerini yenileme ve muhafaza etme yeteneklerinden ötürü tercih edilir. Bitki tercihleri genellikle yerli türler tercih edilir. Böylelikle, kullanılan bitki türleri uygulamanın yapıldığı yerin iklim koşullarına uygun olacaktır. Ekstensif yeşil çatılar, uygulama ve sürdürülebilirliği

bakımından uygun maliyetli bitkilendirilmiş kent ekolojisine katkı sağlayan çatı sistemidir (Ngan 2004).

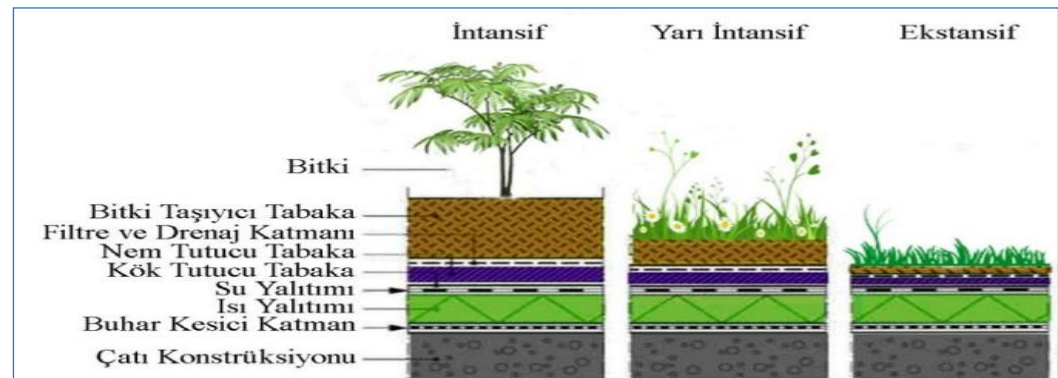
2.3.1.3. Semi insentif (yarı-yoğun) yeşil çatı sistemleri

Semi insentif (yarı-yoğun) yeşil çatılar; ekstensif ve intensif yeşil çatıların özelliklerini birleştiren, zengin bitki çeşitliliğine sahip olup, erişilebilir olan ara bir sistemdir (Lanham 2007). Semi intensif yeşil çatılar toprak derinliği intensif çatı sistemine göre daha az olup, ekstensif yeşil çatı sistemine göre ise daha fazladır (Erkul 2012). Semi intensif yeşil çatılar ekstensif çatılara göre bitki yetişme tabakası derinliği 15-25 cm, drenaj tabakası derinliği 3-5cm ve çatı eğimi %2-%10 arasında değişmektedir (Wheeler ve diğer. 2010). Bu çatı sistemleri ekstansif yeşil çatıya göre daha fazla bitki çeşitliliğe sahip bulunmaktadır. Ancak toprak derinliği ağaç veya büyük çalılarının yetişmesi için yeterli değildir (Erkul 2012). Semi intensif çatılar, bitki çeşitliliğinden dolayı gübreleme, kurak dönemlerde sulama, budama ve bakım gerektirdiğinden maliyetli sistemlerdir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Semi intensif yeşil çatının yapısal kesiti

Ekstansif, intensif ve yarı-intensif yeşil çatı türleri belirlenen kriterler doğrultusunda karşılaştırıldığında her birinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Karşılaştırmaların ayrıntıları Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Yeşil çatı sistemlerin karşılaştırılması (Kobyay 2017)

İntensif ve eksentif yeşil çatı iki kategori ve iki çatı sisteminin karışımı ve karakteristik özelliklerini taşıyan semi intensif olarak yeşil çatılar; kullanım amaçları, yapısal gereksinimleri, bitki türleri ve yetiştirme ortamı toprak derinliği bakımından farklılık göstermektedir. Farklı yeşil çatı tipleri karşılaştırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Farklı tipteki yeşil çatıların karşılaştırılması (Green Roof Manual 2011)

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

Çizelge 2.2'in Devamı

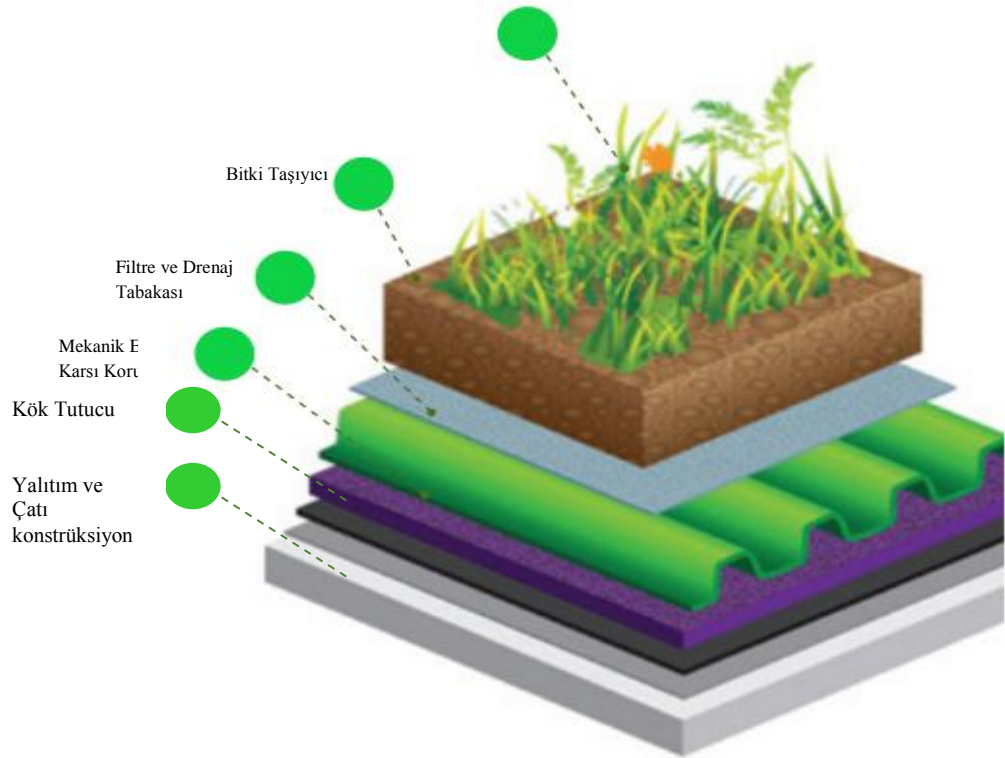
Karakteristik	Ekstensif (Seyrek) Çatılar	İntensif (Yoğun) Yeşil Çatılar	Yarı İntensif (Yoğun) Yeşil Çatı
Bitki toplulukları	Stres toleransı nitelikleri için seçilmiş bitki ve yosunların düşük büyüyen toplulukları (örn., <i>Sedum spp.</i> , <i>Sempervivum spp.</i>)	Yüzey derinliği, iklim, bina yüksekliği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

Kaynak: Oberndorfer, Lundholm, Bass and et. all. 2007; Erkul 2012; Green Roof Manual 2011; Raheb 2014

Bitkilendirme durumuna göre intensif yeşil çatılar daha çok bitki çeşidi, kullanım çeşitliliği ve iyi yalıtım avantajları sunarken, bina üzerindeki ağırlığı, karmaşık yapısı, sulama ve drenaj ihtiyaçları ve maliyetli olması dezavantajdır. Ekstensif bitkilendirilmiş yeşil çatılar intensif çatılara göre hafif olduğundan yapı güçlendirilmesine ihtiyaç duymaması, 30°'ye kadar eğimli çatılarda uygulanabilirliği, düşük bakım, sulama ve drenaj ihtiyacı olmaması, yenileme projeleri için uygun ve maliyeti açısından avantajlı iken, bitki çeşitliliğinin az olması ve erişilebilir olmaması dezavantajları arasında sayılabilir.

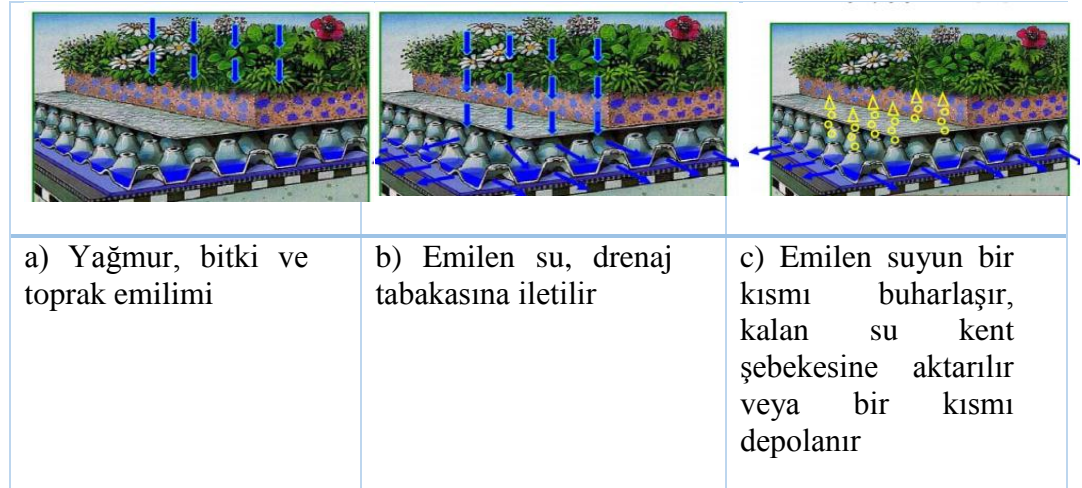
2.4. Yeşil Çatı Bileşenleri

Yeşil çatı sistemleri çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. En altta çatı konstrüksiyonu, su yalıtımı, kök tutucu tabaka, nem tutucu tabaka, filtre ve drenaj tabakası, bitki taşıyıcı tabaka ve bitki örtüsünden oluşmaktadır (Ngan 2004; Ekşi 2006, Ayçam ve Kınalı 2013, Tohum 2011) (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Yeşil çatının bileşenleri: **Bitki örtüsü:** Bitkilendirilmiş yeşil çatılarda *Sedum* bitkileri kullanır. Bunlar su depolama özelliğine sahip yaprakları ile kuraklık, ısı ve soğuğa dayanıklı çiçekli bitkilerdir. Ayrıca popüler olan *Echevaria* olarak bilinen bir başka çeşiddir. **Bitki Taşıyıcı:** Orta Genellikle 4" ila 6" arasında şeyl veya kil malzemeler veya bazı durumlarda, tınlı. **Filtre ve Drenaj:** Suyu bitkilerden uzak tutmak için katman. **Mekanik Etkilere Karşı Koruyucu Tabaka:** Bitkilerden çatı hasarını önlemek için katman. **Yalıtım ve Çatı Konstrüksiyonu:** Yeşil çatılar için su yalıtımı ve yeterli taşıyıcılık özelliğine sahip çatı konstrüksiyonunun bulunması

Yeşil çatı sistemlerinde kullanılan lava, bims esaslı ürünler, geri dönüşümlü, dayanıklı ürünlerden seçilmelidir. Bu ürünler bitkinin besin gereksinimlerini sağlayarak ve canlı kalmasını sağlamaktadır (Erkul ve Sönmez 2014). Yeşil çatılarda en iyi korumayı sağlayan delikli drenaj levhasıdır. Levhadaki kabarcıkları içerisinde bir miktar suyu depolar; fazla suyu süzgeçlere yönlendirir. 3 mm çaplı delikleri sayesinde bitki köklerinin hava almasını ve su buharı difüzyonunu sağlar. Ayrıca çatıya ilave ısı yalıtımı yapar. Su geçirmez membranın kök penetrasyonuna karşı dirençli olmaması durumunda kök bariyeri gereklidir. Koruma tabakası mekanik hasarı önlemek için zorunludur. Filtre ve drenaj tabakası bitki dokusu ve bitki taşıyıcı tabakasından gelen yağmur sularını depolar ve aynı zamanda bitkilerin çürümesini önlemek için yağmur suyunu drene edip akışını sağlar. 20-40 cm arasında yoğun bitkilendirilmiş çatı 10-15 cm yüksekliğinde su tutma kapasitesine sahiptir (Ngan 2004). Yeşil çatı sistem işleyişi Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Yeşil çatı sisteminin işleyiş şeması (Kınalı 2013)

2.4.1. Bitki katmanı

Yeşil çatılardaki bitki katmanını oluşturan bitkiler; bölgesel, ekolojik ve iklim koşullarına uyumlu, sınırlı toprak ve en az besin maddeleriyle yetinebilecek bitki türleri tercih edilerek oluşturulmalıdır (Kınalı 2013). Yeşil çatılar için uygun olan bitki türleri; karakteristik özellikleri, özellikle sulamanın bulunup bulunmadığına bağlı olarak yerel iklim, tip ve derinlik (nem depolayabilme) ve bakım gereksinimlerine bağlıdır. Bitkilendirilecek zemin ve iklim koşullarına en iyi tepki vereceği düşünülen olası bitkilerin türleri doğrulamak için bitki türlerinin seçiminde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmelidir (Hoffman and McDonough 2004).

Sedum bitki türleri kayalık alanlarda zor koşullarda yetiştiğinden özellikle ekstensif çatılarda en uygun türdür. Yeşil çatılarda kullanılan bitki türleri; yosunlar, tek yıllık otsular, çok yıllık otsular, çimler, soğanlı yumru lu verizomlu bitkiler, sukkulentler ve kısa boylu odunsulardır (Kınalı 2013). *Sedum* türlerinin yapısal özellikleri kuraklığa dayanımı ulusal ve uluslararası literatürde gerçekleştirilen akademik çalışmalar kanıtlanmıştır. Lasalle (1998) *Sedum album* (Çobankavurgası)'un yağış ya da sulama olmadan 100 gün hayatta kalabildiğini belirtirken, Kirschstein (1997) *Sedum album* (Çobankavurgası), *Sedum acre* (Kulak Otu), *Sedum kamtschaticum ellacombianum* (Dam Koruğu), *Sedum pulchellum* "Michaux" (Kırmızı Damkoruğu), *Sedum reflexum* (Sarı Damkoruğu) ve *Sedum spurium* gibi *Sedum* türleri 88 gün suya gereksinim duymadan hayatta kalabildiklerini tespit etmiştir (Getter ve Rowe 2008). Teeri ve ark. (1986), ABD Chicago Üniversitesi'nde yaptıkları araştırmada, *Sedum rubrotinctum*'un 2 yıl boyunca su verilmeksizin yapraklarındaki turgor basıncında azalma olmadan yaşayabildiğini tespit etmiş ve Wolf ve Lundholm (2008) Kanada iklim şartlarında yaptıkları araştırmada bu bulguyu doğrulamıştır (Akt., Ekşi ve Uzun 2016).

Yeşil çatı sistemleri bitkilerin gelişimine uygun yetiştirme ortamının varlığı bitki, çalı ve ağaçların dikim derinlikleri ve çapları ile ilgilidir. Özellikle dikim

derinliği ve alanı bitkilerin ve ağaçların büyüklüğüne ve türüne göre farklılık gösterir (Koç ve Güneş 1998).

2.4.2. Bitki taşıyıcı katman

Yetiştirme ortamı bitkilerin büyüyüp gelişebileceği alanlardır. Bu alan ağırlığı metreküp başına yaklaşık 900 kilogram olmalıdır. Bitki taşıyıcı katmanı; 1/3 kum kiremit kırınımsı esaslı mineral karışımlar, 1/3 gözenekli agrega, 1/3 yapay humus ve organik karışımlı bitki toprağı ile hazırlanması bitkiler için uygun ortam oluşturur. Kullanılan katmanın geri dönüşüm ürünü olan, dona dayanıklı, yanmayan özel ürünlerle oluşması sürdürülebilirliği açısından önemlidir (Parast, Saremi and Shokohi 204). Yeşil çatılarının ekolojik bakış açısı, bu konudaki ürün seçimine de esas kriteri oluşturmaktadır. Ekolojik bakış açısı ile hazırlanan bitki taşıyıcı katmanı bitkilerin uzun yıllar kendilerini yenileyerek canlı ve güzel kalması açısından olumlu sonuçlar vermektedir (Akpınar Külekçi 2017).

2.4.3. Filtre ve drenaj katmanı

Üst katmanlardan gelen ve bir filtre katmanı tarafından süzölen yağmur suları, bir yandan yağmursuz günler için depolanmalıdır, ancak su birikintisi fazla, bitkilerin çürümesini önlemek amacıyla, drene edilerek atılabilmelidir (Akpınar Külekçi 2017). Drenaj katmanı bitki yetiştirme tabakasında aşırı su birikmesini önler ve bitki kökleri için havalandırma ortamı sağlar. Bu tabakanın derinliği yeşil çatı tipine göre değişir (Seçkin ve Seçkin 2016). Filtre katmanı ekstensif yeşil çatılarda tek kat, intensif yeşil çatılarda çift kat uygulanır. Drenaj katmanı, yıkanmış çakıl veya ince agrega ya da drenaj levhasından oluşturulmalıdır.

2.4.4. Mekanik etkilere karşı koruyucu katman

Koruyucu katmanlar, yönetmeliklerin gerektirdiği basınç mukavemetine ve bu konuda yetkili kuruluşlarca verilen kalite belgelerine uygun olarak diğer katmanları mekanik etkilere karşı korurlar (Akpınar Külekçi 2017).

2.4.5. Kök tutucu katman

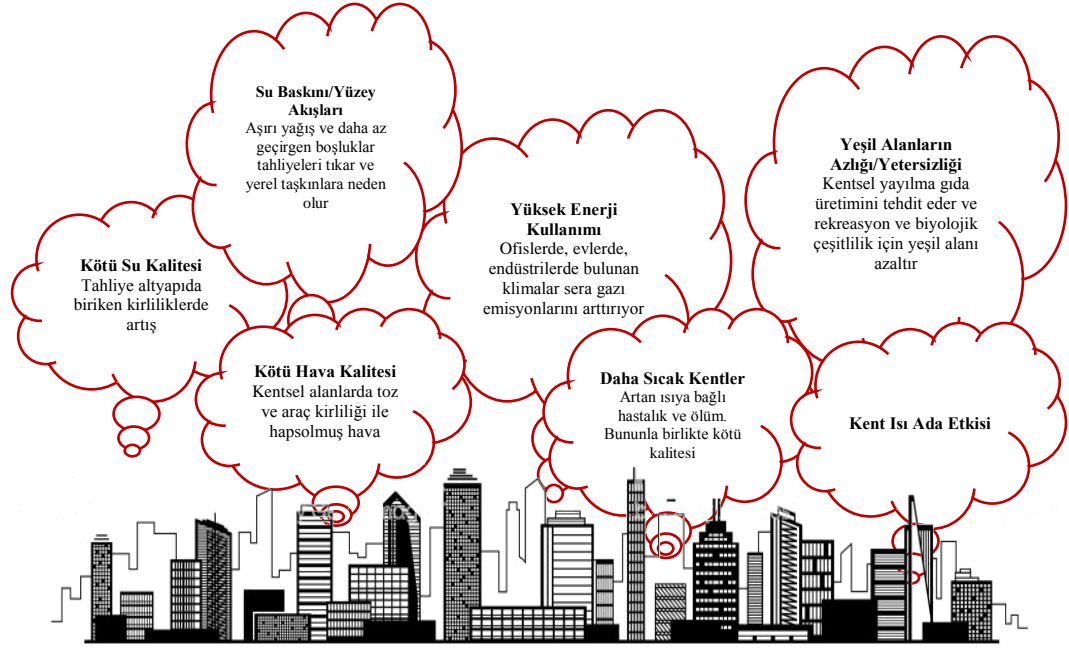
Bitki köklerinin su yalıtım katmanlarına zarar vermesi mutlaka önlenmelidir. Bu amaçla ya özel kök tutucu katmanlar ya da kendini köklere karşı koruyan su yalıtımları kullanılmalıdır (Akpınar Külekçi 2017). Kök tutucu katmanı, depolanan suyu yeniden kullanımına olanak sağlar.

2.4.6. Su yalıtımı ve çatı konstrüksiyonu

Çatı bitkilendirilmesinin en önemli ön şartı, iyi bir su yalıtımının ve yeterli taşıyıcılığı olan sağlam bir çatı konstrüksiyonunun varlığıdır (Akpınar Külekçi 2017).

2.5. Kentsel Alanlarda Baskı Unsurları

Kentsel alanlar kırsal alanlara göre sıcaklık farklılıkları, yoğun fosil yakıt tüketimi, hava ve çevre kirliliği, toprak yapısındaki bozulmalar, geçirimsiz yüzeylerin fazlalığı, kent ısı ada etkisiyle farklılıklar gösterir. Genel olarak kentlerdeki baskı unsurları Şekil 2.13’de gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Kentlerdeki baskı unsurları (Francis, Hall, Murphy vd. 2014)

Yeşil çatı sistemleri; yoğun yapılaşma sonucu kentlerde yeşil ve açık alanların yetersizliğini belirli bir oranda karşılar. Bu bakımdan bu sistemlerin kent geneline yayılımı kentiçi ve çevresinin sağlıklı, konforlu ve kaliteli çevrelerin geliştirilmesinde yaşamsal öneme sahip olduğu söylenebilir. Günümüz kentlerindeki baskı unsurları, bu sistemi teşvik edici anlayış ve politikalar, planlanmış yeşil çatılar ve çatı bahçeleri ile kabul edilebilir bir seviyeye düşürülebilir (Sögüt ve Şenol 2014).

Günümüzde kentsel alanlar, kırsal alanlara göre sıcaklık 0.5-9 °C, yağış %5- 20, sis oluşumu %30-100 ve bulutluluk %5-10 artarken, oransal nem %2-30, radyasyon %15-20 ve güneşlenme süresi %5-15 azalmaktadır. Ayrıca hava kirliliği de 10 (toz ve partiküller) ile 5-25 kat (gaz halindeki partiküller) daha fazla olabilmektedir. Bu farklılıkların sınırları kentlerin fizyonomisi ile vejetasyon büyüklüğüne bağlı olarak değişim göstermektedir (Sögüt ve Şenol 2014).

2.6. Kentsel Mekânlarda Yeşil Çatılar

Yeşil Çatı kavramı “1800’lü yıllarda İskandinavya’daki yapılarda ısı yalıtımı yapılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. İlk modern yeşil çatı tasarımları 1970’li yıllarda imar yönetmeliklerinde lider olan Almanya’da gerçekleştirilmesinin ardından, dünya genelinde yaygın bir şekilde yer almaktadır” (Ekşi ve Uzun 2012; Açam ve Kınalı 2013). Genel olarak çatı

kavramı, barınağın temel unsuru olarak, doğa etkenlerinden korumayı sağlamasının yanında, mekânın tanımlanmasında da önemlidir. Bitkilendirilmiş yeşil çatı, genel olarak çatıda yapılan yeşil uygulamaların tamamını kapsayan bir kavramdır (Tohum 2011). Yeşil çatı, “sığ derinliğe sahip bir yetiştirme ortamı üzerinde (20-100 mm), değişken çevre koşullarına uyum sağlayabilen otsu bitki türleriyle bitkilendirilen, bakım ihtiyaçları düşük olan, üzerinde bulunduğu binaya ve şehre sağladığı katkılar nedeniyle tesis edilen ekstensif (az yoğun) çatı bahçeleri için kullanılan bir terimdir” (Ekşi ve Aslan 2016).

Günümüzde kaliteli bir kent yaşamı kenti oluşturan elemanlar ile yeşil alanlar arasındaki dengeli dağılımıyla oluşmaktadır. Kent içindeki yeşil alanların farklı kullanımları, işlevleri, büyüklükleri ve hizmet alanları çağdaş kentsel yaşam kalitesi içerisinde belirleyici etkisini ortaya koymaktadır. Bugün çağdaş ve kaliteli kent yaşamının önündeki engellerde neden ve sonuçları değerlendirildiğinde; hızla artış gösteren kent nüfusu ve buna bağlı konut ihtiyacının karşılanmaması, hava kirliliği, kent merkezi ve yakın çevrelerindeki yeşil alanların yapılaşma için kullanılması olarsıralanabilir. Bu ve bunun gibi sorunlara alternatif oluşturabilecek yeşil alan ihtiyacının karşılanması, kent yerleşimindeki binaların atıl durumundaki alanların çok amaçlı kullanımı yaklaşımıyla çatıların önemli bir potansiyele sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Çatıların ortaya çıkan fonksiyonelliği sonucu yeşil alan yeşil çatı ve çatı bahçeleri olarak tasarımılandırılmasını ve kullanılmasını sağlamıştır. İnsanoğlu tarihsel süreçte yüzyıllardır bu alanları ekolojik ve estetik açıdan çatı ve teras bahçeleri olarak kullanmaktadır (Aksoy ve İçmek 2010).

Çatılar ekspoz ve ekstrem koşullara sahip alanlardır (Koç ve Güneş 1998). Bu alanlardaki bitkisel düzenlemeler, yetiştirilen büyük ağaççık ve ağaçlar yer seviyelerine göre farklılık göstermekte, sınırlı ortamda iyi gelişme fırsatına bulamayan kökler daha fazla suya gereksinim duymaktadır. Çatı bahçelerinde yetiştirilen büyük çalı, ağaççık ve ağaçlar derin toprak profillerine gereksinimi yoğun bakım, bakım maliyetleri gerektirmesi ve yapıya uyguladığı yük, bunun aksine yeşil çatılar ince toprak profilleri ve minimum bakım gereksinimleri ile hafiftir. Yeşil çatılar performans ve görsel iyileştirme için kurulduğundan maliyeti çatı bahçelerine oranla daha ekonomiktir (Werthman 2007; Erkul 2012).

Modern yeşil çatıların öncülleri olan çatı bahçeleri tarihsel olarak çok eski dönemlere veköklere sahiptir. Tarihsel süreçteki belgelenmiş çatı bahçeleri, eski dünyanın yedi harikasından biri olarak kabul edilen, şimdiki Suriye’deki Semiramis’in asma bahçeleriydi (Gaffin, Khanbilvardi, and Rosenzweig 2009). Modern anlamda yeşil çatı, 20. yüzyılın başında Almanya’da güneş ışınlarının çatı yapısına zarar veren fiziksel etkilerini hafifletmesi için çatılarda bitkilendirilmesiyle yaygınlaştı. Günümüz ayrıntılı çatı bahçesi projeleri, yüksek profilli uluslararası oteller, iş merkezleri ve özel evler için tasarlanmıştır. Derin substratları ve “yoğun” yeşil çatılar gibi bitki çeşitleriyle bilinen bu yeşil çatılar, zemin seviyesindeki bahçelerin görünümüne sahiptir. Yoğun nüfusa sahip kentler de kentsel alanlarda uygulanması ile yaşam ve rekreasyon alanı olarak kullanılabilirler. Eksentif ve intensif iki ana kategoriye ayrılan yeşil çatılar; yeniden tesis maliyeti olarak birbirlerinden farklılık gösterir. Intensif yeşil çatılar

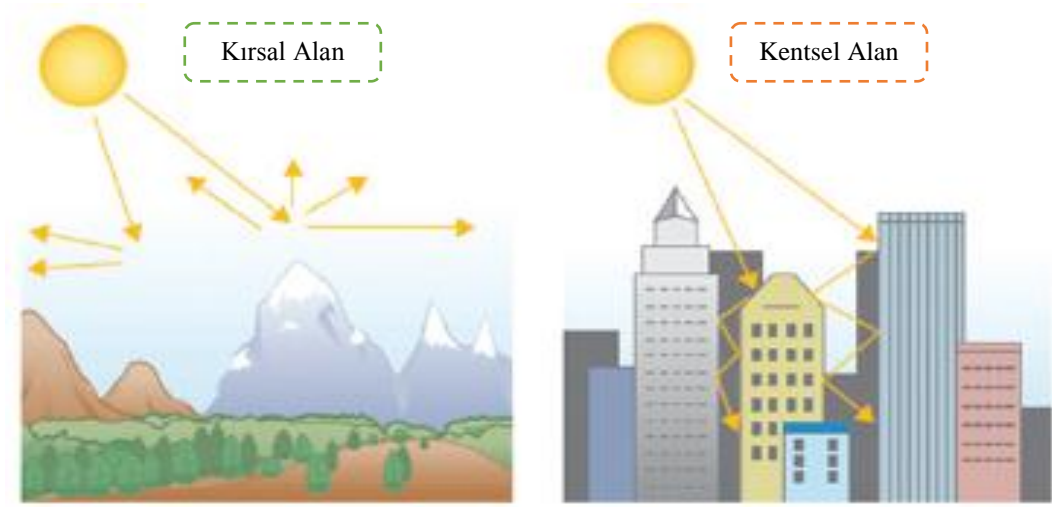
altyapısı sağlam ve bitki çeşitliliği bakımından zengin olması bununla birlikte bakım, gübreleme ve sulama gerektirdiğinden eksentif çatıya göre daha maliyetlidir. İntensif çatılar erişilebilir yaşam alanı olarak alanın aktif kullanımını vurgulamaktadır. Eksentif yeşil çatılar intensif çatılara göre sığ toprak ve bitki türleri açısından sınırlıdır. İntensif yeşil çatılar eksentif yeşil çatılardan daha yüksek estetik beklentiler taşımaktadırlar. Ekstensif yeşil çatılar, çatı bahçesi konseptinin modern bir modifikasyonudur. Genellikle daha az bakım gerektirirler ve intensif yeşil çatılara veya çatı bahçelerine daha az sulama ve bakım gerektirdiğinden performansları yüksektir (Oberndorfer, Lundholm, Bass and et. all. 2007).

2.6.1. Yeşil çatı sistemlerinin fiziksel çevredeki dengeleyici özellikleri

Kentler, insan düşüncesi ve eli ile üretilmiş kendine özgü ekolojik ve atmosferik koşulları içlerinde barındırırlar. Uluslararası çevre antlaşmalarının içeriği ozon tabakasının korunması, okyanusların korunması, hava kirliliği ve iklim değişikliği gibi sorunları içermektedir. 21. Yüzyılda gelinen nokta ise çevre sorunları çeşitlenerek artmakta doğal yaşamı ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Kentleşme, kentlerdeki nüfus artışı, endüstriyel ve insan faaliyetleri kentlerdeki ısı artışını beraberinde getirmektedir. Kentleşme, hava kirliliği, doğal dokunun bozulması, küresel ısınma açısından önemli bir etken durumuna gelmiştir. Yaşamın temel kaynağı olan hava, insan ve canlılar için vazgeçilmezdir. Bu nedenle hava kirliliği kitlesel sonuçlara neden olmaktadır (Baykal ve Baykal 2008). Kentleşme ve kentleşmenin beraberinde getirdiği olumsuz etkiler yaşamı tehdit eder boyuttadır. Bu olumsuz etkilere karşı alınabilecek önlemlerden biri yeşil çatı sistemleri olarak değerlendirilmektedir (Ekşi ve Uzun 2016).

Kentlerin geneli doğal arazilerin yerini alan sert, su geçirmez koyu yüzeyler kaplıdır. Sert yüzeyler, yoğun kent yayılımında doğal yaşam alanlarını olumsuz etkilemektedir. Kent yeşil altyapısını iyileştirmeye yönelik çözüm sunan yeşil çatılar, kent yeşil altyapısının olumsuz etkilerini azaltmaya yardımcı olabilecek, altyapısında büyük değişiklikler yapmadan, doğal çevreye yaşama, kentsel çevrelere yardımcı olabilecek bir teknolojidir. Kentlerin hızlı gelişimi ve yayılımı, yeşil alanların kullanımındaki değişimler kente özgü yüzeylerin oluşumuna neden olmaktadır. Bina çatıları kentlerde güneş ışınına maruz alan açık yüzeylerdir. Bu alanlarda çatıların bitki örtüsü ile uyumlandırılması, ısınma ve soğuma dengesini sağlamak ve kent ısı adası etkisini azaltılmasında önemlidir. Kentsel bir ısı adası, şehirlerde kırsal çevre ile karşılaştırıldığında hava sıcaklığının artmasına neden olan bir iklim olgusudur (Sobstyl, Emiq, Qomi vd. 2018). Kent ısı adası etkisinin yoğunluğu kentsel geometriden ve bitki örtüsü miktarından etkilenir (Chapman 2018). Kırsal ve kentsel alanlar arasındaki farklı iklim oluşumlarında kentsel yüzey özelliklerinin etkileri açık bir şekilde görülmektedir. Kırsal alanlarda güneş ışığı bir engelle karşılaşmadığından doğal bir sirkülasyon sağlarken kentsel alanlarda bitki örtüsü ve dolayısıyla doğal örtünün azlığı gelen güneş ışığını binalar, asfalt ve beton gibi yüzeyler gün boyunca ısıyı absorbe etmekte iken bitki örtüsü ile kaplı alanlardan daha fazlasını gece boyunca yaymaktadır (Tozam 2018). Absorbe edilen ışıma geri yayılımında gecikme olduğundan ısıya dönüşerek tekrar ortama salınarak kent hava sıcaklığını

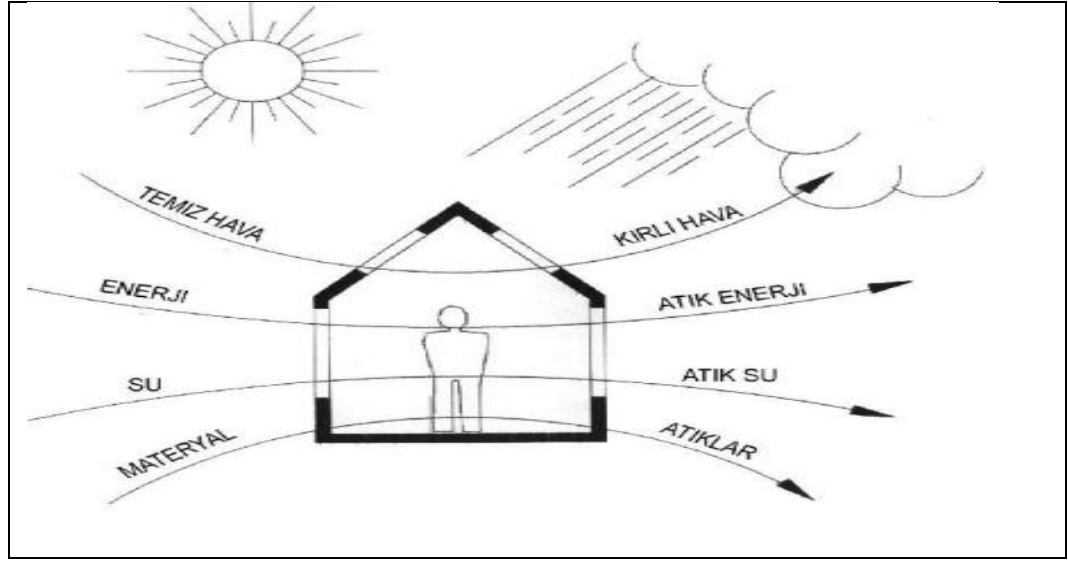
yükseltir. Kentsel ısı adasınsanın atmosferik ortamda değişiklik yapmasının en yaygın olarak belgelenmiş iklimsel etkilerinden biridir (Oke 1973) (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Kırsal ve kentsel alanlar arasındaki farklı güneş ışınımı dağılımını (Tozam 2018)

Binaları bir bitki örtüsü yapısı ile kaplayan yeşil çatılar, kentsel alandaki geçirimsiz yüzeylerde doğal soğutma ve su arıtma kabiliyetlerini getirerek kentsel zorlukların sayısız problemini hafifletebilir. Mimarlar ve planlamacılar, doğayı tekrar kente geri getirerek çevre sorunlarını çözmeye yardımcı olmak için yeşil çatıları kullanabilirler. Çevresel bir çözüm olarak yeşil çatıların gittikçe önem kazanması bu alandaki sorunların çözümünde yeni bir fikir olmayıp gittikçe gelişen bir olgudur (GSA 2011).

Yapılar; güneşten ısı ve ışık çeker ya da yansıtırlar, yağmur sularını toplar, birleştirir ve süzerler. Genellikle enerji olarak, fuel oil ya da doğal gaz kullanırlar. Ayrıca gelişmiş ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarına (güneş, rüzgâr enerjisi) eğilimi hızlı şekilde artmakta olup; ekosistem yapı ilişkisi Şekil 2.15.'te verilmiştir (Kabuloğlu 2005).



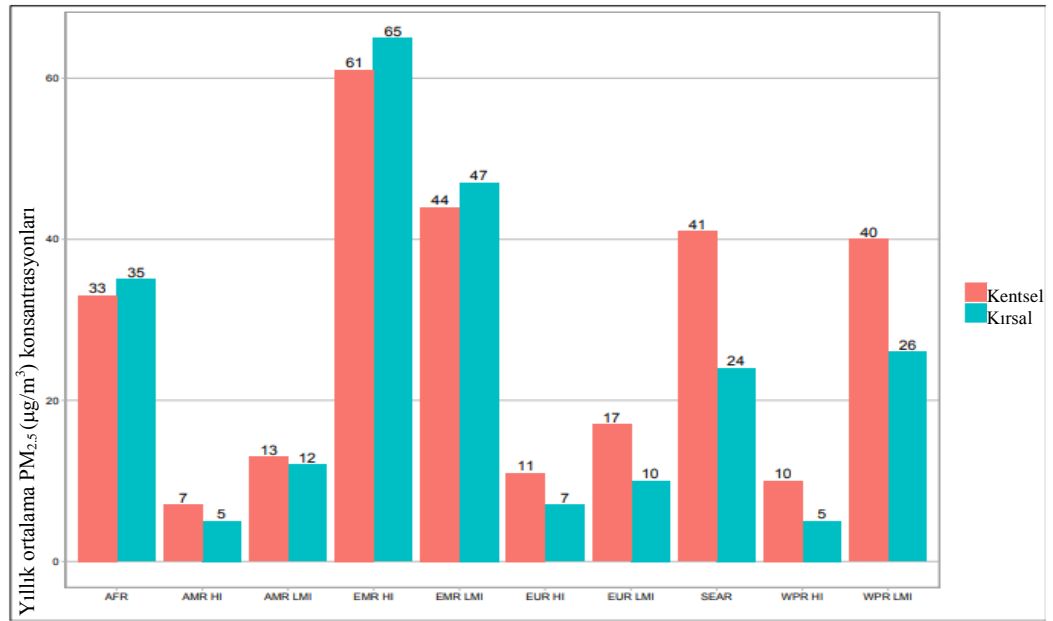
Şekil 2.15. Ekosistem yapı ilişkisi (Kabuloğlu, 2005)

2.6.2. Yeşil çatı sistemlerinin ekolojik döngüsü ve değerlendirilmesi

Endüstrileşme sonucu kirlenen çevre, çöp ve yaprakların açıkta yakılması, önemli miktarda inşaat atıklarının kent çevresindeki doğal alanlara atılması ve ormanların önemli düzeyde tahrip edilmesi, kent ve kent çevresinde çevresel tahribata ve kirliliğe yol açmaktadır.

Hava kirliliği, zararlı maddelerin atmosfere salınması olarak tanımlanabilir. Bu geniş tanım, bu nedenle aşağıdakileri de içeren bir dizi kirletici madde içermektedir. Bunlar; sülfür dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x), ozon (O_3), partikül madde (değişken boyutlarda küçük askıda partiküller), karbon monoksit (CO) ve uçucu organik bileşikler (VOC'ler)dir. Karbondioksit (CO_2) ve diğer sera gazları bu kategoride tipik olarak dikkate alınmayı, verileri ayrıca değerlendirilmektedir. Avrupa ve Amerika'da yıllık SO_2 emisyonları düşmeye devam ederken, Asya ve Afrika'daki emisyonlar ise artış göstermektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 2017 yılında yayınladığı raporda dünyanın en kirliliği 20 şehrinin 13'ünün Hindistan'da olduğunu, Hindistan'ı ise Çin'in takip ettiğini bildirmektedir. Başka bir ifadeyle hava kirliliği sorunları Hindistan ve Çin gibi ülkelerde hızla artmasının nedeni sanayileşme ve kentleşmenin bunun paraleli olarak hızla gelişimidir (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Hava Kirliliği Raporu 2017). Ayrıca WHO (2018), raporuna göre her yıl yaklaşık 7 milyon insanın, kirliliği havadaki ince parçacıklara maruziyeti ile inme, kalp hastalığı, akciğer kanseri, kronik obstrüktif akciğer hastalıkları ve pnömoni de dahil olmak üzere solunum yolu enfeksiyonları gibi hastalıklara yakalandıkları tahmin edilmektedir.



Şekil 2.16. 2016 yılı Küresel ölçekte kentsel ve kırsal alanlarda ortam (dış ortam) ince partikül madde hava kirliliğinin $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{PM}_{2.5}$), yıllık ortalama konsantrasyonlarının bölgelere göre dağılımı (World Health Organization WHO, 2018)

AFR: Afrika; **AMR:** Amerika; **EMR:** Doğu Akdeniz; **EUR:** Avrupa; **SEAR:** Güney Batı Asya; **WPR:** Batı Pasifik **LMIC:** Düşük ve orta gelirli ülkeler, **HIC:** Yüksek gelirli ülkeler.

Amerika Birleşik Devletleri'nin yüksek gelir bölgesi dışındaki tüm bölgelerde, WHO hava kalitesi kılavuzunda (AQG) önerilen $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yıllık ortalama değerini aşan ince parçacıklı madde hava kirliliğine ($\text{PM}_{2.5}$) maruz kalmaktadır. WHO AQG değerine göre Doğu Akdeniz bölgesindeki kentsel bölgelerde (hem düşük hem orta gelirli ve yüksek gelirli), Afrika ve Güney Doğu Asya bölgeleri ve Batı Pasifik bölgesindeki düşük gelirli bölgeler (nüfusun ağırlıklı) maruziyeti üç kattan fazladır (WHO 2018)(Şekil 2.16).

Kent yapılarında bulunan koyu ve geçirimsiz yüzeylerin ısınmasını önlemek için, bu yüzeylerin yansıtıcılık etkisi artırılmasının yanı sıra yeterli toprak nemi ile birlikte vejetasyon örtüsünü arttırarak evapotranspirasyonun oluşması sağlanabilmektedir. Yeşil çatılar bu konuda kentlerde önemli bir işleve sahiptir. Bass ve diğ. (2003), yaptıkları benzetim çalışması ile Toronto kentindeki tüm çatı yüzeylerinin %50'sinin yeşil çatılarla kaplanması sonucunda, kent merkezinde 2°C 'lik bir sıcaklık düşüşü sağlanacağını tespit etmişlerdir (Ekşi ve Uzun 2016).

Yeşil çatı sistemlerde kullanılan bitki türlerinin, yeşil çatı üzerindeki zorlayıcı etkilere dayanabilmelerinin en temel etken özel bir metabolizma faaliyetidir. Cushman ve Borland (2002), "Crassulaceae Asit Metabolizması (CAM), sınırlı su varlığına karşı önemli bir fotosentetik karbon tutma adaptasyonudur ve genellikle gelişmiş su kullanma verimliliğiyle sonuçlanan,

geceleyin CO₂'in tutulması ve gün içerisinde tekrar CO₂'in özümsemesiyle tanımlanabilir” (Akt. Ekşi ve Uzun 2016). CAM sahip bitkiler, “CO₂'i geceleyin atmosferden alarak, bünyeleri içerisinde bulunan enzimlerin yardımıyla malik asit olarak saklamaktadırlar. Günün erken saatleri ve gün boyunca bitkiler enerji ihtiyaçlarını bu şekilde sağlamaktadırlar. Su kaybını engellemek için, gündüz olduğunda bitkiler stomalarını kapatarak, mevcut karbondioksiti enerjiye çevirmektedirler. Yeşil çatıların bitkilendirilmesinde yaygın olarak kullanılan Sedum cinsi bitkiler *Crassulaceae* familyasına aittir. CAM metabolizmasına sahip 18,900 bitki türü, yeşil çatıların ihtiyaçlarını karşılayabilecek sınırsız sayıda seçenek sunmaktadır” (Ekşi ve Uzun 2016).

Genel olarak dünya nüfusunun % 50'si şehirlerde yaşamaktadır (Bindé 1998) ve sanayileşmiş dünyada bu rakam % 80'i geçmiştir. Kentsel popülasyonlardaki büyüme, gıda, enerji ve suya olan büyük talepler nedeniyle hem şehirlerde hem de çevre bölgelerde benzersiz bir dizi çevresel sorun yaratmaya devam edecektir. Bu sorunların çoğu ya doğrudan ya da kentsel genişlemeye uyum sağlamak için bitki örtüsünün kaldırılmasıyla artış göstermektedir. Bu sorunların birçoğunun iklim değişikliği ile daha da kötüleşmesi beklenmektedir. Yeşil çatılar yüzeylerinde barındırdıkları bitki örtüsüyle özellikle iklim değişikliği, ısı dalgalarını ve sağlıkla ilgili sorunları, hızlı sıcaklık değişimlerini, yağmur suyu akışını, su kalitesini, biyoçeşitliliği katkı sağlama potansiyeline sahiptir.

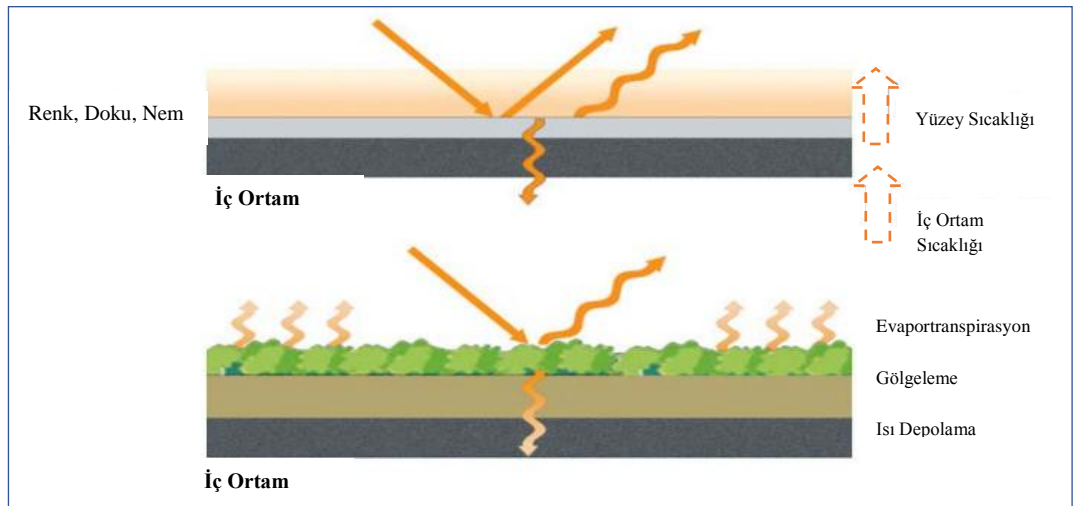
2.6.3. Kentsel alanlarda vejetasyon, sıcaklık ve enerji dengesi

Kentleşme beraberinde kentsel alanların sürekli artışı yönünde işleyen süreç doğal alanların dağılması ve bozularak ekolojik değerinin düşmesi ile sonuçlanmaktadır. Kentleşmenin doğal alanları daha küçük, izole ve kalitesiz alanlara dönüştürmesi ve bu alanlardaki canlı türlerinin hızla yok olmakta, bu olumsuzluğun önüne geçilmesi ve en aza indirmenin çözümü ise benzer vejetasyon karakterine sahip alanlar artı kalan doğal alanlar arasında bağlantılar oluşturulmasıdır. Yeşil çatıları bir bağlantı olarak değerlendirilmesi, onun habitata destek olması açısından doğaya özgü bir yapıya benzemektedir. Yeşil çatıların bitki yüzeyi içinde doğal türler ne kadar ağırlıklı olur ise o alanın yaban hayatı açısından habitat değeri o kadar yüksek olacaktır denilebilir. Yeşil çatılar kentlerde doğal bitki örtüsünün korunması ve geliştirilmesi açısından etkili bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır (Deniz vd. 2008). Kent merkezi ile kırsala doğru yerleşim alanlarında tercih edilen bitki türleri de değişmektedir. Binanın yakın çevresindeki doğal olarak yetişen türlerin tespit edilmesi ve bu bitkilerin yeşil çatı sistemlerinde kullanılması etkili olacaktır.

Yeşil alanların yetersiz olduğu kentlerde, asfalt ve betonarme yüzeylerin yoğunluğu nedeniyle yaz aylarında kent sıcak 50°C'ye ulaşabildiği, yeşil alanlar ve çevresinde orman kanopisinin (gölge ve örtü) olduğu alanlarda ise sıcaklık 25°C'de gerçekleşmektedir (Luvall ve Holbo 1989). Bitki örtüsü sıcaklık farkını hesaplamaktadır. Şöyle ki; bitki, evapotranspirasyon için nemi, bitki dokusundan suyun buharlaşmasını ve suyun topraktan buharlaşmasını sağlamaktadır. Evapotranspirasyon, hem yaprak yüzeyinin hem de havanın soğutulmasında önemli miktarda gelen güneş enerjisini kullanmaktadır. Evapotranspirasyon için

kullanılan enerji, su buharında bulunur ve yüzeyde ısıya dönüştürülmesini önler (Kınalı 2013).

Bitki örtüsü, bina yüzeylerini kaplayacak şekilde yerleştirilirse, evaporatif soğutma, binanın hemen bitişiğindeki hava sıcaklığını azaltarak klima ihtiyacını azaltabilir (Şekil 2.17). Yapay evaporatif soğutma sistemlerinin, klimayı % 20-25 oranında azalttığı ortaya çıkmıştır. Bitki örtüsü, gölgeleme ve yüzey yalıtım yoluyla klima kullanımını azaltılması sağlanabilir. Daha önce yapılan araştırma ve test bulgularına göre ağaçlardan elde edilen gölgelendirmeden dolayı enerji ihtiyacının %20-30 oranında azalabileceği ortaya çıkmıştır. Soğuk kış mevsiminderüzgâr, enerji verimliliğini % 50 orandan azaltmaktadır. Bir duvara oldukça yakın dikilmiş bir sıra ağaç dizini, rüzgâr ile bina yüzeyi arasındaki teması azaltarak enerji verimliliğini arttırmaktadır. Çatılardaki bitki örtüsü binalardaki enerji kullanımını azaltılması, ısıtma soğutma ile ortaya çıkan birçok kirleticinin atmosfere salınımını azaltması, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması ve kentsel hava kalitesi üzerinde etkili olacaktır. Güney Kaliforniya'da simülasyon modelleri kentsel ısıyı 2°C azaltmanın, motorlu araçların yarısının sıfır emisyonlu elektrik motorlarına dönüştürülmesine eşdeğer olduğunu öne sürmektedir. Ayrıca kent ısı adasında önemli bir azalma Los Angeles havzasında bitki örtüsünde % 1'lik bir artışla sağlanmıştır (Bass ve Baskaran 2003).



Şekil 2.17. Bitkilendirilmiş ve geleneksel çatı sistemlerinin güneş ışınımına karşı davranışlarının karşılaştırılması (Kınalı 2013)

Yeşil çatılar yağmur suyunu ortam ve drenaj tabakalarında tutarak; akmasını engellemektedir. Tutulan bu yağmur suyu bitkilertarafından fizyolojik süreçlerde, buna terleme de dâhil olmak üzere kullanılarak çatıları yeşil bir örtüye dönüştürmüştür. Aynı zamanda çatının drenaj yoğunluğunu azalttığından kent şebekesinin atık yükünü hafifletmektedir (Kobyta 2017). Yeşil çatı sistemleri çatı yüzeyine gelen yağışı % 40 ile %80 arasındaki tutabilme potansiyeline bulunmaktadır. Bitkilendirilmiş bir çatının 10 cm toprak kalınlığı kendi üzerine düşen yağmurun % 50'sini, 20 cm toprak kalınlığı % 60'ını tutabilmektedir. Bu oran 50 cm toprak kalınlığında % 90'a ulaşmaktadır. Yeşil çatıların yüzeyine gelen yağış miktarını tutma oranı; bitki yetiştirme ortamının toprak derinliğine ve

drenaj tabakasındaki su tutma kapasitesi ile ilgilidir. Yeşil çatıların bu potansiyeli iklim özellikleri çatının yapısal sistemine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yoğun yağış esnasında, yeşil çatılar suyu katmanlarında depolamakta ve bu katmanların doygunluğunda kalan su drene edilmektedir (Ekşi ve Uzun 2016). Van Woert ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmada; agrega yüzeyli çatıların su tutma oranını %48.7, bitkilendirilmiş yeşil çatı yüzeylerinin ise yağış tutma oranını %82.8 olduğunu tespit etmişlerdir (VanWoert, Rowe, Andresen vd. 2005).

2.6.4. Biyoçeşitlilik ve habitat

Biyoçeşitlilik terimi, bir alandaki bitki ve hayvan çeşitliliğinin bir ölçüsüdür. Bir bölge, birçok farklı türden oluşuyorsa ve biyoçeşitliliğe sahip olduğu düşünülüyorsa, her bir canlı türünün yıllar içinde geçerli bir nüfus büyüklüğüne sahip olması için yeterli sayıda birey olduğu düşünülmektedir. Sanayileşme devrimi ile başlayan süreç doğal çevre için bir kırılma noktasını oluşturmuştur. Kentlerdeki nüfus artışı, yeşil alanların, ormanların, kaynakların aşırı ve bilinçsiz kullanımı gibi insan etkileri doğal çevre üzerinde de baskıyı artırmıştır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Yeşil çatılarda biyoçeşitlilik

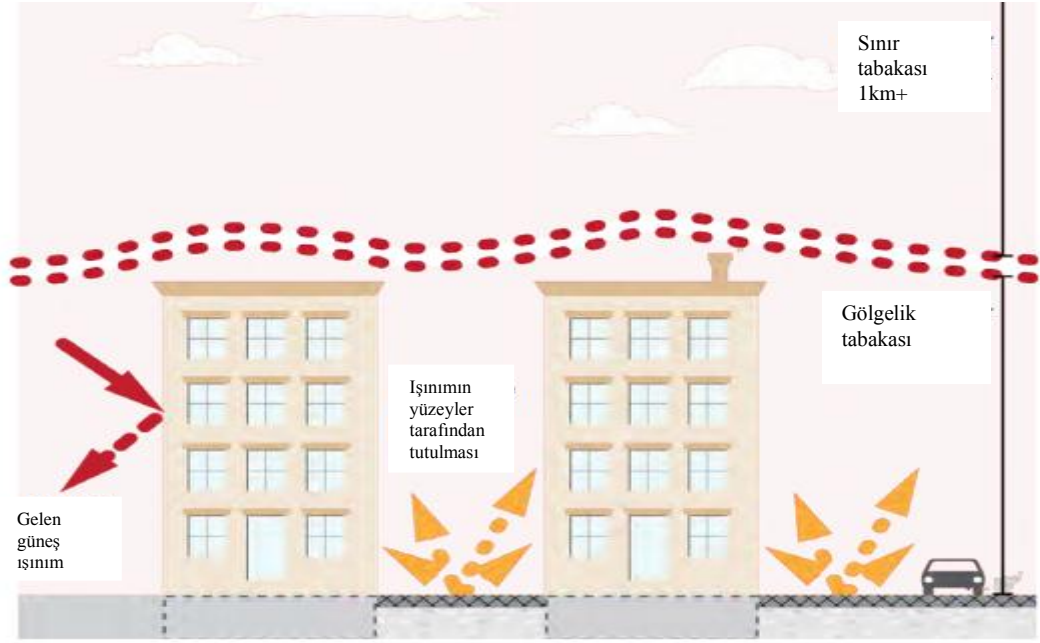
Biyo çeşitliliğin ve doğal çevrenin korunması ve iyileştirilmesi, biyolojik zenginliklerin vepopülasyon büyüklüklerinin devamlılığının sağlanması, türlerin ve yaşam ortamlarının korunması geliştirilmesi bakımından önemlidir. Bu bağlamda yeşil çatılar kentsel alanlarda faydalı bitkiler ve hayvanlar için yeni yaşam alanı sağlar ve biyoçeşitliliği artırmaya yardımcı olur. Artan biyoçeşitlilik, ekosistemlerin gelişmeden veya başka yollardan rahatsız olduklarında bile işlevlerini sürdürmelerine yardımcı olabilir. Yeşil çatılar, özellikle intensif çatılar çoklu yaşam alanlarını ve mikro iklimleri entegre etmek için tasarlanabilir, böylece çeşitli bitki ve hayvanların gelişmesi için uygun koşullar sağlanmaktadır. Ayrıca doğal yaşam alanlarını taklit etmek, bölgesel türlerin kolonileşmesi için mevcut alanı genişleterek tasarlanabilmekte veya zamanla biyoçeşitlilikteki kazanımlara olanak tanıyan yer seviyesindeki habitatların erken dönemlerini simüle edebilmektedir (GSA 2011). Yeşil çatılar, canlılar için yeni yaşam alanı

oluşturarak biyoçeşitlilik ve habitata destek sağlamaktadır. Kullanılan bir bitki örtüsü türü, yeşil çatının biyolojik çeşitliliği teşvik etme yeteneğinde en önemli faktördür. İntensif çatılar tipik olarak daha yaygın olan kuş türleri tarafından genellikle ziyaret edilen yaygın çatılardan çok daha fazla nadir örümcek ve kuş türlerini desteklemektedir. İsviçre’de yapılmış bir çalışmada bitkilendirilmiş çatıların kuş ve böcekler için yaşam ve gelişim alanı sağladığını, 17 adet yeşil çatı üzerinde üç yıl boyunca yapılan incelemede; 78 örümcek ve 254 böcek türünün bitkilendirme sonrası ortamda yaşamaya başladığını gözlemlemiştir (Ayçam ve Kınalı 2013).

Plansız, ekosistemi dikkate almayan hızlı kentleşme, doğal ve biyolojik çevreyi önemli ölçüde tahrip edilmektedir. Kentsel alanlar kompleks bir yapıdır. İnsan ihtiyacını karşılayan kültürel alanlar ile yaban hayatına imkân sağlayan açık ve yeşil alanlar kentlerin doğal ve kültürel yapılarını oluşturur. Kentlerin doğal çevre ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki baskısı, doğal ortamın kendini yenileyebilme hızından daha hızlı ilerlemesi, kentsel alanların genişlemesi doğal çevre ve biyolojik çeşitliliği tehlikeye sokmaktadır (Sever Mutlu ve Selim 2015). Yeşil çatılar, doğayla bağlantı sağlayarak doğal çevrenin ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında değerli bir stratejidir.

2.6.5. Kent ısı adaları (Urban Heat Island/UHI)

Kentsel Isı Adaları (UHI), yüzeye yakın hava sıcaklıklarının kentlerin yakındaki kırsal alanlardan daha yüksek olduğu etkiyi ifade eder. Bu etki, güneş ışınlarının önemli bir bölümünü su buharı oluşturmak için absorbe eden doğal peyzajların, güneş ışınımının çoğunu absorbe eden ve ısı olarak yeniden çevreye geri yansıyan yansıtıcı olmayan yüzeylerle değiştirildiği şehirlerde yaygındır. Kent ısı adaları, artan enerji tüketimine, ısı ile ilişkili hastalığa ve ölüme ve artan hava kirliliğine neden olmaktadır. Çatılardaki bitki örtüsü, kentsel ısı adaları sorununa en çok ümit veren çözümlerden biridir; çünkü bitkiler, kentsel çevredeki ısı ada etkisini azaltmaya yardımcı olabilir. Bir kentteki % 50 veya daha fazla çatı alanını kaplayan yeşil çatılar, diğer büyük ölçekli yeşillendirme çalışmaları ile eşgüdüm halinde uygulandığında, yaz mevsimi boyunca yoğun enerji talep dönemlerinde soğutma talebinin düşmesini sağlamaktadır (GSA 2011).



Şekil 2.19: Kentsel ısı adası etkileri (GSA 2011)

Dünya atmosferi çok dinamik bir yapıdır. Büyük hacimlerdeki hava sürekli olarak yukarı, aşağı ve dünya yüzeyinde hareket etmektedir. Hava hem yeryüzüyle hem de boşlukla temas halindedir ve her iki yönden de enerji alır. Güneşten alınan ısı ve ışık yeryüzünde her yerde aynı değildir. Canlılığın miktarı ve yoğunluğu, bir gün içinde, mevsimde ve bir yılda bir yerden diğerine değişiklik göstermektedir. Yeşil çatı sistemleri bina ve kentsel düzeydeki iç ve dış ortamları iyileştirmek için etkili çözümlerdendir (Şekil 2.19). Geleneksel çatılara oranla yeşil çatılar, binanın ısı yalıtımını iyileştirerek güneş ısı kazanımı ile ısı kaybını yaz aylarında ortalama % 70-% 90 ve kış aylarında % 10-30 azaltmaktadır. Kentlerde yüksek sıcaklık ve ışınlanma değerleri ile karakterize olduğu bölgelerde, bahar ve yaz mevsimlerinde enerji tüketimi ve ısıl ada etkisini azaltmaya, ayrıca; hava sıcaklığını dengelemeye yardımcı olmaktadır (Rakotondramiarana, Ranaivoarisoa ve Morau 2015).

Kent ısı adası, binaların enerji tüketimi ve dış hava kalitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Binalar kentsel alanlarda enerji dengesini değiştirmekte ve kent ısı adası formasyonunun ana nedeni olarak kabul edilmektedir (Parham, Mirzaei, Haghghat 2010). Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta kent ısı adası etkisi farklı iklimlerde veya kentin yapısal özelliklerinde farklılık göstermesidir. Bu nedenle sınırlı izleme verilerine dayanarak genel bir sonuç yapılamaz. Kentlerde görülen olumsuz mikroklimatik koşulların oluşumuna neden olan koşullar; insan faaliyetlerindeki artış, kent dokusunun morfolojik yapısının değişmesi ve bitkisel dokunun azalıp sert geçirimsiz yüzeylerin artışı önemli etkenlerdir. Olumsuz mikroklimatik sorunların en önemlisi kentsel ısı adası etkisi gelmektedir. “Isı adası” yapısal alanların çevresindeki kırsal alanlara göre daha yüksek hava sıcaklık değerlerine sahip olmasını tanımlamaktadır. Kent ısı adasının hava kalitesinin düşmesine, binalarda enerji kullanımının artmasına, kent

üst tabakasında kirliliğe, rüzgâr, nem ve yağış döngüsünde değişimlere neden olmaktadır (Canan 2017).

Literatürde birçok çalışmada standart beton çatılar ile yeşil çatı sistemleri sıcaklık ve ısı kayıp ve kazançları açısından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar coğrafi bölgelere ve iklim şartlarına göre farklı sonuçlar vermektedir. Cardiff Üniversitesi'nde yaz aylarında, standart bir yeşil çatı sisteminin ısı modellemesi yapılarak hem deneysel hem de teorik model üzerinden sıcaklık analizleri yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, beton çatı üzerinde gece ile gündüz arasında 25°C'ye varan sıcaklık oynamaları varken, yeşil çatı üzerinde bu farklılık 13°C'ye kadar düşmektedir. Bina çatısında gün boyu oluşan büyük sıcaklık değişimlerinden etkilenmediği, ortalama çatıdaki ısı yük değeri de düştüğü saptanmıştır (Ayata ve Erdemir 2014).

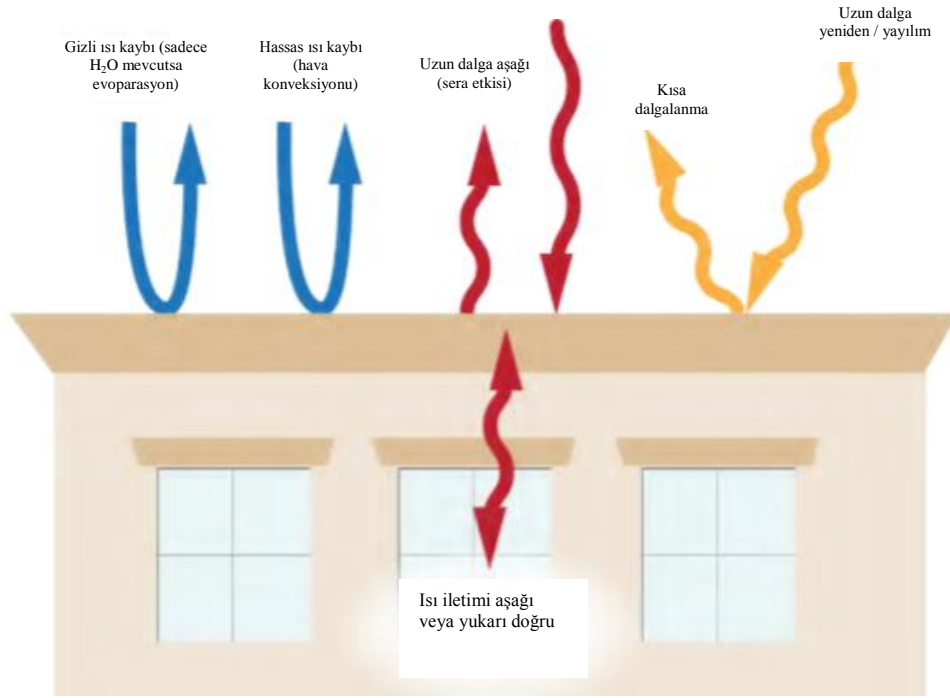
Bir kentteki sıcaklık, çevredeki kırsal alandaki havadan daha kuru ve sıcak olduğunda, kentteki ısı adası etkisi söz konusudur. Doğal su ve enerji dengesindeki değişimler, örneğin kentleşme veya yüzeylerin geçirimsiz olmasından kaynaklanır. Yapılaşmanın yoğun olduğu kentsel alanlarda yaz mevsiminde sıcaklıklar artar, bu da ısıyla ilişkili hastalık ve ölüm riskini artırabilir. Aynı zamanda kentsel havalandırmayı azaltır ve hava kirliliği seviyelerini artırır. Isı emici katran ve diğer karanlık çatı kaplama malzemeleri daha yüksek sıcaklıklara neden olurlar (Ngan 2004).

Uluslararası alanda yapılan çalışmalar, yeşil çatıların iklim değişimine uyum sağlayan enerji etkin bina yapı sistemlerinden biri olduğunu ortaya koymuşlardır. Yeşil çatılar, gelen güneş ışınımı vasıtasıyla bitki ve bitki taşıyıcı katman tarafından soğurulurlar. Ancak; soğrulan enerji evapotranspirasyon; yapraklardan terleme ve bitki taşıyıcı katmandan suyun buharlaşması amacıyla kullanılmaktadır; Bunun sonucunda yüzey sıcaklığı azalmakta ve yüzeyden atmosfere düşük oranda ısı enerjisi salınma olacağı için kentin dış ortam hava sıcaklığında önemli bir artış olmayacaktır. Ayrıca yüzey sıcaklığının azalmasında bitkilerin yapraklarının gölgeleme etkisi de bulunmaktadır. Bu çalışmalarla, bitki taşıyıcı katmanının ek bir ısı direnç sağladığı da ortaya konulmuştur. Toronto'da yapılan çalışmada, kent alanının, kırsal alanlara nispeten 2-3°C daha sıcak olduğunu, kent ısı adası; bir atmosferik model simülasyonu ile kentte %50 oranında yeşil çatı sisteminin uygulandığı durumda, yeşil çatılar kent sıcaklığında 1-2°C azalmaya neden olacağı belirlenmiştir. Singapur'da yapılan bir çalışmada; bitkilendirilmiş yeşil çatılarda sürekli ölçüm yöntemiyle yürütülen bir çalışma, yeşil çatıların yüzey sıcaklığını 18°C azalttığını göstermiştir (Türkeri, Altun ve Göçer 2011).

2.6.6. Enerji

Fosil kaynaklı enerji kaynaklarının kullanılmaya başlamasından günümüze kadarsüreçte enerjiye olan gereksinim günden güne artış göstermektedir. Fosil bazlı enerji kaynaklarının günden güne tükendiği günümüzde yoğun nüfus artışından kaynaklanan çok katlı yapılaşmalar, çevre ile ilgili sorunların oluşumunu sebep olmaktadır. Binalar, kentlerde kullanılan enerji miktarının yaklaşık %50'si kullanması, mimar ve mühendislerin tasarım anlayışlarına ve

tasarımlarında yapı bileşenlerinin iklimlendirme çözümlerinde öncelikle doğal iklimlendirme, enerji tasarrufu iklimlendirmeye sahip bina tasarımları yapılmalıdır. Bu amaçla elde edilecek bu tasarımla, doğal yolla sağlanan konfor şartları ile binaya yüklenen mekanik yükler azaltıp, enerji tasarruf odaklı bir yapı oluşturulmalıdır. Bina performansı etkileyen yeşil çatı uygulamaları da bu tasarımın bileşenlerinden biridir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Bir çatı için yüzey enerji dengesi (GSA 2011)

Son zamanlarda kentsel nüfus, dünya çapında kırsal nüfusu aşmış durumdadır. Birleşmiş Milletler projeksiyonları, kentsel alanlarda yaşayan dünya nüfusunun % 20'sinden 2050'ye kadar % 70'e çıkacağını göstermektedir (BM 2007; Gaffin, Rosenzweig, Khanbilvardi, Parshall, Mahani, Glickman, Goldberg, Blake, Slossberg, Hillel 2008). Yakın gelecek için kent nüfusu ile ilgili öngörülen rakamlar; 2050 yılında 3.33 milyar kişiden ~6.4 milyara, bu da yaklaşık % 90'lık bir artış gerçekleşeceğini göstermektedir. Başka bir deyişle, 2050 yılında kentsel alanlarda yaşayan insanların sayısı bugün dünya nüfusunun tamamına yakın olacaktır. Enerji miktarı ve kentlerin çevresel etkilerinde azalma yaşanacağı, bu nedenle; gerekli önemlerin hızlı bir şekilde alınmasının önemini vurgulanmaktadır (Gaffin, Khanbilvardi ve Rosenzweig 2009).

Dünya genelinde yeni bir çevresel etkinin azaltılması için uygulanan yeşil çatılar canlı bitki örtüsüyle dikkat çekmektedir. Bu sistemlerin çevresel performansına ilişkin verilere olan ilgi, enerji verimliliği, özellikle kentlerde ısı adası azaltılması ilişkin olarak günden güne artmaktadır. Dünya genelinde küresel ısınmanın artan bir ivme kazanması, kentlerde aşırı ısı sıcaklık değişimlerini tetiklemekte, kent ve çevresi için yaşamın daha da kötüleşeceğini yapılan

araştırmalar göstermektedir. Bu çalışmalarda ortaya konulan bulgulardan ilki, pek çok kentlerde kentsel alanda ısı adasının yoğunluğu, bir sonraki yüzyılda bölgesel olarak beklenen ısınma miktarı ile karşılaştırılabilir durumdadır. İkincisi, kentsel ısı kaynaklarının azaltılması, dünya çapındaki yerleşim bölgelerinde küresel ısınmanın azaltılması için eşit derecede önemli olacak bir uyum stratejisidir. Üçüncüsü, kentsel nüfus artışları gelecek yüzyılda devam edecek olan yaygın bir demografik yerleşim eğilimidir.

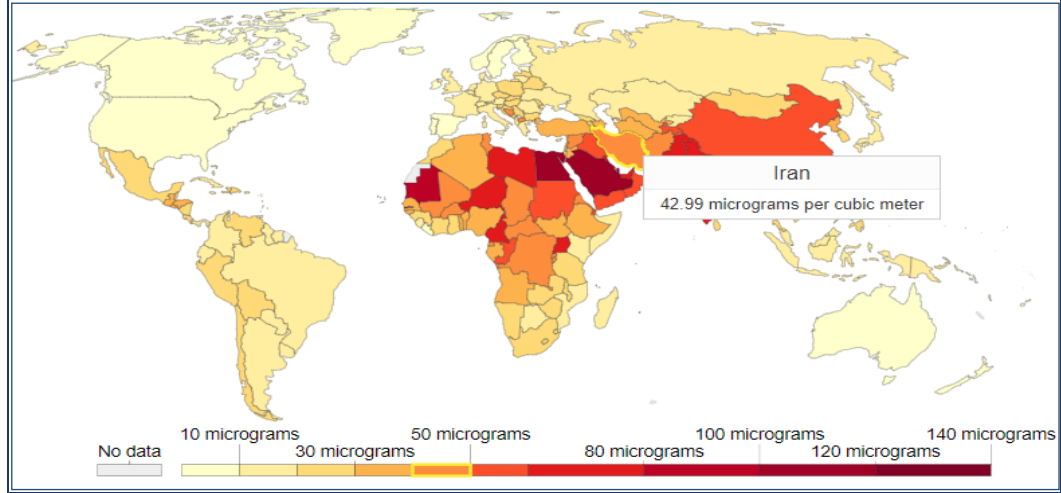
Kentsel çevresel etkilerin azaltılmasında etkili olan yeşil çatı sistemleri, binaların enerji verimliliği ve çevresel etkilerini ön plana çıkartmaktadır. Binaların enerji kullanımının minimal seviyelere düşürülmesi bir çözüm olarak giderek yaygın kullanımı artan yeşil çatılardır. Yeşil çatı sistemleri; bitki taşıyıcı katmanı ile ısı depolama özelliği özellikle sıcaklıkların arttığı yaz aylarında yüzeyde bitki katmanı sayesinde azalmış olan ısı yükü iç ortama daha az geçirerek, soğuk kış aylarında ise ısı miktarının iç ortamdan dış ortama ısı geçişini azaltarak binalarda tüketilen soğutma ve ısıtma enerjilerinden önemli miktarda tasarrufu sağlayacaktır. Yeşil çatıların farklı işlevlere ve alanlara sahip olan binalar için ısıtma ve soğutma yüklerinin analizi ile ilgili çalışmalarda; yeşil çatıların farklı işlevlere ve alanlar sahip olan binalar için ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkisini analiz eden bilimsel çalışmalardan elde edilen bulgular dikkat çekicidir. Lui (2004), tarafından yapılan bir çalışmada çatı yüzeyindeki ve bünyesindeki sıcaklık miktarları, dış ortamdan iç ortama ısı akışı düzeyleri, yansıtıcılık özellikleri ve atık su uzaklaştırma miktarını ölçmüştür. Kanada'da gerçekleştirilen bu çalışmada 72 m²'lik bir çatı alanının eşit iki parçaya bölünerek, yarısı seyrek bitkilendirilmiş çatı sistemi, diğer yarısı da modifiye bitümlü su yalıtım malzemesi kullanılan geleneksel çatı sistemine dönüştürülerek iklimsel verileri 2 yıl süresince ölçülmüştür. Geleneksel çatı sistemlerinin altında yer alan iç ortamın iklimlendirilmesi için gerekli olan ortalama günlük enerji ihtiyacı 6,0/7,5 kWh/gün olarak belirlenmiştir. Bitkilendirilmiş çatıda ise bu ihtiyaç 1,5 kWh/gün olarak ölçüldüğünden dolayı %75 oranında bir enerji tasarrufu sağlandığı söylenebilir (Akt. Ayçam ve Kınalı 2013).

2.6.7. Hava kalitesi

Yeşil veya çatı bahçesi olarak bilinen vejetatif çatı kaplamaları hava kirliliği ve hava kirleticilerini filtrelemesi açısından çevresel etkiye sahiptirler. Hava kirliliği dünya genelinde tüm kentleri etkileyen önemli bir çevre sağlığı, yaşamı tehdit eden bir sorun olarak gündemdeki yerini korumaktadır. Hava kirliliği, günümüzün önemli kentteki insan ve yaşamı tehdit eden; artan kentleşme ve sanayileşmenin bir yan ürünü olarak ifade edilmektedir. Bununla birlikte hava kirliliği, ekonomik, teknolojik ve politik değişimlere paralel olarak ilginç geçişlerle uzun ve gelişen bir tarihe sahiptir (Ritchie and Roser 2018).

Hava kirliliği çapı 2.5 mikrona eşit ya da daha küçük olan PM_{2.5} daha yüksek değerler maddi zararlar meydana getiren havadaki yabancı maddelerin, normalin üzerinde miktar ve yoğunluğa ulaşması olduğundan, canlı yaşamın sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Nüfusun PM_{2.5} kirliliğine maruz kalması, bir popülasyonun 2.5 mikrondan daha küçük bir çapa sahip olan gazda asılı partikül konsantrasyonlarına ortalama maruz kalma seviyesi olarak

tanımlanır. Maruziyet, metre küp başına mikrogram cinsinden ölçülür ($\mu\text{g} / \text{m}^3$). PM konsantrasyonu genellikle birim hacimdeki kütle veya parçacık adedi olarak ifade edilmektedir (Karakaş 2015). Dünya geneli hava kirliliğinin dağılımı ise Şekil 2.21’de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. PM_{2.5} hava kirliliği, yıllık ortalama maruz kalma (metre küp başına mikrogram), 2015 (World Bank-WDI; Hannah Ritchie and Max Roser (2018) – “Air Pollution”. *Published online at Our World In Data.org*. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/air-pollution>)

Kentsel alanlardaki bitkiler karbon dioksit ve karbon monoksit, duman oluşturucu bileşikler ve partikül madde gibi kirlenici madde etkilerinin azaltılmasında etkilidir. Hava kalitesinin iyileştirilmesinde yeşil çatının etkinliği, yetiştirilen bitkinin türüne ve kullanılan toprağın derinliğine bağlıdır. Örneğin, yaprak yüzey alanı ne kadar büyük olursa, daha çok partikül madde yakalanabilir. Yeşil çatılar aynı zamanda binanın enerji kullanımını da azalttığından, özellikle enerji santrallerine yakın olan kentlerde santraller tarafından yayılan CO₂ ve duman oluşumuna neden olan kirlenici miktarını potansiyel olarak azaltabilirler. Kentsel ısı adasındaki azalma da dumanın azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Yeşil çatılar, katalizör gibi karbondioksiti emerek ve oksijen üreterek sera etkisini azaltmaktadır, bunun yanında güneş yansımada azaltmaktadır. Bu durum termal performans üzerindeki etkileri nedeniyle, yeşil çatılar, kendisi için bir sera gaz kaynağı olan klima ihtiyacını da azaltmaktadır (GSA 2011) (Şekil 2.22).



Yeşil Çatı

Geleneksel Çatı

Şekil 2.22. Yeşil ve standart çatılar arasındaki iklimsel işleyişi gösteren şema (Beyhan ve Erbaş 2013)

Yeşil çatılar, bitki örtüsü sayesinde toz tutabilme özellikleri ile çeşitli hava kirliliğine yol açan partikülleri bitki yaprakları tarafından emilerek toprağa iletilmelerini de sağlarlar. Ngan (2004) Almanya’da yapılan bir çalışmada; bitkilendirilmiş çatının bulunduğu alanlarda mazot kaynaklı atık maddelerin ve havadaki sülfürdioksit (SO_2) ve nitratların %20-37 oranında azaldığını böylelikle yeşil çatıların hem iç hem de dış hava kalitesinin iyileşmesine de katkı sağladıkları gözlemlenmiştir (Ayçam ve Kınalı 2013). Bitki, toz parçacıklarını havadan temizler ve evapotranspirasyon, ortam sıcaklıklarını soğutur ve hava kalitesini artırır (Beyhan ve Erbaş 2013). Yeşil çatılar hava kalitesinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Ritchie and Roser 2018).

2.6.8. Gürültü

Kent alanlarındaki oluşan gürültü, kaliteli yaşamın önünde bir tehlikedir. Kent içindeki trafik gürültüsünden binalardan, sert yüzeylerden ve kaldırımlardan yansır, bitkilendirilmiş yüzeyler ve yeşil çatılar yansıyan gürültüyü emerek azaltır. Alçak frekansları (3-30 Hz) toprak, yüksek frekanslar (30-300 Hz) bitki örtüsü bloke eder. Bu özelliğinden dolayı yeşil çatılar, geleneksel veya beton çatılara göre gürültüyü azaltma oranına sahiptirler. Konu ile ilgili yapılan kapsamlı çalışmalara göre, 5.08 cm ila 15.24 cm kalınlığındaki çatılar, yetiştirme ortamındaki su içeriğine bağlı olarak, çatının gürültü seviyesini 8 desibel veya daha fazla azaltmıştır. Yeşil çatı ile kaplı bir çatının oranı ne kadar büyük olursa, çatı boyunca hareket eden seslerden gelen ses basıncındaki azalma o kadar büyük olur. Bir çatının alanı onu çevreleyen gürültüyü azaltmak için mevcut yalıtım miktarını belirler. Bitkilendirilmiş ortamının dokusu bu azaltmayı etkileyebilir. Yeşil çatılar hem düşük frekanslı sesleri (büyüyen ortam tarafından engeller) hem de yüksek frekanslı sesleri (vegetasyon tarafından engeller) azaltma potansiyeline sahiptir (GSA 2011). Almanya Frankfurt havaalanında gürültü ölçümü ile ilgili bir çalışmada 10 cm’lik derinliğe sahip bir yeşil çatı sisteminin gürültü seviyesini 5db düşürdüğü belirlenmiştir (Ayçam ve Kınalı 2013).

Yeşil çatılar, özellikle düşük frekanslı sesler için mükemmel gürültü azaltma özelliğine sahiptir. Kapsamlı yeşil bir çatı dış sesleri 40 desibel ile azaltabilirken, yoğun bir ses 46-50 desibel azaltabilir (Önder 2014).

2.6.9. Yağmur suyu yönetimi

Tipik bir kentsel alanda, taş döşeli gömülmüş ve sert yüzeylere düşen yağmur hızla kanalizasyonlara ve yakındaki bir su kütlelerine doğru akar. Bu aşırı yağmur suyu akıntısı, kentsel kirleticileri su kütlelerine sürükleyerek, nehir yataklarını aşındırarak su baskınlarına, su kalitesine zarar vermek üzere çok sayıda çevresel soruna neden olabilir.

Yeşil çatıların en önemli etkilerinden birisi, yoğun yağışlarda yağmur suyunu tutup kanalizasyon sistemine ulaşmasını geciktirmesidir. 20-40 cm arası yoğun bitkilendirilmiş bir çatı 10-15 cm yüksekliğinde su tutma kapasitesine sahiptir. Genel olarak kente düşen yağmur suyunun % 10-15'inin yeşil çatılarda tutulması mümkündür. Konu ile ilgili Michigan Üniversitesi kampüsü içinde bulunan bir alanda yapılan ölçümlerde %2, %7, %15 ve %25 olarak 4 farklı eğimdeki seyrek yeşil çatıların, 94 günlük süreçte 64 kere meydana gelen yağışlar; çatıların ortalama yağmur tutma kapasitesinin %80.8 olduğunu göstermiştir. En düşük su tutma kapasitesi %76.4 oranı ile %25 eğimli sistemken en iyi sonuç %85.6 ile en düşük eğim olan %2 eğimli çatının performansındadır (Ayçam ve Kınalı 2013). Yeşil çatılar geleneksel çatılara göre suyu daha fazla tutup, sağlıklı bir akış sergilemektedirler.

2.6.10. Sera gazları ve ağır metallere etkisi

Ağır metalin tanımı, fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten daha yüksek olan metaller için kullanılır. Bu grubun içine kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko olmak üzere 60'tan fazla metal girmektedir. Ağır metal kirliliği dünya üzerinde pek çok yerde biyosferi etkiler (Okcu, Tozlu, Kumlay ve Pehluvan 2009). Yeşil çatılardaki toprak, yağmur suyuna havadan karışan ağır metalleri ve tuzu tutarak sera gazlarının yok olmasında yardımcı olur. Bakır, kurşun ve kadmiyum gibi metallerin %98, çinkonun %16 oranında tutularak sudan arındırıldığı tespit edilmiştir. Chicago'da tüm çatıların yeşillendirilmesini kaliteli hava modeli olarak baz alan bir çalışma sonuçlarına göre, bu sayede yılda 417,309.26 kg azot oksit ve 517,100.61 kg kükürt oksit emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir (Ayçam ve Kınalı 2013).

Yeşil çatılar, karbondioksiti emerek ve oksijen üreterek sera etkisini azaltır. Güneş yansımalarını da azaltırlar. Termal performans üzerindeki etkileri nedeniyle, yeşil çatılar, kendisi için bir sera gaz kaynağı olan klima ihtiyacını azaltır (Ngan 2004).

Kentlerde enerji kullanımında fosil yakıt kaynaklarının yaygın olarak kullanılması ve HCF, HCFC, CO₂ ve O₃ gibi gazların atmosfere salınması sera etkisini arttırmakta, havayı kirleterek doğal dengeyi bozmaktadır. Yeşil çatı kullanımı solunumda CO₂ kullanan bitkiler aracılığıyla hava kirliliğindeki olumsuz etkileri azaltmaktadır (Dikmen ve Savcı 2015).

2.6.11. Çatı yalıtımı ile çatı ve bina ömrünü uzatması

Yeşil çatının diğer bir faydası da çatı yalıtım malzemesini korumasıdır. Yeşil çatılar su geçirmez membrana çeşitli şekillerde koruma sağlar. Sıcaklığı düşürürler, böylece aşırı sıcaklık değişimlerinde genişleme ve büzülme hasarını azaltırlar. Ultraviyole ışımından kaynaklanan hasara karşı koruma sağlarlar. Dolu, insan trafiği, vb. Neden olduğu mekanik hasarlardan korunma sağlarlar. Geleneksel bir çatı membranı her 20-25 yılda bir büyük onarım veya değişim gerektirir. Genellikle yeşil bir çatı membranını iki kat daha uzun ömürlüdür (Ngan 2004).

Kanada'da yapılan bir diğer çalışmada; malzemelerin yüzey sıcaklıkları ile ilgili ölçümler sonucunda; özellikle yaz aylarında, 15 cm bitki taşıyıcı katmana sahip bir ekstensif yeşil çatı sistemi; su yalıtım malzemesinin sıcaklığını, istenilen düzeylerde tutabilmektedir. Referans çatıda yaz mevsiminde, su yalıtım malzemesinin sıcaklığının 70 °C'ye çıkarken, bitkilendirilmiş çatı sisteminde bu değer en fazla 30 °C olarak ölçülmüştür. Ayrıca sistemdeki toprak ısı yalıtımına katkıda bulunduğu için enerji maliyetlerinde azalma olmaktadır (Ayçam ve Kınalı 2013).

2.6.12. Estetik ve yaşam kalitesi

Yeşil çatılar, kentsel yapı görüntüsünün oluşturduğu karışıklıktan farklı olarak doğayla bütünleşik, dengeleyici ve rahatlatıcı bir çevre sağlar. Yeşil çatılar, çevre ve sakinleri için cazip bir dinlenme ve sosyal aktiviteler gibi ilave kullanılabilir alanlar yaratır. Erişilebilir olduğunda rahatlama yeri olarak stresi azaltarak, insanların verimliliğini artırabilir. Yeşil çatılar yüksek güvenlik hisse ile dinlenme alanları olabilir (Ayçam ve Kınalı 2013). Erişilebilir yeşil çatılar, bina sahiplerine değer katacak kaliteli dış mekânlar sunar. Yeşil çatılardaki estetik ve yaşam kalitesi faydaları mevcuttur, ancak nicelleştirilmesi güçtür. Bitkiler ve doğal çevrenin, stresi azalttığı, kan basıncını düşürdüğü ve kullanıcı memnuniyetini artırdığı bulunmuştur (GSA 2011).

Yeşil çatılar açısından estetik ve yaşam kalitesinin ölçülmesi zordur. Yine de bazı araştırmalar, yeşil çatıların daha fazla üretkenlik ve daha az devamsızlık nedeniyle bir binanın sakinlerine önemli bir değer sağlayabileceği yönündedir. Daha iyi bir estetik ve yeşil çatının manzarası, estetik görselliği ile daha geniş topluma fayda sağlayabilirler. Araştırmacılar yeşil binaların genel verimliliğinin daha yüksek üretkenlik ve daha düşük devamsızlık açısından etkili olduğunu göstermiştir. Ofis pencerelerinin görünümü bitki örtüsü içerdiğinde ofis çalışanlarının % 2.9 daha verimli olduğunu ortaya koymuştur (GSA 2011) (Şekil 2.23).



Şekil 2.23. Erişilebilir yeşil çatı dinlenmek için güvenli bir yer sağlar (GSA 2011)

Günümüzde estetik sonuçları değerlendiren onaylanmış net bir yaşam kalitesi aracı yoktur. Bununla birlikte, genel kanıt, yeşil çatıların, verimlilik ve devamsızlık anlamında, bina sakinlerine ve aynı zamanda gelişmiş estetik ve görüşlerden yararlanan topluluğa büyük bir değer sağlama kapasitesine sahip olmasıdır.

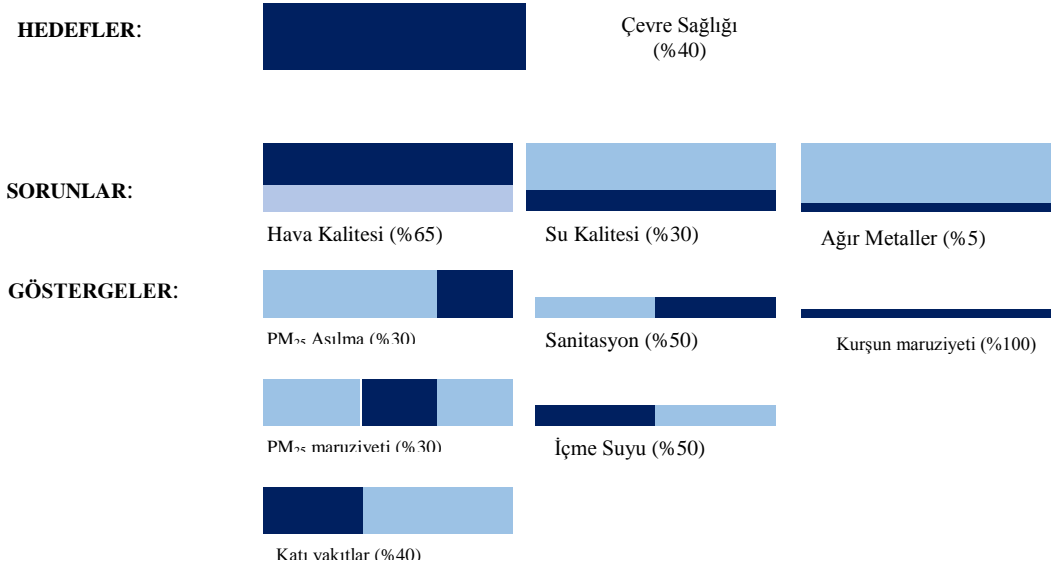
2.6.13. İş üretimi ve ekonomik gelişim

Yeşil altyapı olarak kabul edilen yeşil çatılar, uygun maliyetli, sürdürülebilir ve çeşitli arzu edilen sonuçlar sağlayan çeşitli çevresel sorunlara etkili bir yanıtıdır (DSA 2011). Yeşil çatılar, çatının üretimi, kurulumu ve bakımında istihdam olanakları yaratabilir. Yeşil altyapı istihdam ve iş yaratma özelliği ile özellikle vasıfsız işgücü, çevre düzenlemesi alanlarında beceriler geliştirmek için gelecekteki çalışanlara fırsatlar sunar (Özyavuz, Karakaya ve Ertin 2015). Yeşil çatılar, çevreyi iyileştiren doğrudan bir rol oynayan bir yeşil altyapı işidir. Yeşil çatılar hem vasıflı hem de vasıfsız işçiler için iş fırsatları sunarken, yeşil çatıların üretimi, kurulumu ve bakımı ile yeşil iş yaratımı sağlayabilir. Yeşil çatı pazarının büyümesi, üretim, tesis büyümesi, tasarım, kurulum ve bakım ile ilgili yeni iş fırsatları yaratmaktadır (Önder 2014). Ayrıca yeşil çatılar, bina geliştiricileri ve sahipleri için yatırım avantajları sağlayabilir ve binaya pazarlama fırsatları sağlayabilir. Bitkilendirilmiş çatı sistemleri sayesinde mesleklerini kullanmada yeni alternatiflere sahip olacaklardır (Ayçam ve Kınalı 2013).

2.7. Yeşil Çatı Değerlendirme Kuruluşları ve Değerlendirme Kriterleri

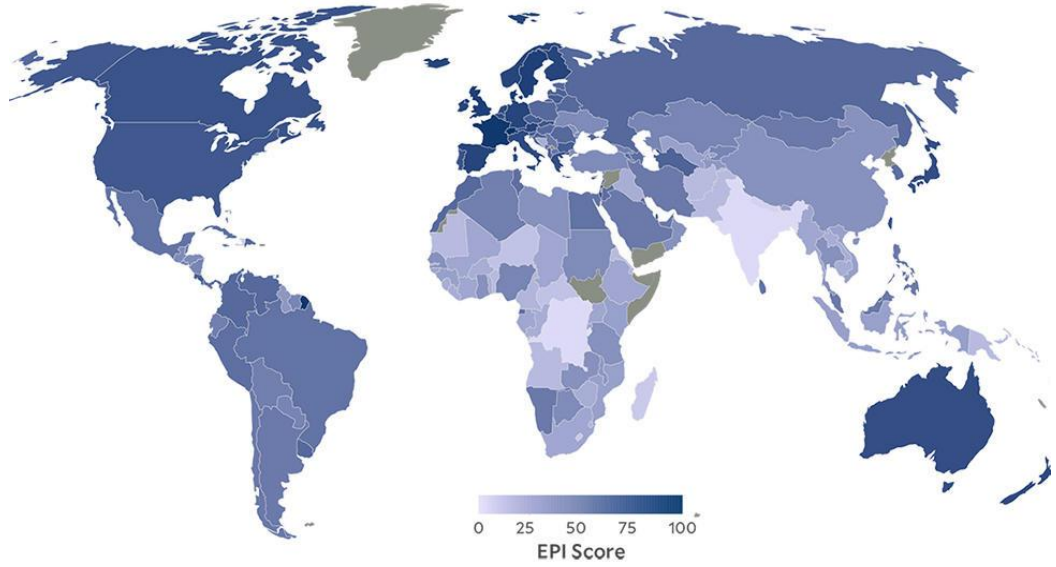
Ülkelerin çevre politikalarını değerlendirmede en güvenilen yöntemlerden biri Çevresel Performans Endeksidir (Environmental Performans Index EPI 2016). Yale Üniversitesi Veriye Dayalı Çevresel Çözümler Grubu ve Columbia Üniversitesi Uluslararası Dünya Bilim Enformasyon Ağı ortak olarak her iki yılda bir yayınladığı raporda ülkelerin çevresel performansı hakkında küresel bir görüş ortaya koymakta ve karar alıcılara bilgi vermektedir (Environmental Performance Index 2016). EPI endeksi ülkeleri çevre sağlığı ve ekosistem üzerine odaklanan üç

ana başlık altında 100 üzerinden puanlamaktadır. Hava kalitesi, halk sağlığı için önde gelen çevresel tehdit olmaya devam etmektedir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Dünya genelinde çevre sağlığı ve ekosistem canlılığı (EPI 2018)

Çevresel Performans Endeksi (2018), üst sıralarında olan ülkelerin özellikleri ise, yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artış, enerji tasarrufu, doğa dostu enerji kaynaklarına yönelme, fosil yakıtlardan aşamalı olarak yenilenebilir yakıtlarına geçiş, karbon salınımının sifıra düşürülmesinin hedeflenmesi, ağaçlandırma, inşaat sektöründe kullanılan malzemelerin çevre dostu olması ve daha yeşil bir dünya felsefesi ile yoğun çaba göstermeleri söylenebilir. EPI 2018 endeksine göre hava kirliliği insanlar için en büyük çevresel tehdit durumundadır. EPI 2018 endeksine göre İsviçre 87.42 puanı birinci sırayı, Fransa 83.95 puan ile ikinci sırada, Danimarka 81.60 üçüncü sırada yer alırken, İran 58.16 puan ile 80. sırayı ve Türkiye 52.96 puan ile 108 sırada ve Burundi 27.43 ile 180. sırada son ülke olarak yer almaktadır (Environmental Performans Index EPI 2018)(Şekil 2.25).



Şekil 2.25. 2018 Çevresel Performans Endeksi (EPI 2018 Report)

2.8. İran’da Bir Politika Olarak Yeşil Çatı Sistemleri

Dünya genelinde hissedilen küresel iklim değişimleri ve çevre ile ilgili sorunlar istenilen düzeyde olmasa da bir bilincin oluşmasında etken olmuştur. Kentlerde sürdürülebilirliğe olan ilginin artması, yeşil çatı ve çatı bahçesi gibi çatı tasarımında yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu yaklaşımlar, tek başlarına yeterli olmamakta, bunun bir politika olarak desteklenerek, teşvik edilmesi gerekmektedir. Kentlerde yeşil alan olgusu, sosyal ve çevresel fonksiyonları ile finansal ve ekonomik yönleri göz önüne alındığında, devlet politikası, kent yönetimi ve kentlerin gelişiminde en önemli bileşenlerden biri olarak önemini göstermektedir.

Günümüz dünyası modernizm, teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve küreselleşme sonucunda önemli miktarda enerjiye gereksinim duymaktadır. Dünya genelinde enerji ihtiyacının önemli bir kısmı yenilemeyen enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu kaynakların aşırı kullanımı ise küresel ısınma ve iklim değişikliğini yaşamın odak noktasına yerleştirmiştir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği ekosistemin sürdürülebilirliği üzerinde baskı oluşturmaktadır. Çevresel sorunların çözümü ve sürdürülebilir bir çevrenin yeniden oluşturulması, korunması bağlamında gelişmiş ülkelerde politik önceliklerinden biri olurken, çevre ile ilgili standartlar ve teşvikler devlet eliyle geliştirilmektedir. Tüm bu politika ve standartların uygulanması; sosyal, çevresel vb. çeşitli sorunları çözmeye odaklanmıştır. Gelişmekte olan ülkelerdeki politika ve yönelimler çevresel sorunların çözümüne karşılık oluşturmaktadır. Yeşil çatılar ile yeni yeşil alanların çevreye kazandırılması amacıyla önerilen mevcut çatı yüzeylerinin yeşil yüzeylere dönüştürülmesi ve bunun devlet politikası ve teşvikler ile uygulanabilir olması; çevresel etkilerin azaltılması ve çevreye olumlu etkilerinin gelişmesine yaşanabilir alanların oluşmasına önemli katkılar sunabilir (Saligheh and Valizadeh 2011).

Gelişmiş ülkeler, uluslararası çevre antlaşmaları, politika ve standartları, toplumun çevre konusunda bilinçli ve hassasiyeti, mevcut yeşil alanların korunarak yenilerinin geliştirilmesi ve kazanılmasında gelişmekte olan ülkelerdeki politikalar ve uygulamalar dikkate alındığında daha bilinçli görünmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki politikaların kısa vadeli ekonomik çıkarlara dayalı olması, kent yönetimlerinin çevresel sorunların çözümü aşamasındaki isteksizlikleri ve denetimsizlikleri çevresel sorunların etkilerinin daha fazla görülmesine neden olmaktadır. Özellikle bu ülkelerde aktif rol üstlenen inşaat sektörü; maliyetleri düşürmek ve bina yapımında daha fazla kar elde etmek amacıyla yeşil alan yüzdelerini başka bir deyişle yeşil alanlara ayrılmış alanları bina altyapısına eklemektedir. Özellikle yüksek yoğunluklu kent merkezlerinde (bina ve trafik hacmi) nedeniyle yeşil alanlar, büyük ölçekli park ve yeşil doğal peyzajlı konut yapılarında yer alması imkânsızlaşmaktadır. Gelişmekte olan ülke kentlerindeki geçirimsiz asfalt kaplı yüzeyler ve plansız yapılaşma görünümü, yeşil yüzeylerin olumlu etkilerini kentsel alanlardan mahrum bırakmaktadır. Bu kentlerdeki yeşil alanların sınırlılığının aşılması için çözüm kentlerdeki mevcut bina çatılarının yeşil çatılara dönüştürülmesi yönünde politika ve teşviklerin sağlanması gerekmektedir (Nohorli, Abdullahi ve Valibeigi 2012).

Kentsel yeşil alanlar çevresel etkileri ve işlevleri açısından farklı rollere sahiptirler. Yeşil alanlar özellikle oksijen üretmek hava kirliliğinin azaltılması, yağmur suyu akışını dengelemesi, ısı adalarını etkilerini azaltması, yaşanabilir ve sağlıklı bir çevre sunması önemlidir. Mega kent olarak Tahran'ın coğrafi konumu, yüksek arazi değeri ve dikey büyüme yönelimi gibi nedenler, kişi başına düşen yeşil alan miktarı bakımından uluslararası standartların altındadır. Bu değerlerin olumlu seviyeye çekilebilmesi için kentteki mevcut çatıların yeşil çatı teknolojileri kullanılarak kentsel alana katılması etkili olacaktır. Ayrıca bu dönüşüm kent kaynaklı çevresel sorunların azaltılması ve dolayısıyla kentin yaşanabilirliği açısından önemli bir çözüm olarak görülmektedir (Schwartz, S. 2005; Asemani, Torabi, Najafi ve Asemani 2013).

Tahran gibi mega kentlerde sanayileşme, gelişme beraberinde nüfus ve yapılaşmanın artmasına, kentsel alandaki yeşil alan ve bahçelerin oluşturulması için açık ve uygun bir yer oluşturmasını engellemektedir. Bu yetersizlik ve sınırlamalar kentsel alanlarda daha fazla olması gereken yeşil alanlar ve bahçelerin kent merkezinden uzakta tasarlanmasına ve uygulanmasına neden olmaktadır. Bu açıdan bu alanların kullanılabilirliği ve kent merkezine etkileri sınırlı kalmaktadır (Asemani, Torabi, Najafi, Asemani 2013).

2.8.1. İranyapı sektöründe yeşil çatılar

Yapı sektörü, genel enerji tüketiminin % 40'ından, atmosferik emisyonların % 40'undan, hammadde kullanımının % 30'undan ve su kullanımının % 25'inden sorumludur. Bu bakımdan yapı sektörü, küresel enerji ve çevresel senaryolarda önemli bir role sahiptir. Yapı sektörünün kentlerin sürdürülebilirliği ve küresel etkileri için hayati bir katkı yapması gerekmektedir. Dünyanın dört bir yanındaki ülkeler aktif olarak sürdürülebilir binaların kent ve kent çevresine etkileri üzerinde durmaktadırlar. Bu bağlamda yapı çevresinde sürdürülebilirlik, binanın yaşam döngüsü boyunca çevresel olarak sorumlu ve

kaynak açısından verimli teknolojilerin kullanılmasını gerektirmektedir. Bir binanın sürdürülebilir bir çerçeveye sahip olması için atık, kirlilik ve çevresel bozulmanın azaltılması; enerji, su ve diğer kaynakların verimli kullanımı ve binanın yaşam döngüsü boyunca yolcunun sağlığının korunması özelliklerini barındırmalıdır. Yeşil çatı sistemi, binaların çevreye duyarlı ve destekleyici için kullanılan enerji verimli bir teknolojidir. Dünya genelinde çeşitli ülkelerinde, özellikle Avrupa'da, yeşil çatıların uygulanması oldukça geniş bir kullanımı bulurken, İran yapı sektöründe yeşil çatı teknolojisi geniş bir yayılım göstermeyen bir görünüme sahiptir. Yeşil çatı teknolojisinin Tahran mega kentinde hayata geçirilmesi ve kent genelinde yaygınlaşması, hava kalitesi, yeşil yaşam alan yaratması, kent ısı adası etkilerinin azaltılması ve binalar için yıllık enerji talebindeki azalmaya kadar devam eden önemli kazanımlara sahip olacaktır (Mahmoud, Asif, Hassanain vd. 2017).

Tahran genelinde yeşil çatılar, bina ve kent seviyesinde iç ve dış çevreyi geliştirmek için etkili bir çözüm olarak düşünülmektedir. Dolayısıyla geleneksel çatı yüzeylerine oranla, yeşil çatı yüzeyleri yağmur suyu yönetimi (Mentens, Raes, Hermy 2006; Fioretti, Palla, Lanza, Principi 2010), hava kirliliği ve gürültü azaltıcıdır (Van Renterghem, Botteldooren 2011). Yeşil çatılar, Tahran kentindeki bitkisel ve hayvansal biyoçeşitliliği artırırken (Schrader, Böning 2006) aynı zamanda karbon dioksiti fotosentez yoluyla oksijene dönüştürerek kentin karbon ayak izini de azaltıcı etkisi olacaktır (Feng, Meng, Zhang 2010). Yeşil çatılar, bir binanın ısı yalıtımını iyileştirir. Böylece güneş ısı kazancını yaz aylarında yaklaşık % 70-90 oranında azaltır ve kış aylarında ısı kaybını yaklaşık % 10-30 oranında azaltır (Mentens, Raes, Hermy 2006). Kentteki binalarda yeşil çatı sistemlerinin tesisinde, Tahran iklim koşulları, bitki türleri dikkate alınarak en maksimum faydayı sağlayacak sistem uygulanmalıdır (Morau, Ranaivoarisoa and Andriamamonjy 2018).

Tahran'daki kentsel arazinin yüksek katma değeri ve kent genelindeki uygunsuz dağılımı, kentsel alandaki yeşil alanın düşük kapsamı, hava kirliliği gibi birincil sorunların çözümü, yeşil çatı teknolojilerinin uygulanmasını kentsel yaşam kalitesini artırmak ve sürdürülebilir kentsel alanların kapasitesini artırmak için Tahran kenti için bir fırsat oluşturmaktadır. Yeşil çatı sistemlerinin potansiyel çevresel faydalarına rağmen, kent planlamasında yeterince yer bulamamakta ve kent genelinde sınırlı kalmaktadır. Tahran gibi kentleşme oranı yüksek kentlerde, kentsel yeşil alanın gelişmesi ve kent içindeki uygun dağılımının sınırlı olarak kalmasındaki etkenler; politika ve teşviklerle yeterince desteklenmemesidir. Bu durum yaşanabilir kentsel alanların önündeki önemli engel olarak karşılık bulmaktadır.

Kentleşme ile yaşanan değişim süreci çevresel sorunları ortaya çıkartmakta kent yaşam kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir. Kentsel alanların en büyük zorluklarından biri, İran gibi hızla kentleşip büyüyen ülkelerde kentsel yeşil alanın gelişmemesi ve farklı mahallelerde uygun dağılışındaki dengesizlikten kaynaklanmaktadır. Kentsel alanlar insanların toplu yaşam biçimlerini yönlendiren mekânlar, kentsel yeşil alanlar ise insanların aktif olarak rahatlama, dinlenme ve hoş vakit geçirmek amacıyla kullandığı yeşil alanlardır. Kentsel alanlarda yeşil alanların varlığı onun çevresinde bulunan konut ve taşınmaz

malların ekonomik değeri diğer alanlara oranla daha yüksektir. Yeşil alanların ekonomik değeri olmadığı yönündeki yanlış algı, piyasa güçleri tarafından kısa vadeli kullanım değişikliklerine yönetmekte ve bu alanları yapılaştırmaktadır. Oysa İran mimarlık tarihi incelendiğinde, yeşil alan kullanma konusunda zengin deneyime sahip olduğunu göstermektedir. Step iklim şartlarının hâkim olduğu bir bölge olarak İran tarihsel sürecinde her zaman yeşil alana büyük bir bağlılığı bulunmaktadır. Bu görüşü kanıtlayan en iyi örnek ise İran'ın kuzeyinde bulunan bölgedeki binaların çiçek ve sebze yetiştiriciliği için kullanılan alt çatının izdüşümünde düzenlenmiş güzel bir küçük kasaba olan Masooleh'de görülebilir (Lotfi 2012) (Şekil 2.26). İran'da tarihsel deneyime rağmen, İran'ın kentlerindeki kentleşme olgusu eşi benzeri görülmemiş bir şekilde büyüyerek gerçekleşmekte, modern kent görünümü ve sahip olduğu mimari geleneği önemsiz olduğu izlenimi vermektedir. Başkent Tahran'ın bazı bölgelerinde yeşil çatı geliştirmek için birkaç çaba bulunmasına rağmen, bu çabalar kentleşmeye paralel olarak artışı istenen seviyede gerçekleşmemektedir. Bunun yanında İran'ın zengin doğal gaz, petrol ve maden yataklarına sahip olması, binaların ısıtma ve soğutma maliyetlerinin düşük olması, yeşil çatı teknolojilerin uygulama maliyeti dikkate alınarak tercih edilmemektedir. Estetik ve görsel açıdan uygulanan projeler ve çabalar hariç yeşil çatıların kentsel alana yayılımı maliyet unsuru nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Politika ve teşviklerle gerekli ivmeyi yakalayamayan yeşil çatılar son yıllarda yoğun hava kirliliği çözümüne ve büyük kirletici partiküller ülkenin güneybatı bölgesindeki çöllerden kente olan akışını engelleyememektedir. Dolayısıyla Tahran gibi bir mega kent bünyesinde barındırdığı 14 milyonu aşan nüfusu ile çevresel sorunları ile yaşamaya devam etmektedir.



Şekil 2.26. İran'ın Masooleh köyünde geleneksel çatı bahçesi
<http://en.wikipedia.org/wiki/Masuleh>

Lotfi (2012), tarafından yapılan “gelişmekte olan ülkelerde kentsel yeşil çatı gelişiminin araştırılması (İran örneği çalışması)” çalışmada, İran'da kullanım ve kalkınma açısından yeşil çatısının ardındaki gerçek nedenleri belirlemek için

Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP) modeli ile gerçekleştirdiği araştırmada; İran'da yeşil çatı gelişiminin kentsel alanlardaki gelişiminin önündeki sınırlamaları; yatırım, yönetim ve politikalar, yasalar yönetmelikler, altyapı, teknik ve bilimsel, kültürel ve coğrafi olarak açıklamaktadır.

İran'da yeşil çatıların optimum stratejilerin etkinliğinin önündeki engeller ise şu şekildedir: Çevresel olarak vizyon eksikliği, düşük enerji kullanım maliyetleri, standartların eksikliği, yerel yeşil çatı endüstrisinin gelişmemesi ve yetersizliği, bu alandaki uygulamaların sınırlı olmasıdır. İran dolayısıyla Tahran'da bu sınırlılığın aşılması için küresel bir perspektife ihtiyaç duymakta, devlet inisiyatifinde özel sektörün katılımı sağlanmalı ve teşvik edilmesi gerekmektedir. Yeşil çatı teknolojinin avantajları ve kentsel çevreye etkilerini vurgulamak, yeşil çatı sistemlerini başarıyla kullanan önde gelen ülkelerdeki yeşil çatılarla ilgili başarılı deneyimlerin yerinde izlenmesi gerekmektedir.

Tahran kentsel alanda bulunan binaların yeşil çatılara dönüşmesi, yeni projelerde ister intensif ister eksentif veya semi intensif çatı sistemleri tercih edilmesi, bu sistemlerin Tahran kentine sağlayacağı büyük faydalar, yapılaşma sonucu doğaya verilen zararın, bitki ve küçük canlılar için alternatif bir yaşam alanları oluşturmanın adımı olacağı ve yapılaşma ilgili sorunları çözümüne katkı sunacağıdır. Bu tezin örnek uygulama projesi olarak gerçekleşen proje, ilk bakışta projenin bulunduğu yerleşim yerinde yükselerek yeşil çatı sistemlerinin kentteki diğer binalara da örnek oluşturması hedeflenmiştir.

Uygulama projesi ile gerçekleştirilen intensif yeşil çatı sistemi ekolojik ve doğal dengeyi sağlayabilmek adına kente verilen desteğin somut kanıtıdır. İntensif yeşil çatı uygulaması proje ile hedeflenen ve elde edilen kazanımlar ise; estetik ve görsel değeri, ısıtma soğutma dengesine olan katkısı ve dolayısı ile enerji verimliliği, yağmur suyu kontrol ederek drenaj sağlaması, ısı ve ses yalıtımı sağlaması, ısı ve nem oranını dengeleyerek mikro bazda hava kalitesine katkısı, ekosisteme katkısı ile bitki ve canlılar için doğal yaşam alanı oluşturması, sıcak Tahran ikliminde sıcak havanın yapının içine sızmasını engelleyerek yaşam konforu sağlaması olarak sıralanabilir.

Abbas Abad Aveneü Nahid İntensif çatı sistemi projesinin projelendirme ve uygulama aşamasında dikkatle durulan unsurlar şu şekildedir:

Statik: Proje İntensif yeşil çatı sistemi uygulanacağından çatı/terasın taşıma kapasitesi dikkate alınmıştır. İntensif yeşil çatı sisteminin toprak ve bitki dâhil ağırlığı hesaplanmış, ayrıca çatı/teras ulaşılabilir olduğundan bu yükte hesaplanmıştır.

Kök Tutma Özelliği: Projede kök tutma özelliği dikkate alınarak bitüm esaslı kök tutma özelliğine sahip su yalıtım membranları bulunmaktadır.

Su Tahliyesi: Yeşil çatı sistemine sahip yapılarda yağmur suyu depolanmakta ve geciktirmeli olarak giderlere yönlendirilmektedir. Projede giderlerin kolay ulaşılabilir olması ve kesinlikle kapatılmamasına özel önem verilmiştir.

Eğim: İntensif yeşil çatı sisteminin uygulandığı projede 1-3° eğimlidir. Bu eğim ideal seviyeye yakındır. İntensif yeşil çatı sistemleri, eğimsiz yüzeylerde de problemsiz bir şekilde kullanılabilir.

Bakım: Projede uygulanan intensif yeşil çatı sistemi düzenli bakımı gerekmektedir. Bitkilendirmede Sedum türü, çalı ve ağaç kullanılmıştır. Sedum türü bitkiler sulama ihtiyaçları az olduğundan, düzenli bakım ve sulama yeşil çatının uzun ömürlüğü olmasını sağlayacaktır.

Abbas Abad Avenue Nahid İntensif çatı sistemi projesinin hem doğal yaşam alanı olmasının yanında erişilebilir olması, projenin her bakımdan bir yaşam alanı, konfor alanı olarak ön plana çıkartmaktadır. Çatı/terasın açık yüzeyleri geridönüşümlü, doğal malzemeler kullanılarak yürüme alanı, oturma alanın doğayla uyumluluğu sağlanmıştır. Çatı/terastaki bağlantı yükseklikleri bitki, çakıl ve doğal malzemelerin yükseklikleri yalıtım ürünlerinin bağlantısı için alt sınır olarak kabul edilmiştir. Parapet gibi sınırların olmadığı geçişlerde ortam şartlarına uygun planlama yapılarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

“Abbas Abad Avenue Nahid Projesi” İntensif çatı sistemleri teknolojisi; Tahran’da yoğun yapılaşma ile yayılım göstermesi yeni açık alanların sınırlı olması, mevcut binaların atıl olan çatı alanlarında yeşil çatı sistemlerinin uygulanması ve yaygınlaşması, kentteki yapıların yoğun enerji tüketimini dengeleyerek, yoğun enerji tüketiminden kaynaklanan kirleticilerin kente ve çevresine daha fazla olumsuz etkileri azalarak, kent mikro iklimine, hava ve yaşam kalitesinesağlamaya yönelik etkin bir rol üstlenecektir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Metod

Çevre ve korunması ile ilgili yapılan tüm çalışmalar ve uygulamalarda temel amaç; gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmaktır. Yeşil çatı sistemleri ekolojik çeşitliliğin korunması, yapılaşma ile kaybedilen alanların oluşturduğu altyapı sorunların çözümüne katkısı, kent ısı adası oluşumunu azaltması, enerji etkin binaların oluşumunda etkili ve destekleyici çözüm olarak yaygın hale gelmektedir. Kentlerdeki binalar ile enerji kaynakları arasında sıkı bir bağ vardır. Binalar, yoğun enerji tüketen ve bu tüketime bağlı olarak çevreye önemli ölçüde olumsuz etkileri olan yapılar olduğu konu ile ilgili yapılan çalışmalarla vurgulanmaktadır. Bu amaçla binalarda enerji verimliliği ve çevresel etkilerinin azaltılması, doğa ve yaşama özgün çözümlerden birisi de bitkilendirilmiş çatılardır. Yeşil çatı sistemlerinin binalarda ısıtma ve soğutma dengesi sağlayarak enerji verimliliğine olumlu etkileri bulunmaktadır.

Bu tez çalışması, yeşil çatı sistemlerinin enerji verimliliğine etkisinin ölçülmesi amacıyla Tahran'da 2013-2014 yılları arasında tamamlanan mevcut bir uygulama projesi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, çalışmanın temelini oluşturan kavramlar, tanımlar; ulusal ve uluslararası literatürde günümüze kadar yapılan araştırmalar, araştırmaların sayısal girdileri makaleler, kütüphane kaynakları, yüksek lisans, doktora ve internet verilerinden yararlanılmıştır. Çalışmanın uygulama bölümünü Abbas Abad Aveneuh Nahid projesi intensif çatı sistemiproje uygulamasından elde edilen bilgiler ve veriler üzerinden yapılan analiz ve değerlendirmeler oluşturmaktadır.

Bu tezde, alanın bölgesel ve iklimsel özellikleri dikkate alınarak, yeşil çatıların termal hidrodinamik ve koruyucu özellikleri ile ayrıcalıklı yararlar sağlayacağı ve her bir metrekaresinin insan yaşamı, habitat ve çevresel olumlu etkileri açısından önemi belirtilmiştir. Projenin uygulama alanı toplam 105 m² çatı yüzeyli ve kullanıcı yoğunluğu 0,11 kişi/m²'dir (Şekil 3.1). Çalışmanın geçerlilik ve güvenilirliği sağlamak için yapılan sıcaklık ölçümleri bitkilendirilmeyen yüzey (45 m²referans alan) ve bitkilendirilmiş yüzey (60 m²) gerçekleştirilmiştir. Uygulama öncesi çatı yüzey sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Referans çatı yüzeyi ile bitkilendirilmiş yüzeyler arasında sıcaklık farklılıklarının olup olmadığını tespit etmek amacı ile proje tamamlandıktan sonra referans yüzeyi ve bitkilendirilen çatı yüzeyi sıcaklık ölçümleri belirli periyotlarda tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Proje başlangıç aşamasından bitim aşamasına kadar gerçekleştirilen tüm uygulamalar detaylandırılmış, uygulamaların başlangıç ve bitimi arasındaki ilerlemeler görüntülenerek değerlendirilmiştir. Projenin ilk aşamasında AutoCad programında çizimi ve 3D modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda uygulama ile ilgili bilgiler; detaylar ve yapım süreci; Saze Sadr İnşaat firmasından elde edilmiştir. Saze Sadr İnşaat İran'da yapı ve yeşil çatı sistemleri konusunda önde gelen İran İnşaat Mühendisleri Odası'na kayıtlı bir firmadır. Firmanın tercih edilmesindeki etken ise; yeşil çatı sistemlerinin son on yılda Tahran'da uygulandığı projeler, uzun süredir aktif olarak kullanılan ve sektör içerisinde sisteme en erken adapte olması nedeni ile seçilmiştir. Çalışmanın konusu olan

uygulama ile ilgili detaylar, firmanın yetkili profesyonellerinin görüşleri, bilgileri ve dokümanları ile bulgular yorumlanmıştır.



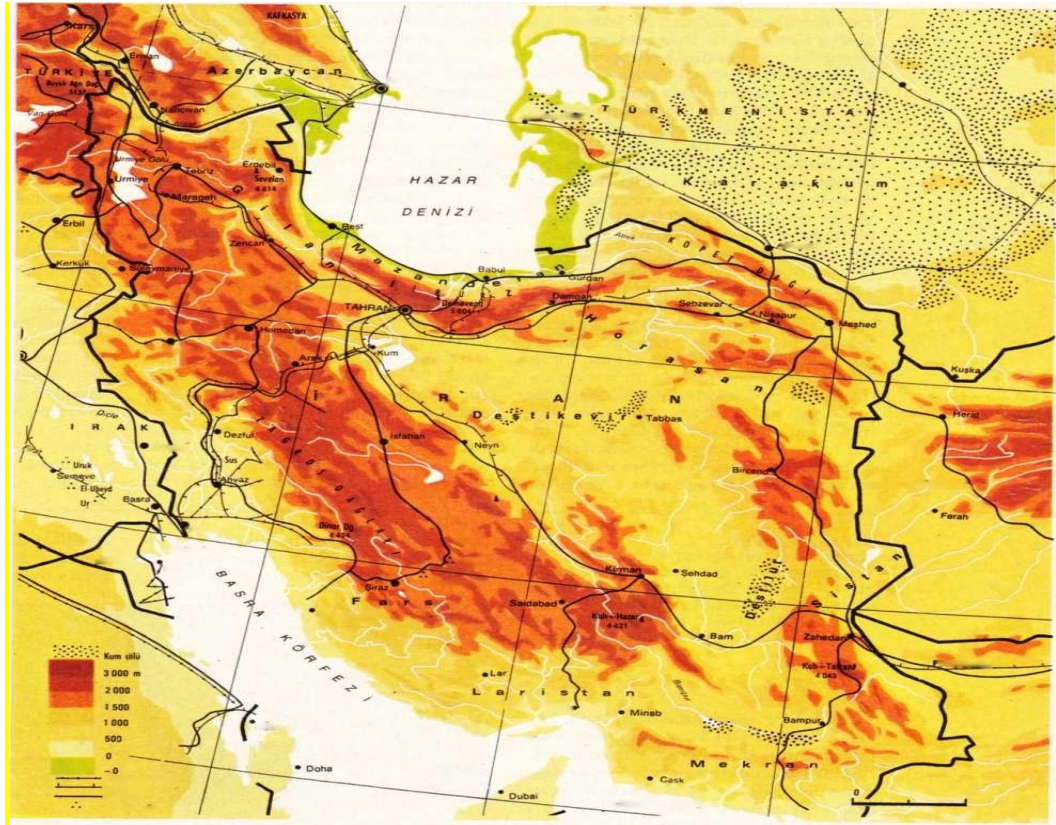
Şekil 3.1. Abbas Abad Avenu Nahid Projesi İntensif çatı sistemi projesi AutoCad çizimi

Step iklim koşullarının hakim olduğu Tahran'daki örnek uygulama binaya ait dinamik koşullarda bina performansını analiz edilmiştir. Bu amaçla; yeşil çatının bileşenlerinin detayları verilerek, yeşil çatı projesi enerji dengesi açısından değerlendirilerek proje ekolojik, ekonomik ve sosyal açıdan etkileri, politikalar ve teşvikler ile ön plana çıkan noktalar bağlamında ortaya konulmuştur. Ayrıca; teknolojik gelişmelerin binaların çatı alanlarında kullanımı ve yapım süreci bir disiplin doğrultusunda ele alınarak değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen uygulama projesiyle binanın enerji verimliliği, bina kaynaklı kirleticilerin bina çevresi ve kente olan etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla; kullanılan enerji miktarına ait veriler elde edilerek binada kullanılan enerjiden ne kadar tasarruf yapıldığı ölçülmüştür. Bu tez kapsamında ele alınan projenin değerlendirilmesinde öncelikle Tahran genelinde binaların kullandığı enerji türleri tespit edilmiştir. Buradan elde edilen verileri yeşil çatı uygulamalarına etkileri, devlet politikaları ve teşvikler üzerinde durularak birbirleri arasındaki ilişkiler yorumlanarak değerlendirilmiştir.

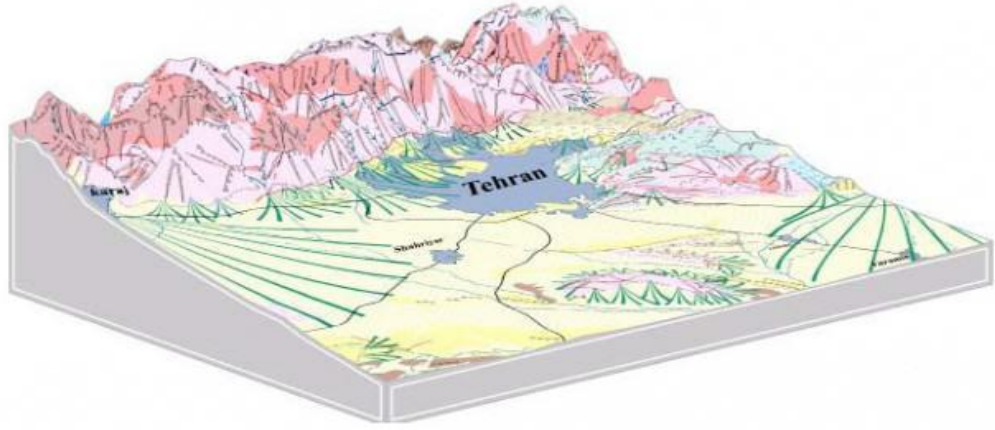
Çalışma dünya genelinde görünür olarak sıklıkla etkileri ortaya çıkmakta olan ve yıkıcı etkileri yaşanır hale gelen küresel ısınma, iklim değişikliği ve doğal sistemdeki bozulmaların kent kaynaklı kirleticiler ve yapılar perspektifinden ortaya konulmaya çalışılmıştır. Günümüzde gerek akademik camiada gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından tartışılan, acil çözüm bekleyen kent kaynaklı çevresel sorunlara bir çözüm önerisi olarak sunulan yeşil çatı sistemleridir. Bu tez çalışmasının Tahran'daki mevcut bir uygulama örneği üzerinden gerçekleştirilmesi; bu uygulama ile elde edilen bilgiler ve veriler analiz edilerek belirli bir kurgu içerisinde sentezlenmiştir. Yapılan bu tez çalışması; yapım yönetim literatürüne yeni yapılacak benzer çalışmalara katkı sağlayıcı nitelikte olduğu düşünülmektedir.

3.1.1. Tahran'ın coğrafi ve fiziki özellikleri

Tahran, 13 (2017) milyonu aşan anakent nüfusuyla İran'ın en büyük kenti ve Başkenti'dir. Anakent nüfusunun dağılımı %86.85 ile kentlerde, %13,5 ise kırsal alanlarda yaşamaktadır. Tahran; 35.69°K 51.42°D enlem ve boylamda, 1178 m rakımlı, Hazar Denizi'ne uzaklığı 100 km olan kentin, deniz ve nehir kıyısı ile herhangi bir bağlantısı bulunmamaktadır. Kent, İran platosunun kuzeyinden Mazenderan, doğusundan Semnan, güneyinden Kum ve batısından Elbruz ile Merkezi eyaletleri ile çevrili, 2700-3900 metre yüksekliğindeki Albarz dağının güney eteklerinde 1274 km² alan üzerinde kuruludur (Golmehri 2008) (Şekil 3.2, Şekil 3.3).

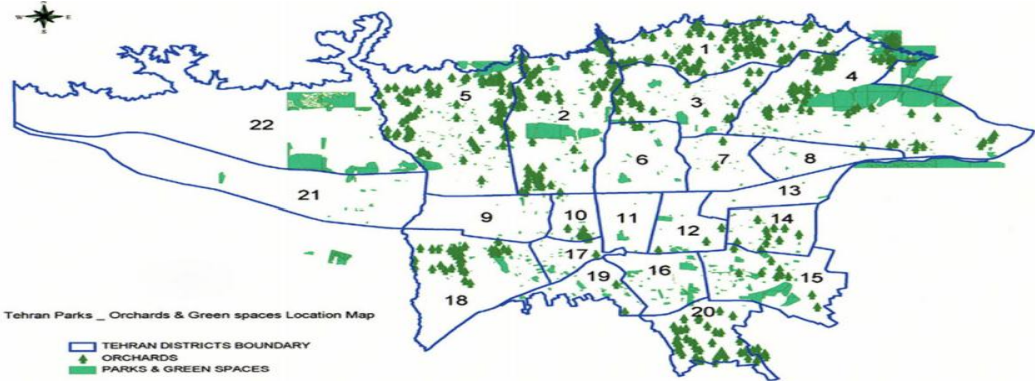


Şekil 3.2. Tahran Coğrafi Konumu gösteren harita (Eskandari, vd. 2016)



Şekil 3.3.Tahran'ın Jeomorfolojisi (atlas.tehran.ir)

Kent, güneyden kuzeye doğru rakım; alçak bölgelerde 900 metreden 1800 metreye doğru yükselir. Bu yükseklik farkı havadaki farklılıklarına uygun bitki örtüsüne ve kuzeydeki güzel kırsal bölgelerin oluşmasına neden olmaktadır. Güneyden kuzeye doğru hareket ettikçe, doğal çevre koşullarında, mülk değerinde, hizmetlere erişimde ve sosyal koşullarda birçok farklılık bulunmaktadır (Samiei 2018).



Şekil 3.4. Tahran parkları, meyve bahçeleri ve yeşil alanların konum haritası (Asadi 2005)

Kentte, kişi başına düşen yeşil alan miktarı $6,5 \text{ m}^2$ 'dir. Bu rakam, kentteki çevresel zorlukların ne ölçüde olduğunu ve bu zorlukların kentsel alandaki parkların ve yeşil alanların yetersizliğini açıkça göstermektedir. Bu sınırlama ve yeşil alanların yetersizliği; kentte, hava kirliliği ve diğer çevre sorunlarının yoğunluğunu, çevresel çözümlerin aciliyetini önemli hale getirmektedir. Şekil 3.4'te Tahran genelindeki mevcut parkların, meyve bahçelerinin ve yeşil alanların dağılımı gösterilmektedir. Bu konum haritasından da görüleceği gibi, parkların ve yeşil alanların kent ölçeğinde oldukça düşük bir yüzdeye sahip oluşudur (Asadi 2005).

3.1.2. Çalışma alanı ve fiziki özellikleri

Tahran, herhangi bir deniz veya nehir kıyısı bulunmayan nadir başkentlerden biridir. Tahran; 700 km² yüzölçümüne sahip, 230 mm yağışla dört mevsimin yaşandığı, kuzeyden doğuya, dağlarla çevrilidir. Tez kapsamında araştırma alanı olarak seçilen bölge, Tahran'ın kuzeydoğu bölgesinde olup harita ve uydu fotoğrafları Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Çalışma alanındaki binanın konumunu gösterir uydu haritası (Beheshti St. Tahran İran <https://maps.app.goo.gl/NCPwq>)

Tahran'da nüfus artışı ve sanayileşme konut ve endüstri, yapılaşmayı tetiklemekte ve dolayısıyla mevcut yeşil alanlar ve kent çevresindeki alanları kentsel alana dâhil ederek su geçirimsiz yüzeylere dönüştürülmektedir. Bu dönüşüm kenti sürdürülemez bir hava kirliliği ve çevre sorunlarıyla karşı karşıya bırakmıştır (Kalantari 2005).

Mega bir kent olarak Tahran; nüfus, yapılaşma ve sanayileşme gelişmeler; kentsel alanlarda yeşil alanlar için açık, uygun yer belirleme ve uygulama oranı düşürmektedir. Genellikle yeşil alanlar kent merkezinden uzakta tasarlandığından, bu alanların kent merkezine ve çevresine etkileri sınırlı kalmaktadır. Step iklimin hâkim sürdüğü kent, yeşil alanlar açısından sınırdır. Kentleşme ve sanayileşmenin gelişmesiyle birlikte kentsel sorunlar her geçen gün daha kötüye gitmektedir. Tahran ile ilgili en önemli kentsel sorun hava kirliliğidir.

Hava kirliliği; mega kentlerdeki çarpık kentleşme, kentlerin topografik yapısı, atmosferik şartlar (inversiyon) ve meteorolojik parametreler (rüzgâr hızı vb.), bina ve nüfus yoğunluğu gibi etkenler de özellikle kış aylarında kirliliğin artmasına katkıda bulunmaktadır. Tahran'daki hava kirliliğinde en önemli etkenler; madenler, fabrikalar, binalar, kent içi trafiğinde 5 milyonu aşan aracın %90'ı yüksek oktanlı benzinle çalışan yerli üretim araç kaynaklıdır. Tahran, büyüme ve enerji ihtiyacı doğrultusunda doğal kaynaklarını yoğun bir şekilde kullanmaktadır. İran'ın temel enerji ihtiyacını kendi kaynakları açısından zengin olan fosil yakıtlardan karşılamaktadır (Çakır 2017).

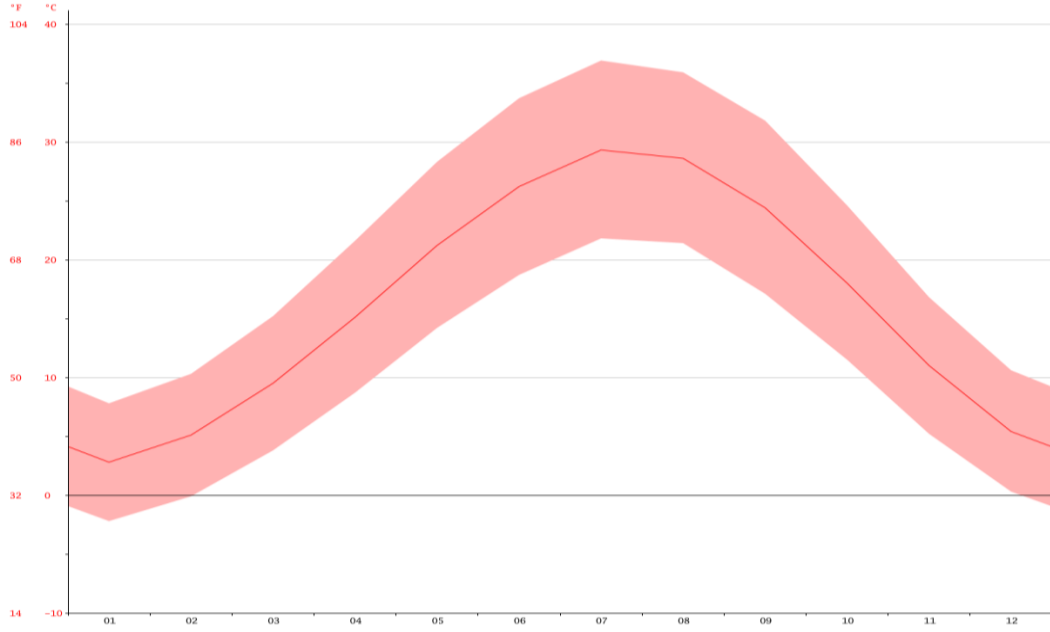


Şekil 3.6. Tahran İran'ın başkenti

Tahran bir mega kent olarak; kentleşme, sanayileşme, ısıtma-soğutma, ve ulaşım amacıyla yoğun olarak tüketilmesi, çevresel sorunların temel kaynağı olarak sayılabilir. 2016 yılında yayınlanan verilere göre; Tahran, havadaki en ince ve zararlı partikül PM₂₅ seviyesinin m³ başına 160 mikrogramla sağlıksız seviyededir. Bu seviye Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği 24 saat içinde 25 mikrogramlık seviyenin çok üzerindedir (Çakır 2017).

3.1.3. Çalışma alanı iklimsel veriler

Tahran, ılıman iklim kuşağı ile subtropikal iklim kuşağı arasında yer almaktadır. Tahran kentinin güney bölgelerindeki iklimi sıcak ve kurak, ancak kentin kuzeyinde kalan dağlık bölgelerde soğuk ve yarı nemli, yüksek bölgelerde ise uzun kışları soğuk geçmektedir. Kentin güneyde yarı kurak, step iklimi, kuzeyde ise dağ iklimi hâkimdir. Kentte ılıman kışlar ve sıcak yazlar görülmektedir. Yılın en sıcak günleri Temmuz 15'ten Eylül 15'e kadar sürmekte ve sıcaklık Temmuz ve Ağustos aylarında 28-36°C arasındadır. En soğuk aylar Aralık-Ocak ve sıcaklık ortalaması 1°C, tespit edilen en düşük sıcaklık -15°C'dir. Genel olarak Tahran iklimi kışları soğuk, yazları sıcaktır. Yıllık ortalama yağış miktarı kış mevsiminde 200-220 mm'dir (<http://www.tehran.ir>; Masoomzadeh, Rahmani ve Jafari 2017; Eskandari, Bori, Khosravi, vd. 2016). Tahran bu coğrafi ve iklim koşullarına göre normalde yeşil alanları sınırlı bir kent olarak kabul edilir. Kent; aşırı nüfus, kentleşme ve sanayinin gelişimi fosil yakıtların aşırı derecede kullanılması beraberinde hava kirliliği ciddi boyutlara gelmesi gelişmesi ile kentin durumu her geçen gün daha da kötüleşmektedir (Pouya 2017) (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Tahran Sıcaklık Grafiği <https://tr.climate-data.org/asya/iran-66/>

29.3°C sıcaklıkla Temmuz ayı yılın en sıcak ayıdır. Ocak ayında ortalama sıcaklık 2.8°C olup yılın en düşük ortalamasıdır. Tahran'da 1 mm yağışla Temmuz yılın en kurak ayıdır. Ortalama 36 gün yağış miktarıyla en fazla yağış kış aylarında görülmektedir (Şekil 3.8).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (°C)	2.8	5.1	9.5	15.1	21.2	26.2	29.3	28.6	24.4	18	11	5.4
Min. Sıcaklık (°C)	-2.2	-0.1	3.8	8.7	14.2	18.7	21.8	21.4	17.1	11.5	5.2	0.3
Max. Sıcaklık (°C)	7.8	10.3	15.2	21.6	28.3	33.7	36.9	35.9	31.8	24.6	16.8	10.6
Yağış / Yağış miktarı (mm)	36	30	36	27	16	4	1	2	3	14	21	30

Şekil 3.8. Tahran aylara göre iklim tablosu

Yılın en kurak ve en yağışlı ayı arasındaki yağış miktarı: 35 mm, yıl boyunca ortalama sıcaklık 26.5°C dolaylarında değişim göstermektedir (Şekil 3.8).

3.1.4. Veri toplama ve değerlendirme

Veri toplama aracı olarak, bina yapımını üstlenen inşaat firmasından elde edilen bilgi ve belgelerdir. Uygulamadaki ölçümler bitkilendirilen çatı yüzeyi ile bitkilendirilmemiş referans yüzeyden elde edilmiştir. Bitkilendirilmiş çatı

yüzeyinden elde edilen ölçümler karşılaştırmalı sonuçlar elde edebilmek amacıyla referans yüzeyden elde edilen ölçümlerle karşılaştırılmış, literatürdeki benzer çalışmalarda yapılan uygulamalarda dikkate alınarak kıyaslanmıştır. Böylelikle yeşil çatı sisteminin çevresine ve yapının iç ortamına olan etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yeşil çatı sisteminin üzerinde bulunduğu bina ve çevresiyle olan sıcaklık ilişkileri, bu sistemlerin kentsel ölçekteki katkılarının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Çatı sistemlerinin yüzeyinde oluşan sıcaklık, çatı sistemlerinin alt katmanlarındaki sıcaklık değerlerini de etkilemektedir. Çatı sistemlerinin yalıtım özellikleri ve yapısal katmanlardaki sıcaklık dağılımları bu kapsamda incelenmiş, çevresel etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde Tahran'da yapılan bir uygulama sonucunda elde edilen bulgular, tartışılarak değerlendirilmiştir.

Kent genelindeki geleneksel çatılar, bina kaynaklı çevresel etkilerin azaltılması, enerji dengesi ve verimliliği için bitkilendirilmiş çatılara dönüştürülmesi kentin ihtiyacı olan yeşil alanlar bakımından önemli alanlar olarak kent için bir fırsattır. Tahran yeşil bir kent olmadığı gibi, hava kirliliği oranı en yüksek kentler arasında sayılmaktadır. Kent nüfusundaki hızlı artış ve sanayinin gelişmesi bu durumu daha da kötüleştirmektedir (Pouya 2017).

4.1. Neden İntensif Çatı

İntensif yeşil çatılar kentleşme ve sanayileşme ile atmosferin sınır tabakasındaki ısı su döngüsünü etkilemekte ve kent mikroiklimini kırsal alandan farklılaştırarak, kent ısı adası etkisini oluşturmaktadır. İntensif yeşil çatı sistemi; bitki taşıyıcı katmanının gösterdiği ısı depolama özelliği ile özellikle yaz aylarında yüzeyindeki bitki katmanı sayesinde azalmış olan ısı yükü iç ortama geçirimi daha az gerçekleştirmekte; kış aylarında ise ısı miktarının iç ortamdan dış ortama gerçekleşen ısı transferini azaltarak, binalarda ısıtma ve soğutma içintüketilen enerji miktarını azalmaktadır.

Yoğun yeşil çatıların bakımı çatıda kullanılan bitkileri çeşit ve sayısına bağlıdır. Örneğin basit bir çim, yaz boyunca düzenli çim biçme ve sulamaya ihtiyaç duyarken, bol miktarda ağaç ve çalının bulunduğu yeşil bir çatı da ise bitki örtüsünün sulama ve bakım gerektirebilir. Bu tür yoğun yeşil çatılar daha derin topraklara sahip olduğundan, seyrek yeşil çatılardan daha ağır ve binaya olan yükü daha fazladır. Bu nedenle, çok daha güçlü bir çatı konstrüksiyonu üzerine kurulmaları gerekir. Yeşil çatı tasarımı, çatının yapısal formu ve yük taşıma kapasitesine bağlı olarak kullanılacak yeşil çatı sisteminin intensif veya eksentif olarak belirlenmelidir. Yeşil çatı sistemi ve bitki türleri bölgesel iklim özelliklerine belirlenir. Yeşil çatı tasarımı, mimari kararlarla başlar, statik hesapla filizlenir, inşaat uygulama ile şekillenir ve su yalıtımı, ısı yalıtımı, kök bariyeri, drenaj, filtre keçe, dikim toprağı, bitki örtüsü ve sulama sistemi ile tamamlanır.

Bina, çevre ve enerji ilişkileri göz önüne alındığında binalarda enerji kullanımı en fazla bina iklimlendirmesi için kullanılmaktadır. Kış aylarında ısıtma, yaz aylarında soğutma için ciddi anlamda enerji tüketilmektedir. Günümüzde artan çevre bilinci, enerji verimliliği, yenilenebilir enerjilere olan duyarlılık, çağdaş insana rahat ve sağlıklı yaşam koşulları sağlamanın bir yolu olarak yeşil alanların artışında yeşil alan çatı uygulamaları enerji verimliliği ve sürdürülebilir çevre için önemli sistemler olarak dikkat çekmektedir. Step iklimine sahip Tahran'da enerji tüketimini azaltarak binalarda enerji verimliliğini arttırmak için bir çözüm önerisi olarak sunulan yeşil çatı sistemi ve çatı bahçesi uygulamasına yer verilmiştir.

4.2. Uygulama

Yeşil çatılar, yapılı çevrenin / yeşil alanın dengesini düzenleme olanağı sağlarken, aynı zamanda sıcak havalarda soğutmayı buharlaştırarak ve soğuk havalarda yalıtım katmanı olarak çalışarak binanın ısı performansını arttırmaktadır. Yeşil çatılar, binalardaki yalıtım katmanına kısmen veya tamamen kaplanan bir çatı kaplama sistemidir. Genel olarak yeşil çatılar, binaların çatılarını izole ederek enerji verimliliğine katkıda bulunurken, şehir, ısı adalarının azaltılması ve yağmur suyunun tekrar kullanılması gibi çevresel faydalar sunmaktadır (Dino ve Meral 2016).

Abbas Abad Avenue Nahid intensif yeşil çatı projesi Saze Sadr inşaat firması tarafından 2013 yılında başlanarak 2014 yılında tamamlanmıştır. Proje yerleşim alanlarının yoğun olduğu Beheshti Caddesinde konut kullanım amaçlı 5 normal kat ve çatı katı olarak mimar Sanaz Ghaem Maghami tarafından projelendirilmiştir. Projede öne çıkan detay çatı katının intensif çatı olarak projelendirilmesi binanın çevresindeki binalara göre ön plana çıkartmaktadır. İntensif çatı yüzeyi 105 m² olarak projelendirilmiştir. Proje çok Sedum türleri, çok yıllık bitkiler, mevsim çiçekleri, kuraklığa dayanıklı bitkiler ve ağaçlar kullanılmıştır.

Projenin genel detayları şu şekildedir: Bitki yetiştirme katmanının toprak derinliği 20-50 cm olarak belirlenmiş, sulama ve bakım gerektirmektedir. Sınırlı bakım maliyeti 1,5-2\$/m²/yıldır. Projenin sağladığı avantajlar; rekreasyon, oturma ve yürüyüş alanı, hava kalitesi, ortamda toz ve partiküllerin daha az olması, daha fazla yağmur suyu tutma kapasitesi ve enerji verimliliği, estetik ve görsel olarak etkileyici düzenlemeler, yüksek bitki çeşitliliği ve habitat sağlaması, iyi yalıtım özellikleri ile doğal bir yaşam alanı sağlamaktadır. Projenin dezavantajları ise bakım ve maliyetli olması, çatıya yük getirmesi (300-400/km²), sulama ve drenaj sistemleri için enerji, su ve malzeme gerektirmesi olarak sayılabilir. Binanın çeşitli açılardan görüntüsü Şekil 4.1'de görülmektedir. Bina çevresindeki diğer çatı alanların atıl olduğu, diğer binalara göre görsel ve estetik açıdan emsal olduğu söylenebilir.



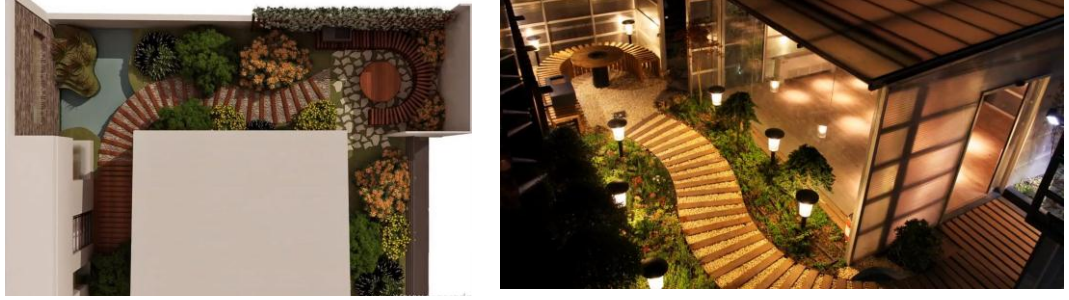
Şekil 4.1. Abbas Abad Avenu Nahid Projesi

Abbas Abad Avenu Nahid intensif yeşil çatı projesi özelliklerinin ayrıntıları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Abbas Abad Avenue Nahid intensif yeşil çatı projesi özellikleri

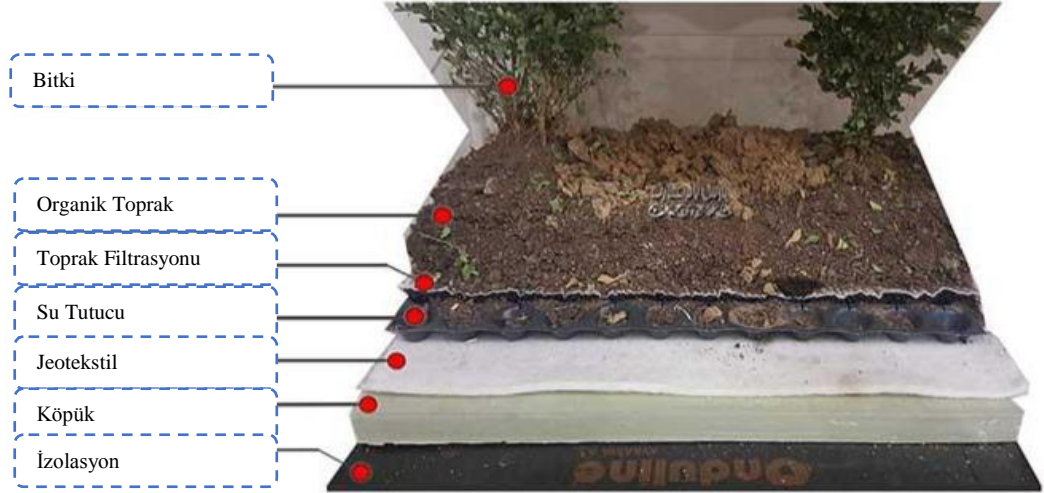
Proje Adı	Abbas Abad Avenue Nahid Project Roof Garden
İnşaat Firması	Saze Sadr
İnşaat Yılı	2013
Yer	Tahran/İran
Projenin Teknik Ekibi	
Mimar	Sanaz Ghaem Maghami
Bina Özellikleri	
İnşaat Tipi	Apartman
Bina Katları	6
Çatı Bahçe Analizi	
Çatı Tipi	Yeşil Çatı/Çatı Bahçesi
Yeşil Çatı Alanı	105 m ²
Yeşil Çatı Katı	Çatı katı
Çatı Eğimi	%1-3
Yeşil Çatı Tipi	Intensive Planting/Yoğun Dikim, Koruma Membranı SSM, Stabilodrain SD ₃ O, Filtre Kağıdı TG,
Yeşil Çatı Kullanımı	Kullanılabilir
Yeşil Çatı Ulaşılabilirliği	Ulaşılabilir
Projede Kullanılan Bitkiler	<ul style="list-style-type: none"> • Sedum türleri • Çok yıllık bitkiler • Mevsim Çiçekleri • Kuraklığa dayanıklı bitkiler • Ağaçlar
Olası Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> • Şehirdeki atık su miktarını azaltımına katkı sağlar. • Daha az tozlu ortamlar yaratır. • Ortamdaki gürültüyü azaltır. • Çatının ısı yalıtımını artırır. • Su verimliliğini sağlar • Estetik yönleri sağlar.
İklim Özellikleri	Tipik bir step (bozkır) iklimi: Kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise sıcak ve kurak.

Yeşil çatılar, yapılı çevre/yeşil alan dengesini düzenlemek için bir fırsat oluşturmakta, aynı zamanda sıcak havalarda buharlaşmalı soğutma yaparak ve soğuk havalarda yalıtım katmanı gibi çalışarak bina ısıl performansını artırmaktadır. Yeşil çatılar, binalarda yalıtım katmanı üzerine yerleştirilmiş, kısmi veya tamamen bitlendirilerek oluşturulansistemdir. Genel olarak yeşil çatılar, bina çatılarında yalıtım etkisi göstererek enerji verimliliğine katkıda bulunurken, kent ısı adalarının azaltılması ve yağmur suyunun yeniden kullanılması gibi çevresel faydalar sunmaktadır (Dino ve Meral 2016).



Şekil 4.2. Abbas Abad Avenu Nahid intensif yeşil çatı projesi 3D modelleme ve 3D görseli

Abbas Abad Avenu Nahid intensif yeşil çatı projesinde; yeşil çatı yüzeyi ve normal çatı yüzeyi ısı transferi periyodik ölçümler yapılarak ısı dağılımları verileri dikkate alındığında gündüz yapılan ölçümlerde bitkilendirilen çatı yüzeyinin sıcaklığı 17.1 °C, normal çatı boşluğu sıcaklığı 32 °C ortalama sıcaklık 18.4 °C olarak ölçülmüştür. Gece yapılan ölçümlerde bitkilendirilen çatı yüzeyinin sıcaklığı 4.7 °C, Normal çatı boşluğu sıcaklığı 0.2 °C, ortalama sıcaklık ise 0°C olarak tespit edilmiştir. Projede ısı yalıtım katmanının bulunması, çatı yüzeyinden çatı altındaki yapıya ısı transferini azaltmasına katkıda bulunarak; yaz aylarında çatı alanını soğutmaya ve kış aylarında yapı içerisindeki sıcaklığı koruyarak dengelemektedir. Abbas Abad Avenu Nahid intensif çatı projesi sisteminin katmanları oluşturulmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Abbas Abad Avenu Nahid Projesi intensif yeşil çatı uygulamasının bileşenleri

Abbas Abad Avenu Nahid intensif çatı projesi yeşil çatı uygulaması proje aşamasında yoğun bitkilendirilmiş çatılarda, sistemin çatıya verdiği yük 300-400kg/m² olduğundan, statik sistem bu yüke dayanacak şekilde oluşturularak, bakım ve sulama, aktiviteler mekanik etkiler göz önüne alınmıştır.

4.2.1. Su yalıtımı

Her bir yeşil çatı sistemi yeni bir yaşam alanıdır. Yeşil çatılar su yalıtım membranı ve ısı yalıtım plakası izolasyonu doğal biçimde aşırı yağmur gibi doğal

etkenlerden çatı, binayı koruyarak yapının verimliliğini artırır. Yeşil çatılarda gerçekleştirilen izolasyon çatı yüzeyini sıcak veya soğuk havalarda aşırı derecede ısınmasını ve soğumasını dengeleyerek enerji verimliliğini sağlar. Derz ve süzgeçlerin su yalıtımı ve konik deliklere su yalıtımlı dolgu gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Abbas Abad Avenu Nahid intensif yeşil çatı projesi çatı yalıtımının ana parçaları

Yeşil çatı sisteminin en önemli ön şartı, iyi bir su yalıtımı ve yeterli taşıyıcılığı olan çatı konstrüksiyonudur. Su yalıtımı; çatı yüzeyini nemden ve sudan korumak için oluşturulan su geçirmez su tabakasıdır. Projede “Su Yalıtım Membranı” kullanılarak su izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yeşil çatının ilk katı su yalıtımı için su geçirmez katmandır. Bu katman su kaçaklarını önlemek için bir plastik tabaka yalıtım ve benzeri yüzeylerde su geçirmez membran yerleştirilir. Uygulama öncesi yüzeyde bulunabilecek toz, kir, çapak, yağ, harç artıkları ve yabancı malzemeler yüzeyden arındırılarak, çatı yüzeyinde görülen yüzey çatlakları tamir harcı ile düzeltilerek yüzey astarlanmıştır.

4.2.2. Drenaj sistemi

Yeşil çatı sistemini oluşturan katmanlar birbiri ile uyumlu ve dinamik sistemdir. Drenaj sistemi üst katmanlardan gelen ve bir filtre tabakası tarafından süzülen yağmur sularını depolaması, fazla suyu bitki ve bitki köklerinin çüremesi önlemek için derene edilerek atılmasını sağlayan sistemdir. Binanın yeşil çatı drenajı, konik bir kâse formunda olan ve toprak filtre katmanının altında bulunan bir polipropilen tabakası kullanılarak yapılmıştır. Bu sistem su yolunun

tıkanmasını ve drenaj tabakasının su tutmasını önlemektedir. Uygulamanın üçüncü katmanı çatı katı uygulamasını oluşturan drenaj sistemi oluşturmaktadır. Filtre katmanı; çatıdaki mekanik etkenlere bağlı deformasyonları ve çürümeyi önlemek, bitki köklerinden aşırı nemi almak için kum veya kumaştan yapılarak oluşturulmuştur. Root Barrier (kök koruma) katmanı bitkilerde oluşabilecek kök dirençli su geçirmez örtü; kök hasarı ve çatının hemen altındaki dairenin yalıtımını ile dairenin tavanında olası hasarı önlemek için tesis edilmiştir. Drenaj sistemi uygulamasında; sulama veya yağmurla oluşan aşırı suyu, çatının eğimi ile orantılı olarak gider çıkışına yönlendirilmiştir. Aşırı yağışlarda ağırlık ve yapıya baskı uygulayacak olan aşırı su birikmesini önleyerek, binanın hasar görmesini önlenmiştir. Bunun sonucunda oluşturulan drenaj sistemi hem bitkiler için ihtiyaç duyulan su miktarını dengelemiş hem de biriken suları konik haznelerde tutulmasıyla sulama sıklığını azaltarak avantajlar sağlanmıştır.

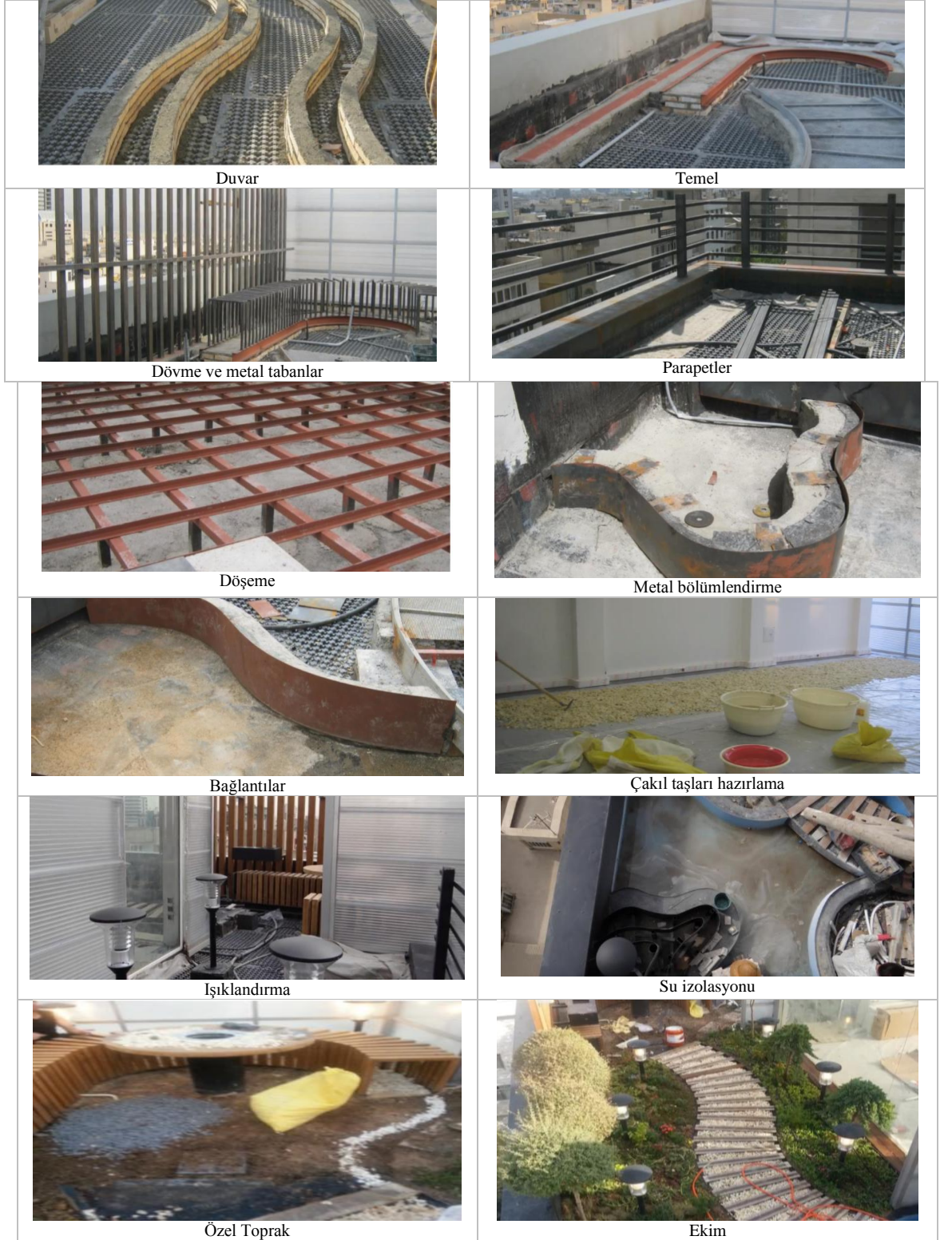
4.2.3. Kök bariyer çatı bariyeri

Projenin uygulamasında kök bariyer ve çatı bariyeri için polipropilen tabakanın altında da kök sızmasını, yalıtım ve tavan membranlarının hasar görmesini önleyici tabaka konulmuştur.

4.2.4. Bitki yetiştirme ortamı

Örneklem olarak alınan bu projede bitki yetiştirme ortamı olarak doğal kiremit kırıntısı ve organik toprak karışımı ile elde edilmiştir. Bu karışım bitkiler ve ağaçların gereksinimlerini karşılayarak uzun yıllar kendilerini yenileyerek canlı kalmasını sağlamaktadır. Toprak filtrasyonu geri dönüşümlü, dona dayanıklı, yanmaya dayanıklıdır.

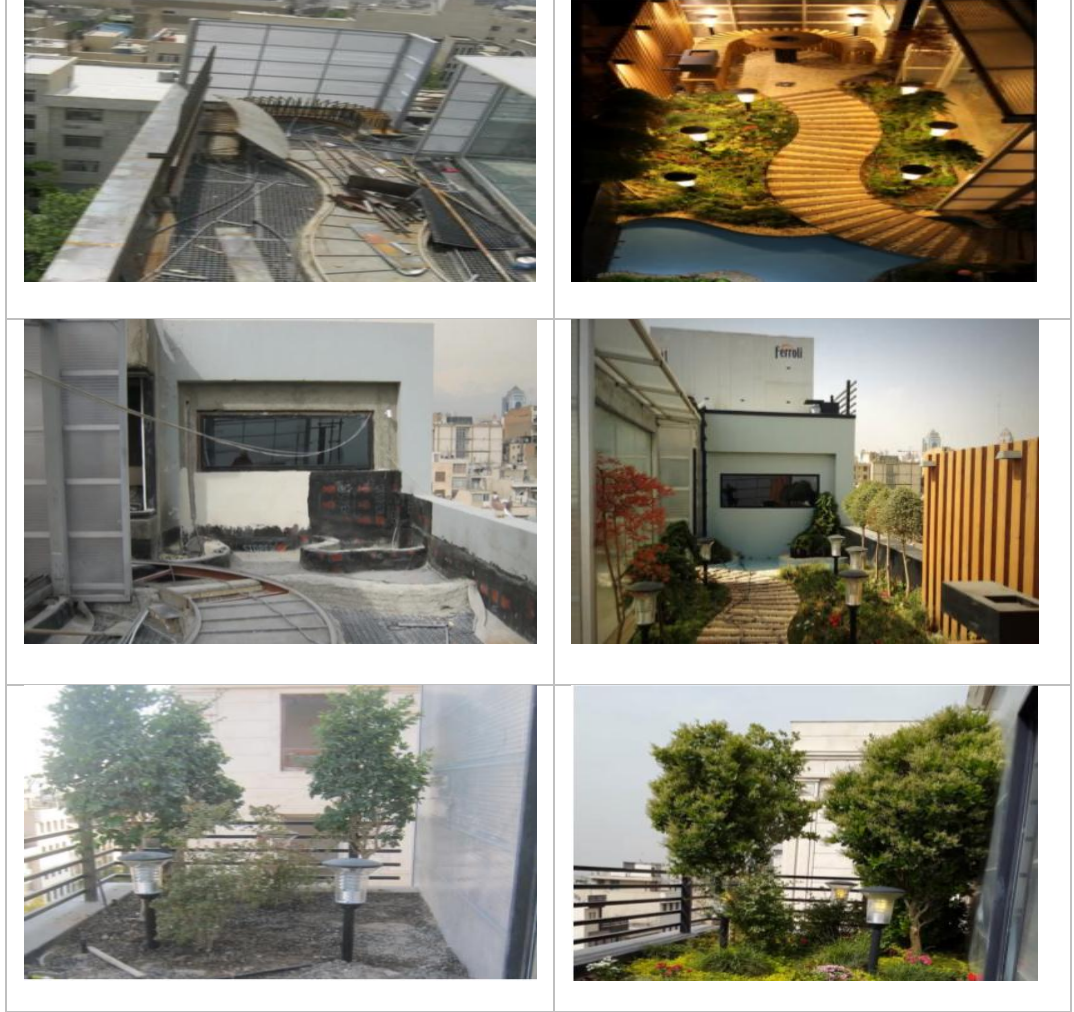
Çatı yüzeyinin izolasyonu, çatıda bitki alanı ve erişebilir alanları ayırıcı duvarın altyapıları konstrüksiyonu profil, demir, dövme ve metal tabanlar, Parapetler, döşeme profilleri, metal bölümlendirmeler, bağlantılar tesisi ve montajı sağlanmıştır. Erişebilir alanlar ve yürüyüş yolları doğal çakıl taşları ile hazırlanmıştır. Çatı yüzeyi, yürüyüş alanları ve duvarlar güneş enerjisi ile çalışan lambalar ile ışıklandırılmıştır. Proje için hazırlanan kiremit kırıntısı ve mineral bakımından zengin organik toprak karışımı hazırlanarak serilmiştir. Tahran iklim koşullarına uygun az su ve bakım gerektiren bitkiler, çalılar, yarı olgun ağaçlar ve gölgeli ağaçların ekimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5. Abbas Abad Avenu Nahid Projesi intensif yeşil uygulamasının aşamaları

4.2.5. Ekim

İntensif çatılardaki en önemli sorun bitki örtüsü direnç aralığıdır. Direnç aralığı yüksek olan bitkiler kuru, sıcak ve sert iklim koşullarda daha iyi sonuçlar vermektedir. Sedum türleri, etli bitkiler, çim, süs çalılıarı, yarı olgun ve ağaçlar olmak üzere suyu dokularında uzun süre depolayan bitkiler step iklim koşullarında etkili olmaktadır. Şekil 4.6'da Abbas Abad Avenu Nahid intensif yeşil çatı projesi uygulaması yapım ve tamamlanmış görselleri verilmiştir.



Şekil 4.6. Abbas Abad Avenu Nahid intensif yeşil çatı projesi uygulaması yapım ve tamamlanmış görselleri



Şekil 4.6'in devamı

Farklı renklere ve büyüme düzenlerine sahip Sedum türü yeşil çatılar için uygun bitki türüdür. Projede süs bitkileri, çiçekler, yarı olgun ağaçlar ve gölgeli ağaçlar dikilmiştir.

4.3. Yeşil Çatı Sisteminde Oluşan Isı, Sıcaklık ve Çevre Etkileri

Her yapı kendi bulunduğu alandan daha büyük bir alanı etkilemektedir. Bu alanda mevcut olan çatı yüzeylerin bitkilendirilmesi yeşil bir dokunun oluşturma potansiyeli ile eşdeğer olacağından etkisi sınırlı olmayacaktır. Yapılan çalışmalar ve yayınlar yeşil çatıların; küresel ısınma, iklim değişikliği başta olmak üzere, yenilenemeyen doğal kaynakların enerji üretiminde yoğun olarak kullanılması sonucu ortaya çıkan sera gazlarının atmosfere salınımı azaltacağı, sıcaklıkla ilgili dengenin kentsel yüzeylerde sağlanabilmesi ve doğal yeşil alanlara dönüştürebilme potansiyeli bünyesinde taşımakta olduğu yönündedir. Kentlerdeki yapı yüzeylerinin %50-60 oranında bitki ile kaplanması durumunda kentlerde bahsedilen olumsuzluklar çok düşük düzeylere inebilir ve kent yaşam kalitesi çok yüksek düzeylere çıkabilir (Söğüt ve Şenol 2014).

İntensif yeşil çatı projesi uygulaması sonucu elde edilen diğer faydalar; çatıdan drene edilmesi gereken su miktarında %90 oranında tasarruf sağladığı, böylelikle kent şebekesine daha az yük binmesini sağlanmıştır. Uygulama sonrası ortamdaki toz partiküllerinin filtrasyonuna yardımcı olduğu, özellikle hava kirliliğinin ciddi sorun oluşturduğu Tahran gibi mega kentlerde yeşil çatıların artması ile iyi bir çözüm sunacaktır. Yeşil çatı yüksek ses emici özelliğine sahip olarak kent kaynaklı gürültüyü azaltmıştır. Yeşil çatıdaki bitkiler oksijen oranını arttırarak hava kalitesini artırmıştır.

İntensif yeşil çatı projesi uygulaması sonucu çatı yüzey ısı dengesine olumlu etki yaparak, sıcaklığı kışın sıcak ve yazın serin tutarak istenmeyen enerji kayıplarını önlenerek enerji verimliliği sağlanmıştır. Su yalıtımı ile aşırı ısı farkları ve güneşin zararlı UV ışınlarından koruyarak, çatı ömrü uzatılmıştır.

Uygulamanın kent yaşamına konfor, rahatlık ve estetik yönden değer kattığı, yetersiz yeşil alanların oluşturduğu doğal ortam eksikliğini azaltarak mikroklimayı dengeleyerek doğal çevrenin yaşamasına destek olunmuştur. Böylelikle doğal yaşamın sürdürülebilirliğini destekleyen bir proje olduğu söylenebilir.

Buna göre; yeşil çatı sisteminin standart çatılara oranla % 59 oranında enerji verimliliği sağladığı tespit edilmiştir. Çatı yüzeylerinde oluşan sıcaklık dalgalanmaları, çatının yeşil çatı ile kaplı bölümünde % 58.8 oranında daha düşük olarak ölçülmüştür. Bunun yanı sıra çatı yüzeyine gelen yağış, yetiştirme ortamındaki nem içeriğine bağlı olarak %12,8 ile %100 oranında yeşil çatı sistemi içerisinde biriktirilmiş ve sistemden su tahliyesi 23 saate kadar ertelenebilmiştir.

4.4. Yeşil Çatılarda Enerji Verimliliği

Kentler sadece çevresindeki kırsal alanlar arasında iklimsel farklılıklar göstermemekle, aynı zamanda toprak yapısı ve çevre kirliliği açısından da farklılıklar göstermektedir. Kentler, fiziksel yapılar, örtü alanları, yeşil alanların olmaması fiziksel ve biyolojik ortamda tutarlı değişikliklere neden olmaktadır. Kentsel alanlarda sıcaklık (0.5-9 ° C), yağış miktarı (% 5 -% 20), sis oluşumu (% 30-100) ve bulutluluk (% 5-10) artarken, orantılı nem (% 2-30), kentsel alanları çevreleyen kırsal alana göre radyasyon (% 15-20) ve güneşlenme süresi (% 5-15) azalmaktadır. Kentsel bölgelerde hava kirliliği PM₁₀µg/m³ olabilir (toz ve parçacıklar) ve 5-25 kez (gazlı parçacıklar) daha fazla olabilir (Sukopp 2004).

Kentleşmeye bağlı olarak kentin değişen doğası ve yaşam tarzı, yeşil alanları her geçen gün azalarak insanları doğal ortamlarından uzaklaştırmaktadır. Bu alanların yerini yoğun yerleşim ve ticari yapılaşma sonucu somut yapılar ve geçirimsiz yüzeyler almıştır. Kentlerde ortaya çıkan bu durum yeşil alanların azalmasını önleme ve pek çok çevresel soruna çözüm sağlama amaçlı birçok projenin planlanmasına yol açmıştır. Kentlerde yeşil alanların daha fazla alana yayılımı için etkili çözümlerden biri; bitki alanlarını yıkıcı yapılardan kurtarılması için çatıları yeşile çevirmektir. Kentlerdeki yeşil çatı uygulamaları kentsel yeşil alana katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel, bozulan ekosistem dengelerini iyileştirilmesi ve korunması açısından değerlendirilmelidir (Ulubeyli ve ark. 2012, Ulubeyli ve ark. 2017, Ulubeyli ve ark. 2018).

Kentleşmeden dolayı oluşan ısı adası etkisinin azaltılması için yeşil çatı sistemlerinin yaygın olarak kullanılması gereklidir. Tahran'da yeşil çatılar/çatı bahçeleri yaygınlaşması için teşvik edilmesi, kentin en önemli çevresel sorunlarından olan hava kirliliği ve kentsel ısı adası etkisinin aşılmasını mümkün kılabilir. Kentsel alanlar kırsal alanlara göre en az 4 santigrat derece sıcaktır (Mahdeloei vd. 2012).

Genel olarak yeşil çatılar uygulamalarında bölgenin çevre, ekonomi ve yaşamı uzlaştırdığı, çevreye olan olumlu etkileri ile ekosistem kriterlerini karşıladığını göstermiştir. Uygulama ile çevreye, binaya ve kentsel sisteme katkı sağlayan yaşanabilir bir alan oluşturularak, enerji tasarrufu sağlanmıştır. İran'ın sürdürülebilir bir çevre ve dolayısıyla çevre dostu kentlere kavuşması, mevcut

çatıların yeşil çatılara dönüştürülmesi yönünde teşvik edici politika izlemesi, daha sağlıklı şehirler sağlamak için önemli bir adım olacaktır.

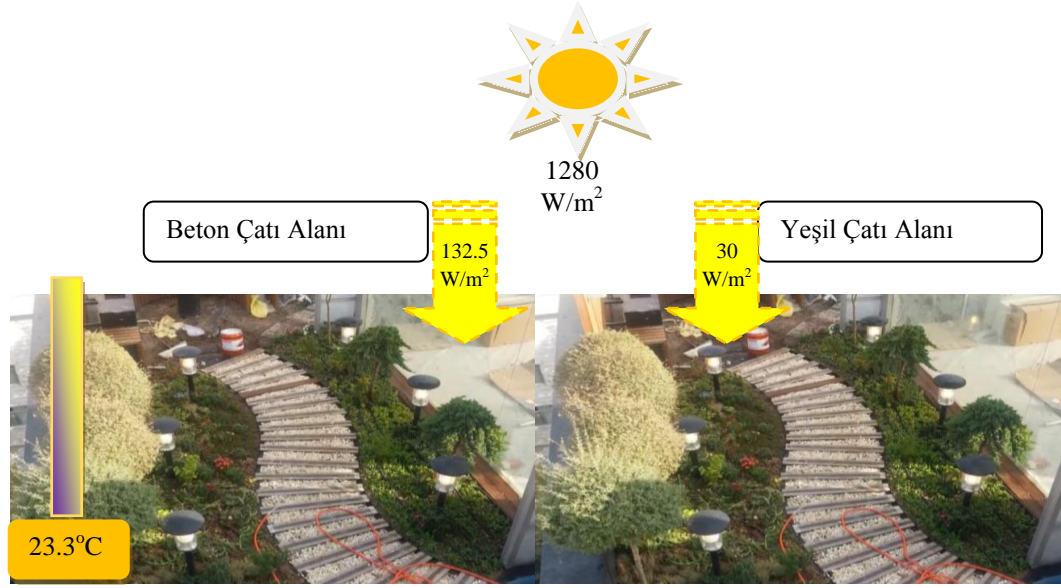
Heidarinejad ve Esmaili (2016), geleneksel çatıya göre yeşil çatı enerji tasarrufunun değerlendirdikleri çalışmalarında, yeşil çatının geleneksel çatıya kıyasla, çatının yüzey sıcaklığının 44 °C'ye kadar önemli azalmaya neden olduğunu ve dolayısıyla çatı içinden ısı akışının % 77'sini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Çizelge 4.2. Isı akışlarının yeşil çatı enerji dengesine katkısı

Akış Tipi	Akış Adı	Katkısı (%)	
İçerde	Güneş radyasyonu	100	
	Dışarda	Evaporasyon: bitki su tüketimi	53.2
		Isı yayma	6.5
		Fotosentez/Işık etkisi ile sentezleme	11.1
		Net/Kesintisiz uzun dalga radyasyon	26.4
		Binaya İletilen	1.3
Depolama	Toprak tarafından	1.1	
	Bitki tarafından	0.4	

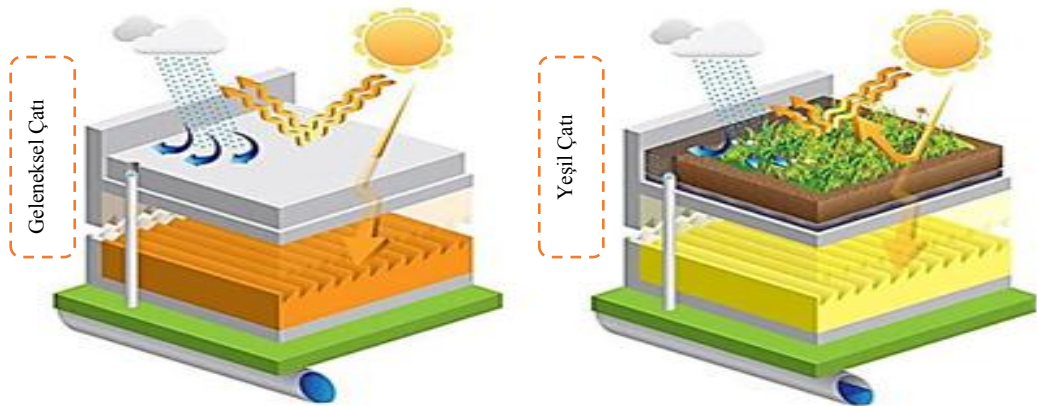
Çizelge 4.2 bitkilendirilmiş yeşil çatıların enerji dengesine katkısı incelendiğinde; güneş radyasyonunu bina içerisinde %100 önlendiğini, evaporasyona %53.2, ısı yaymanın %6.5, fotosentez/ışık etkisi ile sentezleme %11.1, net/kesintisiz uzun dalga radyasyonu %26.4, binaya iletilen %1.3, toprak tarafından depolanmasına %1.1 ve bitki tarafından depolanmasına %0.4 katkı sağlamaktadır.

Günün farklı saatlerinde sıcaklık değişimleri gözlenmektedir. Günün erken saatlerinde sıcaklık minimum durumda iken ışınlamayla birlikte bitki sıcaklığında artış gözlenmekte, bitkinin alt katmanlarının sıcaklığı, gölgeleme etkisinden dolayı üst katmanlardan daha düşük hale gelmektedir. Uygulamada, ısı akışı geçişi hem beton hem de yeşil çatıların 1m²'si göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. Hesaplamalar, günün en sıcak döneminde 132.5 W/m² ısı akışının beton alandan iletildiğini, sadece 30 W / m² yeşil çatı içinden iletildiğini, bu da yaklaşık olarak ısı akışında % 77 oranında azaldığını göstermektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Yeşil çatı ve beton alandaki ısı akışı iletiminin karşılaştırılması

Yeşil çatılar bina enerji performansını iyileştirerek ve sürdürülebilir binalar bir alternatif oluşturur. Madagaskar'ın başkenti ve en büyük şehri olan Antananarivo'da, iklim koşulları altında yeşil ve geleneksel çatıların ısı değişimlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; yeşil çatıların yapısının aşırı sıcaklık ve önemli sıcaklık dalgalanmalarına karşı korunduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada yeşil çatının iç hava sıcaklığının enerji talebine olan etkisi incelendiğinde; bitki örtüsü, maksimum iç ortam hava sıcaklığını düşürdüğü ve özellikle yaz aylarında binanın termal konforunu iyileştirdiği yönünde bulgulara ulaşılmıştır. Yeşil çatıların minimum iç hava sıcaklığı üzerinde etkisi yoktur, ancak ek toprak kalınlığı onu artırabilir. Yeşil çatıların yalıtımlı binalarda neredeyse önemsiz derecede termal etkiye sahip olduğu; bununla birlikte, potansiyelleri yalıtımı olmayan binalarda daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Rakotondramiarana, Ranaivoarisoa and Morau 2015)(Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Geleneksel çatıya zıt olarak yeşil çatıdaki ısı dağılımı (Heidarinejad ve Esmaili 2016)

Binalarda tüketilen toplam enerjinin önemli bir kısmı ısıtma ve soğutma uygun iklimlendirme koşullarının sağlanması üzerinedir. Bu nedenle, soğutma ve ısıtma ile ilgili enerji tüketimini azaltacak yöntemleri uygulamak binanın çevresel olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltabilir. Isıtma ve soğutma yüklerini azaltma teknolojilerinden biri bitkilerin geleneksel çatı üstlerinde yetiştirildiği özel bir çatı uygulama sistemi olan Yeşil Çatı'dır. Çatıdaki bitkiler, çatı yüzeyinde doğrudan güneş ışığının oluşmasını önler. Yeşil çatılar, yapı malzemelerine göre farklı radyasyon ve termal özelliklere sahiptir ve iki ana fotosentez ve terleme mekanizmasıyla, çatı tarafından emilen ısının bertaraf edilmesine katkıda bulunurlar.

Çatı yüzeyine ulaşan sıcaklıklar arasında önemli farklılıklar olduğu, ortalama sıcaklık kış aylarında 0°C ve yaz aylarında 18.4 °C iken, geleneksel bitkilendirilmemiş çatı membranının altındaki sıcaklık ortalaması kış aylarında 0.2 °C ve yaz aylarında 32 °C olarak ölçülmüş, yeşil çatı tabakasının altındaki sıcaklık kış aylarında 4.7 °C ve yaz aylarında 17.1 °C olarak ölçülmüştür. Ortaya çıkan bu farklılıkların nedeni, bitkilendirilmiş çatı yüzeyleri enerji dengesinin oluşmasında etkin rolünün olması ile bina ve yakın çevresinde sıcaklık artışlarını dengelemesidir. Yeşil çatılar binayı sadece ultraviyole (UV) ışınlarından korumakla kalmaz, aynı zamanda don ve güneş ışığından korur, izolasyona da katkı sağlar. Almanya'da yapılan bir çalışmada 1 m² çatı bahçesinin 2 lt yakıt tasarrufu sağladığı bildirilmiştir. Geleneksel çatılarda alanı soğutmada kullanılan ortalama günlük enerji gereksinimi 20500-25600 BTU (6-8 kWh) iken yeşil çatılı binalarda %75'den daha fazla azalarak ortalama enerji gereksinimi 5100 BTU (2 kWh)'nin altına düşmektedir. Dolayısıyla kent ölçeğinde bir yeşil çatı uygulaması ile enerji kullanımında her yıl metrekareye 4.15 kWh'ya varan düzeyde enerji tasarrufu sağlanabilecektir (Söğüt ve Şenol 2014).

İntensif yeşil çatı projesi uygulamasında bitkilendirilmiş yüzeyler ile referans yüzey sıcaklıkları ölçümü kış mevsiminde Ocak, Şubat ve Mart, yaz mevsiminde Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında belirli günlerde sabah, öğlen, öğleden sonra ve gece ısıya duyarlı termometrelerle ölçülmüştür. Ölçümlere göre bitkilendirilmiş yeşil çatı yüzeyi ortalama sıcaklığı kış aylarında 0°C, yaz aylarında 18.4 °C olarak ölçülmüştür. Ortalama sıcaklık farkı intensif çatıda kullanılan bitki türlerinden kaynaklı olup en düşük sıcaklık kış aylarında ortalama 4.7°C, yaz aylarında ise 17.1 °C olarak ölçülmüş, en yüksek sıcaklık kış aylarında 0.2°C, yaz aylarında 32°C ile bitkilendirilmemiş referans yüzeyinde oluşmuştur. Kış aylarında ortalama sıcaklık değerleri; Ocak ayında 2.8 °C, Şubat ayında 5.1 ve Mart ayında 9.5 °C bitkilendirilmiş çatı da 4.7 °C olarak ölçülmüştür. Yaz aylarında ortalama sıcaklık değerleri; Haziran 26.2°C, Temmuz 29.3°C ve Ağustos 28.6 °C iken bitkilendirilmiş çatı tabakasının altındaki sıcaklık 17.1 °C olarak ölçülmüştür. Bitkilendirilmiş çatı ile referans yüzeyi arasındaki bu sıcaklık ölçümleri arasındaki farklılıklar bitkilendirilmiş çatı yüzeylerinin, bitkilendirilmemiş yüzeylere göre performanslarının daha etkili olduğunu ve ısıtma soğutma dengesini sağlayarak binanın enerji tüketimine olumlu katkı sağladığını kanıtlamaktadır.

5. SONUÇLAR

Çok boyutlu ve karmaşık bir kavram olan küreselleşme olgusu hızlı değişimi Sanayi Devrimi ile yakalamıştır. Sanayi devrimi sonrası yaşanan gelişmeler ile nüfus, üretim ve hizmet faaliyetlerinde ihtiyaç duyulan enerji yoğunlukla fosil yakıtlarla karşılanmıştır. Bu süreçte ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacı doğal kaynaklardan karşılanırken; ekosistem, çevre, hava ve iklim gibi yaşamın temel olguları, yenilenebilir kaynaklar ve enerji verimliliği göz ardı edilmiştir. Enerji verimliliğini geri planda tutan yapılar ise gelecek nesiller ve yaşam için tehdit oluşturmaktadır. Küreselleşme dünya yüzeyinde yaygınlaşması sürecinde çevresel sorunlar da yaygınlaşmıştır. Bundan dolayı kentleşme, enerji verimliliği, çevresel kaygılar, çevresel politikalar ve çevre kirliliği küresel düzeyde ilgili çeken konulardır. Dolayısı ile çevre kirliliği tüm insanlığı içeren küresel düzeyde sanayileşme ve onun sonucu kentleşmedir.

Her yapı, kente yeşil alan olarak katkıda bulunma potansiyeli olan belli bir toprak parçasını kullanarak yükselir. Yeşil çatı sistemleri uygulamaları ile yapıların bu potansiyelleri, birer ekosistem yaratan yapılar çevre ve yeşil alan dengesi üzerinden değerlendirilmelidir. Yoğun yapılaşma ve kentlerdeki alan sınırlılıkları nedeniyle kentlerde kentsel yeşil alanların korunması ve yeni yeşil alanların oluşturulması her an mümkün olamamaktadır. Yeşil çatılar, büyük çevre sorunlarına yol açan küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı kentlerin mikroikliminin korunması ve dengelenmesi, kent kaynaklı çevresel sorunların azaltılması bakımından bir çözüm önerisi olarak sunulmaktadır. İntensif, ektensif ve semi intensif sistemleri yapılaşma sonucu doğal yüzeylere verilen zararın, bitki ve küçük canlılar için alternatif yaşam alanları oluşturularak kısmen telafi edebilmesi odaklıdır. Bu anlamda yeşil çatılar ve çatı bahçeleri yoğun yapılaşmanın devam ettiği kaybedilen kentsel yeşil alanların olumsuz etkilerini tersine çevirerek dengeleyebilmesi adına ekolojik bir denge ögesi olarak giderek önem kazanmaktadır. Kentlerde bitkilendirilmiş yeşil çatı yüzeyleri bir estetik değerleri ile prestij unsuru olmasının yanında, yapılaşma ve kentsel dönüşümde yeşil çatı sistemleri, ekolojik olumlu etkileri ve doğal dengenin yeniden tesisini sağlama potansiyeli olmasıyla devlet ve yerel yönetimlerin politikaları, katkıları ve teşvikleri ile desteklenmelidir.

Yeşil çatı sistemlerinin kentlere sunduğu katkılar; yağmur suyunu tutarak kontrollü drenaj sağlaması, ısı ve ses yalıtımına katkı sağlaması, su yalıtımını aşırı sıcak ve soğuk havadan, ultraviyole ışınlarından ve mekanik hasarlardan koruyarak kullanım ömrünü artırması, toz ve kirletici partikülleri engellemesi, ısı ve nem oranını dengeleyerek mikro bazda hava kalitesini yükseltmesi, ekolojik katkı sağlayarak bitki canlılar için alternatif yaşam alanları oluşturması, yapıya estetik kazandırması, atıl alanları işlevsel duruma getirmesi, ısınma ve soğutma dengesini sağlayarak enerji verimliliğini artırırken yaşam için konforlu alanlar sağlaması olarak sayılabilir.

Gerçekleştirilen çalışma ile yeşil çatı sistemlerinin Tahran iklim koşullarında yeşil çatı sisteminin enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Proje aşamasında herhangi bir zorluklar ile karşılaşılmamıştır. Gerçekleştirilen ölçümler, %1-3 eğime sahip, son kat 105 m²'lik çatı yüzeyinde

gerçekleştirilmiştir. Projenin tasarım aşaması Autocad ve 3D modellemesi yapılmış, tasarımda ve uygulamada yeşil çatının insanlar tarafından erişilebilir olması hedeflenmiştir. Proje; bina çevre, enerji verimliliği ve konfor yaşam alanı olarak bir bütünlük göstermesi amaçlanmıştır.

Proje sürecinde yeşil çatı uygulamasında malzemelerin standartlara uygunluğu ve kalite standartlarına dikkat edildi. Geleneksel çatı uygulamalarının maliyetinin uygunluğu tartışmasız bir gerçektir. Yeşil çatı uygulaması ile bina, binanın enerji verimliliğine etkisi dikkate alınarak, hem estetik açıdan hemde yaşanabilir bir çatı olarak uygulanması, diğer projelere emsal teşkil etmektedir.

Köklerin yeşil çatılarda su yalıtımına, özellikle de kök koruma katmanı içermeyen ve daha büyük bitkiler içeren ağaçlara zarar vermesi muhtemeldir. Zaman içerisinde, sızıntıların bir sonucu olarak, su yalıtımının onarımı ve bahçenin büyük bir bölümünü kaldırarak aynı alanda yeniden yapılması çok masraflı olacaktır. Ayrıca, yeni malzemelerin kullanıldığı bitkilendirilmiş yüzeyler hem inşaat süresi hem de uygulama açısından kolaylaştığı açıktır. Uygulanan projede yeşil çatı sisteminin terasın taşıma kapasitesi ve erişilebilir olması dikkate alınmıştır. İntensif sistemlerde bu yük 300-350 kg/m² (doymuş) hesaplanmıştır.

Kök tutma özelliği bitüm esaslı kök tutma özelliğine sahip su yalıtım membranları kullanılmıştır. Bitüm esaslı membran, yüksek kalitede su yalıtım membranı özelliğinin yanı sıra, kök tutucu görevini de yerine getirmektedir. Su yalıtımı çatı yüzeyi su yalıtım örtüsü ile tamamlanmıştır. Su drenaj sistemi yağmur suyunu depolanmakta ve geciktirmeli olarak giderlere yönlendirilmektedir. Bu özellik yeşil çatının katmanlarının kalınlığı dikkate alınmış, giderlerin kolay ulaşılabilir olması ve kesinlikle kapatılmaması dikkate alınarak tesis edilmiştir.

Yeşil çatı sistemini oluşturan yapısal katmanlar sırasıyla; toprak tabakası (kum, agrega ve organik madde) ve bitki tabakasıdır. Projenin başlangıcından bitimine kadar yaşayan bir çatı olması, uzun ömürlü olması, binanın enerji verimliliğine ve ekolojik sisteme katkısı amaçlanmıştır.

Çatı yüzeyi eğimi% 1-3 eğim oranı ideale yakın olarak oluşturulmuştur. İntensif yeşil çatı sistemleri, eğimsiz yüzeylerde de sorunsuz bir şekilde kullanılabilir. Erişilebilir olarak projelendirildiğinden ağır yükler altında kullanılabilen deranj katmanları ve yürüyüş alanı oluşturulmuştur.

Bitkilendirilen yüzeylerde bitki, çakıl ve doğal taşların yüksekliği yalıtım ürünlerinin bağlantısı için alt sınır olarak kabul edilerek, parapet gibi sınırların olmadığı geçişlerde, ortam şartlarına göre planlanmıştır.

Ölçüm dönemi olan 2013-2014 yılları arasında ayları arasındaki ortalama hava sıcaklığı ölçümleri, 30 yıllık ortalama değerlerin 18.4 °C üzerinde kaydedilmiştir. Yeşil çatı sistemlerinin yapı kabuğunu ve su yalıtım örtüsünü dış ortam şartlarından koruması gerekmektedir. Bitkilendirilmiş çatılarla kaplı bir kent yüzeyinin sıcaklığının en fazla 26°C ve ortalama 12,8°C'ye kadar

düşürülebileceğini ve yüzey sıcaklığındaki düşüşlerin sıcak ve kurak iklimlerde daha yüksek miktarda görülmektedir.

Çalışma sırasında elde edilen sıcaklık dağılımlarına göre özellikle yaz aylarında yeşil çatı sisteminin yapı kabuğunu dış ortamda oluşan etkilerden korumuş olduğu görülmektedir. Gündüz normal çatı yüzey sıcaklığı 32°C'nin üzerinde sıcaklığa ulaşırken, yeşil çatının yüzeyinin 17.1°C'nin üzerinde gerçekleşmiş, gece normal çatı yüzey sıcaklığı 0.2 °C, yeşil alan sıcaklığı ise 4.7 °C ölçülmüştür. Yeşil alanın yüzeyindeki ısınma-soğuma döngüsündeki keskin farklılıklar beklenmeyen bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır. Yeşil çatı sisteminin sıcaklık dalgalanmaları gündüz 17.1-32°C, gece ise 0.2-4.7 °C arasında ölçülmüştür. Yeşil çatının su tutma özelliği tespit edilememiş olmakla birlikte, yapılan çalışmalarda, bitümlü membranla kaplı çatıların dahi çatı yüzeyine gelen yağışın %14'ünü tutabildiğini ortaya koymuştur.

Çalışma sırasında, bitkilerin büyüme-yetişme tabakasındaki nem değişimi yaz mevsiminde hızlı bir biçimde gerçekleşmiştir. Bitkilerin büyüme-yetişme ortamı, yazın oluşan evaporasyon ile birlikte, bitkilerin bünyesindeki su varlığını 7-9 gün içerisinde kaybetmiştir. Yapılan izlemlerde, bitkilerin CAM (Crassulacean Asit Metabolizması) kullanarak hayatta kalmalarının yanında, sistemde depolanan sudan ve hava sıcaklığı ile buharlaşan sudan da emilim yaptıkları görülmüştür.

İnsan yaşamı çevresini değiştirerek sürdürmesi bir gerçek olduğundan, bakış açısı bu değişimin çevresel etkileri de dikkate alarak gerçekleşmesidir. Tarhan kentleşme sonucu yoğun yapılaşmanın yayılım gösterdiği mega bir kenttir. Her türlü yapılaşmanın çevresel etkileri dikkate alarak tasarlanması, mevcut kent genelindeki bina çatı yüzeylerinin bitkilendirilmiş yeşil düzeylere dönüştürülmesi, varolan yenilemeyen enerji kaynaklarının verimli kullanılmasına, kent kaynaklı çevresel olumsuz etkilerin minimum düzeye düşürülmesine, dolayısıyla hava kirliliği ve kent mikroikliminin yaşanabilir seviyelere çekilmesine önemli katkıları olan yeşil çatı sistemleri kentin acil sorunlarının çözümünde bir çıkış noktasını oluşturduğu düşünülmektedir.

Büyük bir ekosistemin bir parçası olan insan, düşünce ve eliyle çevrenin tahribatı ile oluşan olumsuz etkileri, bugün yine insan düşüncesi ve eli ile yeniden revize edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla nüfusun yoğunlaştığı alanlardaki yapılaşma olan kentler ve onun ekosisteme olan olumsuz etkileri yeniden ele alınması, araştırılması ve incelenmesi gereken konular olarak güncelliğini korumaya devam edecektir. Bu bakış açısı; yeşil çatı/bahçe uygulamaların kent düzeyindeki iklim ve olumlu çevresel katkıları araştırma ve bulgularla desteklenmektedir. Step iklim koşullarının hakim olduğu mega kent Tahran, yenilemeyen enerji kaynaklarını yoğun olarak ısınma-soğutma ve üretimde kullanması başta hava kirliliği olarak çözüm beklemektedir. Tahran kentindeki mevcut çatı yüzeylerinin bitkilendirilmesi için gereken teşvik destek devlet ve yerel yönetim politikaları ile desteklenmesi ivedilik arz etmektedir. Bugün dünya genelinde yeşil bina değerlendirme programlarında özellikle vurgulanan yerellik ve sürdürülebilirlik kavramları, İran'da özellikle kırsal bölgelerinde yıllardır süregelen yaşam tarzı ile örtüşmektedir. Bunun İran

genelindeki kentlerde de yaygınlaştırması sürdürülebilir ve yaşanabilir kentler için önemli olacaktır.

Literatürde incelenen yeşil çatılar birçok farklı şekilde ve farklı malzemeler kullanılarak yapılmıştır. Burada önemli olan, gerektiğinde eski ve yeni sistemler amaç doğrultusunda birleştirilir ve her iki sistemin de avantajlarından yararlanır. Yeşil çatılar oluşturulurken, yeni malzemelerden yapısal tabakaların ve alt tabakaların (drenaj, su yalıtımı vb.) seçilmesi ve toprak tabakalarının klasik sistemlerde olduğu gibi habitat olarak getirilmesi iyi sonuçlar vermektedir. Yeşil çatılar ve çatı bahçelerinin gökdelen veya alışveriş merkezi gibi yapılarda oluşması ve geleneksel sistemlerin terk edilmesi, gelişme teşebbüsü olarak yorumlanabilir. Ayrıca, gelecekte, Tahran'da inşa edilmesi düşünülen yeni binalarda yeşil bina veya yeşil çatılı veya çatı bahçeli binaların ortaya çıkması çevre ve yeşil kent açısından umut verici gelişmedir. Mevcut yeşil alanları koruyarak yeşil çatıların yapımındaki artışın bir sonucu olarak, kente önemli etkiler sunarak, insanların nefes alabileceği alanların yaratılması ve kentin estetik bir görünüm kazanması mümkün olacaktır. Sonuç olarak yeşil çatıların hızlı artışı yoğun kentlerde hızlı bir dönüşümün olumlu göstergesi olacaktır.

Çalışmada bitkilerin en iyi büyüme-yetişme ortamının oluşturulması, bitkilerin hayatta kalması, gelişmesi önem taşıyan bir bulgu olarak karşımıza çıkmıştır. Yetişme-büyüme ortamındaki hızlı su kaybı ve özellikle step iklim koşulları da dikkate alındığında yağışın olmadığı kurak dönemlerde sıcaklık salınımı olumsuz bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Yetişme-büyüme tabakası kalınlığının artması, yeşil çatı sisteminin su tutma kapasitesini ve yüzeysel akış oluşumunu geciktirmekle birlikte, evaporasyon hızını da düşüreceğidir. Daha kalın bir yetişme tabakası bitkilerin kök gelişimini de rahatlatarak, çatı yüzeyindeki bitki örtüsünün kaplama oranını da arttıracaktır. Sonuç olarak, çalışmada elde edilen veriler, tipik bir intensif yeşil çatı sisteminin Tahran şartlarında sürdürülebilir bir seçenek olduğunu söylemek mümkündür. Yeşil çatı sistemlerinde belirlenen esasların kentsel ölçekte ele alınarak, kentsel planlama çalışmalarına dâhil edilmesi bunun için gerekli politika, yasal ve yönetmelikler, teşvik edilmesi, çevresel yaşam kalitesinin artırılmasına ve kent ekolojisi ve ekosisteme önemli katkılar sağlayan bir yapıya dönüşecektir.

Bu çalışma ile elde edilen kazanımlar literatür ile paralellik göstermektedir. Uygulanan yeşil çatı projesi ile ekosistem ve kent üzerindeki kazanımlar ise şu şekildedir;

- Yüzeysel akış kontrolü ve azaltması
- Suyun yeniden kullanımına olanak sağlama
- CO₂ - O₂ değişimi (Sera etkisini azaltması)
- Kentsel biyoçeşitliliğe katkı sağlama
- Su yalıtımını sağlama

- Isınma ve soğutma dengesinin sağlanarak enerji giderlerinin azaltması
- Ses yalıtımı sağlanarak bina ve bina dışı gürültü kaynaklarını izole etmesi
- Elektromanyetik yalıtımın sağlanması
- Havadaki partiküllerin filtre etmesi
- Mikro ölçekte kentsel ısı adası etkisinin azaltması
- Ekonomik katkı sağlaması
- Kentsel atık sistemindeki yükü hafifletmesi
- Estetik/görsel etkiler
- Habitat oluşturması'dır.

Yeşil çatılarda uygulanacak bitki seçim süreci karmaşık ve problemlidir. Seçilen bitkiler, belirli bir yerin ve coğrafi bölgenin iklim koşullarına karşı dayanıklı olmalıdır. Tahran iklim koşullarında yeşil çatı alanları uygulamaları için tercih edilen bitkiler; bitkiler soğuk, sıcak, kuraklık, rüzgâr, güneş, hastalık, böceklere toleranslı ve tercihen doğal bitki türlerinden seçilmelidir. Ekstensif yeşil çatılar için kuraklığa dayanıklı, uzun ömürlü ve az bakım gerektiren bitki türleri tavsiye edilir. Bununla birlikte, intensif yeşil çatılar için iklim koşullarına bağlı olarak çeşitli bitki seçimi yapılabilir. Uzun ömür beklentisi, istenen görsel görünüm, bakım seviyesi ve gerekli olacak düşük büyüyen sığ kökler dikkate alınmalıdır. Bitkiler aynı zamanda sulama veya gübre girişi olmamasına da çok az ihtiyaç duymak zorundadır. Bu anlamda uygulama yapılacak alan için seçilen bitkiler, Tahran'nın coğrafi ve iklim koşullarına karşı dayanıklı olmasına dikkat edilmelidir. Çatıların dış havaya maruz kalma seviyeleri yüksek olduğundan, bitki türünün meteorolojik dalgalanmalara, sıcaklık, güneş / gölge, nem, don, yağış ve kuraklığa karşı dayanma kabiliyetini hesaba katmak gerekir. Fiziksel özelliklerin yanı sıra, bir bitkinin de yeşil çatılarda başarılı bir tür olması için uygun maliyetli ve hazır olması gerekir.

Tahran'daki yeşil çatı gelişiminin önündeki en büyük engel, yeşil çatıların geleneksel çatıya oranla daha yüksek maliyetli olması, İran'ın zengin doğal gaz ve petrol yataklarına sahip olması dolayısı ile fiyatların ucuz olması, enerji tasarrufu ve çevreye olumlu etkileri olan yeşil çatının kısa ve orta vadede maliyetli olacağını düşünülmesidir. İkinci bir engel olarak, kentlerin ülkedeki sürdürülebilir kalkınmasının önemli bir parçası olarak yeşil çatıyı haklı gösteremeyen yönetsel ve politika yönleriyle ilgilidir. Bu anlayışın değişmesi yaşamın önündeki fırsatların kullanılması anlamına gelecektir.

Yeşil çatı sistemini İran'nın genelindeki kentlerde yaygın olarak uygulanmasını teşvik edecek uygulamalı araştırma ve projeler sınırlıdır. Yeşil çatının insanlar, hatta yöneticiler ve yatırımcılar arasındaki gerçek avantajları hakkında yeterli bilgi eksikliğidir. Üniversiteler bu konuda öncülük yaparak, konu

ile yapacağı çalışmaların devlet ve özel sektörünün katılımı sağlanmalıdır. Mevcut komplikasyonlar ve yeşil çatı gelişiminin dünyadaki deneyimleriyle ilgili olarak, bu araştırmada şu önerilerde bulunulmuştur: Yöresel iklim ile yeşil çatı uyumuna yönelik yerel tabanlı teknolojinin geliştirilmesi, ülkenin farklı iklim koşullarına uygun bitkilerin tanıtılması, yeşil çatı gelişimi için iyi bir arka plan sağlamak amacıyla uygulamalı araştırmalar yapılması, kentsel yapının yeni gelişimi için binaların çevreci binalar olarak tasarlanması ve geliştirilmesi, kamuoyunda farkındalık yaratılması, yeşil çatı alanlarının önemi ve tanıtımı için çevre sivil toplum kuruluşları ile belediyelerin işbirliği yapılması ve diğer ülkelerin yeşil çatı teknolojileri ve deneyimlerinin kullanılmasıdır.

Çevreye duyarlı ve çevreyi tahrip etmeyen tasarımlar, alana, çatı ömrüne ve kente daha fazla değer katabildikleri dikkattan kaçmamalıdır. Sadece maliyet odaklı yaklaşımlar günü kurtarıırken, geniş bakış açısı yaşanan kenti, dünyayı ve yaşamı kurtarır. Yeşil çatıları çevreleyen ana sınırlamalar, toplumdaki bilgi eksikliği ve devlet teşviklerinin yetersizliğidir. Yeşil çatıların yararları hakkında kamuoyu bilgilendirilmesine yönelik uygulamaların gerçekleştirilmesi ve aynı zamanda ekonomik açıdan uygulanabilir hale getirilmesi için teşviklerin bulunması önemlidir. Devletin bunu politikaları ile destekleyici olması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Alnaser, N.W., Flanagan, R. and Alnaser, W.E. 2008. Model for calculating the sustainable building index (SBI) in the kingdom of Bahrain. *Energy Build*, 40:2037–2043
- Alnatheer, O. 2005. The potential contribution of renewable energy to electricity supply in Saudi Arabia. *Energy Policy*, 33:2298–2312.
- Arabi, R., Shahidan, M.F., Kamal, M.S.M., Jaafar M.F.Z. and Rakhshandehroo, B.M. 2015. Mitigating Urban Heat Island Through Green Roofs. *Special Issue of Curr World Environ*, 10: 918-927. DOI:<http://dx.doi.org/10.12944/CWE.10.Special-Issue1.111>
- Arabi, R.S. and Amir, K.S. 2014. Benefits of green roofs; a review paper. [Review paper]. *Elixir International Journal*, 68:22222-22228.
- Asadi, A. 2005. Role of NGOs in green space development in Tehran, *The 8th Asian Urbanization Conference*, 20-23 August, 2005, Japan.
- Asemani, Y., Torabi, Z., Najafi, N. and Asemani, A. 2013. Impact of green roofs on Sustainable Development. *Life Science Journal*, 10(5): 502-504 <http://www.lifesciencesite.com>
- Asif, M. 2016. Growth and sustainability trends in the buildings sector in the GCC region with particular reference to the KSA and UAE. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 55: 1267–1273.
- Asif, M. 2016. Urban Scale Application of Solar PV to Improve Sustainability in the Building and the Energy Sectors of KSA. *Sustainability*, 8.
- Asif, M. and Muneer, T. 2007. Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 11: 1388–1413.
- Balcı, S. 2009. Herbaryumu'ndaki (Ank) Crassulaceae Familyası Revizyonu ve Veri Tabanının Hazırlanması Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Ankara
- Banting, D., Doshi, H.H., Li, J. and Missios, P. 2005. Report on the Environmental Benefits and Costs of Green roof technology for the city of Toronto. *City of Toronto and Ontario Centres for Excellence — Earth and Environmental Technologies*, Toronto.
- Bass, B. and Baskaran, B. 2003. CCAF Impacts and Adaptation Progress Report. *Institute for Research in Construction National Research Council*, NRCC-46737
- Beyhan, F. and Erbaş, M. 2013. A Study on Green Roofs with the Examples from the World and Turkey. *Gazi University Journal of Science*, 26(2):303-318.
- Canan, F. 2017. Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), ss. 69-80, Eylül 2017, <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/369693>

- Carter, T. and Butler, C. 2008. Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas. *Cities Environ. (CATE)*, 1:9.
- Chapman, S. 2018. The Effect of Urban Density and Vegetation Cover on the Heat Island of a Subtropical City. *AMS 100 Journals Online*, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0316.1> [Son erişim tarihi: 22.02.2019].
- Çakır, M. 2017. İran'da Hava Kirliliği Sorunu. İRAM İran Araştırma Merkezi, (Editör: Hasan Ali Yıldırım). Ankara, Erişim Tarihi: 20.05.2019. www.iramcenter.org
- Çan, MF. 2019. Kentleşme, Sanayileşme ve Kalkınma Etkileşimi. T.C. Fırat Kalkınma Ajansı
- Çetinkaya, Ç. 2013. Eko-Kentler: Kent ve Doğa İlişkisinde Yeni Bir Sistem Tasarımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6 (1):12-16, ISSN: 1308-0040, E-ISSN: 2146-0132, www.nobel.gen.tr
- Çolakçioğlu, E. 2018. Bloomberg Döneminde New York'ta İklim Değişikliği ve Kentleşme: Etkiler ve Uygulamalar. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 36(2):1-20.
- Deniz, B., Eşbah, H., Küçükerbaş, EV. ve Şirin, U. (2008). Kentsel Alan Kullanımlarındaki Vejetasyon Yapısının Analizi: Aydın Kenti Örneği. *Çev-Kor Ekoloji Dergisi*, 17 (66), 55-64
- Dikmen, Ç.B. ve Savcı, S. 2015. Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Kapsamında Çevre Dostu Yeşil Çatı Uygulamalarının İrdelenmesi. *2nd International Sustainable Buildings Symposium ISBS, 28-30 Mayıs*, Ankara, 214-226.
- Dino, İ.G. ve Meral, Ç. 2016. Enerji-Etkin ve Sürdürülebilir Binaların Fotovoltaik ve Yeşil Çatı Entegrasyonunda Çok-Objektifli Karar Desteği. *4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 3 – 5 Kasım 2016 Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Eskişehir 1278-1289.
- Ekşi, M. 2012. Yeşil çatı sistemlerinin su ve enerji dengesi açısından değerlendirilmesi: İstanbul örneği. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Ekşi, M. 2014. Çatı bahçesi kavramı ve terim kullanımı üzerine bir değerlendirme. *Avrasya Terim Dergisi*, 2(2): 26-35, ISSN: 2147-7507.
- Ekşi, M. ve Uzun, A. 2016. Yeşil çatı sistemlerinin su ve enerji dengesi açısından değerlendirilmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 66(1):119-138. <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/jffiu> - <http://dx.doi.org/10.17099/jffiu.67110>
- Erkan, R. 2010. *Kentleşme ve Sosyal Değişme*, Bilimadamı Yayınları, Ankara, s.40.
- Erkul, E. 2012. Yeşil çatı sistemlerinin yapım açısından irdelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

- Eskandari, H., Borji, M., Khosravi, H. and Mesbahzadeh, T. 2016. Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth*, 7: 1–11, www.solid-earth.net/7/1/2016/ doi:10.5194/se-7-1-2016.
- Feng, C., Meng, Q. and Zhang Y. 2010. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy Build*, 42: 959–65
- Financial Tribune. 2016. Roof Gardens in Tehran, First Iranian English Economic Daily.
- Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L.G. and Principi, P. 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 45:8: 1890-1904, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.03.001>.
- Fotouhi, F. 2015. The role of green roofs in sustainable development. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*, 36(4): 1300-1949
- Fowler, K.M. and Rauch, E.M. 2006. Sustainable Building Rating Systems Summary; No. PNNL-15858; Pacific Northwest National Laboratory (PNNL): Richland, WA, USA.
- Francis, J., Hall, G., Murphy, S. and Rayner, J. 2014. Growing Green Guide. Inner Melbourne Action Plan. *Making Melbourne More Liveable*, 1-122, ISBN 978-1-74326-715-8
- Gaffin, S.R., Khanbilvardi, R. and Rosenzweig, C. 2009. Development of a Green Roof Environmental Monitoring and Meteorological Network in New York City. *Sensors (Basel)*9(4): 2647–2660. doi:10.3390/s90402647
- Gaffin, S.R., Rosenzweig, C., Khanbilvardi, R., Parshall, L., Mahani S., Glickman, H., Goldberg, R., Blake, R., Slossberg, R.B. and Hillel, D. 2008. Variations in New York City's Urban Heat Island Strength Over Time and Space. *Theor. Appl. Climatol*, 94:1–11.
- Golmehr, E. 2008. A remote sensing evaluation for agronomic land use mapping in Tehran Province, Iran. *JASEM J. Appl. Sci. Environ. Manage.* June, 12(2): 43 - 46 ISSN 1119-8362 43-46
- Goya, N. 2004. Green Roof Policies: Tools for Encouraging Sustainable Design. Landscape Architecture Canada Foundation.
- Green Roof Manual, 2009. <http://www.scribd.com/doc/44824824/GreenRM>. [Son Erişim Tarihi: 26.10.2018]
- Gül, A. ve Polat, E., 2009. Kentlerin Geleceği İçin Bir Zorunluluk, Bütüncül Ekolojik Yaklaşımlar. Uluslararası Ekolojik Mimarlık ve Planlama Sempozyumu. Ekim 2009. Antalya.
- Gültekin M. ve Doğan A. 2018. Gelenekselden Moderniteye Değişen Kentsel Yaşam ve Kent Kültürü: Elazığ Örneği. *Tarih Okulu Dergisi (TOD)*, 11(XXXVII-2), ss.334-370. DOI No: <http://dx.doi.org/10.14225/Joh1471>

- Heidarinejad, G. and Esmaili, A. 2016. Assessment of green roof energy savings compared to conventional roof. *Tarbiat Modares University*, Tehran, Iran.
- Hoffman, L. And McDonough, W. 2004. Green Roof Books: Green Roofs: Ecological Design and Construction, Schiff er Publishing, 1-158; <http://www.waitakere.govt.nz/abtci/ec/ecoinit/pdf/greenroof-informationbook.pdf> [Son Erişim Tarihi:06.03.2018].
- Iqbal, M.T. A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland. *Renew. Energy* 2004, 29, 277–289.
- Iravani, H., Karimi, S., Hosseinbozorgiyan, A., Laricheh, D. and Pahlevan S.O. 2015. Introducing the Plants Used in the Design of Green Roofs in Iran. *Buletin Teknol. Tanaman, Bil.12, Tambahan*, 2:123-132.
- Iwaro, J. and Mwasha, A. 2013. The impact of sustainable building envelope design on building sustainability using Integrated Performance Model. *Int. J. Sustain. Built Environ*, 2:153–171.
- Jacopo M., Isaia P. and Emanuele S. 2018. Green Roofs: For or Against ? 5B, I.I.S. G. Garibaldi. http://water-culture-agraria-macerata.weebly.com/uploads/2/0/3/1/20312771/green_roof_english_project.pdf. pp. 6-7
- Jaffal, I., Ouldboukhitine, S.E. and Belarbi, R. 2012. A comprehensive study of the impact of Green Roofs on building energy performance. *Renew. Energy*, 43:157–164
- Kabuloğlu, K.S. 2005. Yeşil Çatıların Ekolojik Yönden Değerlendirilmesi. *Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, İTÜ, İstanbul.
- Kalantari, M., Ghezelbash, S. and Yaghmaei. B. 2016. People and Green Roofs: Expectations and Perceptions of Citizens about Green Roofs Development, an Iranian Case Study. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 7133-147. MCSER Publishing, Rome-Italy.
- Karabacak, A. 2016. Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımının Türkiye Ortamı Ve Koşullarına Uyarlama Raporu: Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı ile Proje Geliştirme Süreci Uygulama Kılavuzu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) Mayıs 2016, ISBN: 978-605-5310-90-5, file:///C:/Users/Packard%20Bell/Downloads/ecitydoc.com_bbtty-uyarlama-raporu-yenilenebilir-enerji-genel-mdrl.pdf
- Karaman, Y.E. 2018. Çevre Performans Endeksi Kapsamında Avrupa Birliği ve Türkiye'nin Karşılaştırılması. *Online Sosyal ve Beşeri Bilimleri Dergisi*, 10(1):1309 -8012.
- Karaosman, S.K. 2005. Yeşil Çatıların Ekolojik Yönden Değerlendirilmesi. *2.Ulusal Çatı Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*.

- Karen, L. 2002. Enerji verimliliği ve çevresel faydaları çatı bahçeleri. *National Research Council*, Canada, March, 44(2):17, 20-23.
- Kılıç, S. 2006. Modern Topluma Ekolojik Bir Yaklaşım. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (12) 2006 / 2 : 108-127
- Kınalı, M. 2013. Farklı İklim Bölgelerindeki Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Kobyay, H.B. 2017. Düşey yeşil cepheler ve yeşil çatıların ekolojik kriterler bakımından incelenmesi ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Konya.
- Koç, N. ve Güneş, G. 1998. Çatı Bahçelerinde Bitkisel Düzenleme Esasları, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1-2): 625-633.
- Korkut Aslı., Kiper Tuğba. ve Üstün Topal Tuğba. 2017. Kentsel Peyzaj Tasarımında Ekolojik Yaklaşımlar. *Artium Dergisi*, 5(1):14-26.
- Köse, İ. 2018. İklim değişikliği müzakereleri: türkiye'nin paris anlaşması'nı imza süreci. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 9(1): 55-81 <http://dx.doi.org/10.18354/esam.329348>
- Kuşçu Şimşek, Ç. ve Şengezer, B. 2012. İstanbul Metropoliten Alanında Kentsel Isınmanın Azaltılmasında Yeşil Alanların Önemi. *MEGARON* 2012;7(2):116-128
- Li W.C. and Yeung K.K.A. 2014. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment* 3, 127–134.
- Lotf, S. 2012. An investigation of urban green roof development in developing countries (A case study of Iran). *The 2012 World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Research (ACEM' 12)*, Seoul, Korea, August 26-30, p.3014
- Mahdeloei, S., Farahani, F.H. and Shakori, M.J. 2012. The Role of Roof Gardens in Saving Energy and Reducing the Heat Island Phenomenon. *Annals of Biological Res.*, 3(4): 1704-1707.
- Mahdeloei, S., Farahani, F.H. and Shakori, M.J., The role of roof gardens in saving energy and reducing the heat island phenomenon. *Annals of Biological Res*, 3(4): 1704-1707. 2012.
- Mahmoud, A.S., Muhammad, A., Mohammad, A. Hassanain, Mohammad, O. B. and Muizz, O. S.A. 2017. Energy and economic evaluation of green roofs for residential buildings in hot-humid climates. *Buildings. Buildings Journal*, 7(30):1-14. doi:10.3390/buildings7020030
- Masoomzadeh, J., Rahmani M. ve Jafari, A. 2017. Cost Management of Urban Green Space (Case Study: Tehran), Department of Industrial Engineering Group. *University of Science and Culture*, Tehran, Iran, 111-125.

- Mentens, J, Raes D, Hermy M. 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landsc Urban Plann*, 77: 217- 260.
- Molineux, C.J., Fentiman, C.H., and Gange, A.C. 2009. Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U.K. *Ecological Engineering*, 35(10): 1507- 1513.
- Møller, L.F. and Jensen, F.M.B. 2017. Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services. *Urban Forestry and Urban Greening*, 28, 167-176.
- Morau, D., Tiana, H.R., Ranaivoarisoa, T.F. and Andriamamonjy, A.L. 2018. Thermal Behavior of Green Roof in Reunion Island: Contribution Towards a Net Zero Building, *Elsevier Science Direct*, HAL Id: hal-01153029 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01153029>
- Ngan, G., 2004. Green Roof Policies: Tools for Encouraging Sustainable Design, Landscape Architecture Canada Foundation, Kanada.
- Nicholaus, D., VanWoert, D., Rowe, B. Andresen, J.A., Rugh, C.L. Fernandez, R. T. and Xiao, L. 2005. Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth, 11;34(3):1036-44.
- Oberndorfer, E. Lundholm, J. Bass, B. Coffman, R.R. Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S. Köhler, M. Karen K. Y. Liu, and Rowe, B. 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, *BioScience*, 57(10) 102-121.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M. ve Pehlivan, M. 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alinteri Dergisi*, 17 (B) – 2009 14-26 ISSN:1307-3311
- Oke, T.K. 1973. City Size and the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment Pergamon Press*, 7(8):769-779·Printed in Great Britain. DOI: 10.1016/0004-6981(73)90140-6
- Osmundson, T. 1999. *Roof Gardens: History, Design and Construction*. New York: W.W Norton & Company, Inc.
- Ouldboukhitine, S.E., Belarbi, R., Jaffal, I. and Trabelsi, A. 2011. Assessment of green thermal behavior: A couple heat and mass transfer model. *Build. Environ*, 46: 2624–2631.
- Önder, S. 2014. Advances of Green Roofs for Environment in Urban Areas. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, Special, 2.
- Özyavuz, M., Karakaya, B. ve Ertin, D.G. 2015. The Effects of Green Roofs on Urban Ecosystems, GreenAge Symposium, Mimar Sinan Fine Arts, University Faculty of Architecture 15-17 April 2015, İstanbul, Türkiye.
- Papatya Seçkin, N. ve Seçkin, Y.Ç. 2016. Mimari Tasarımda Yeşil Çatıların Gelişimi. 8. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 2– 3 Haziran 2016 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi*, Fındıklı - İstanbul.

- Parast, M.V. Saremi, H. and Shokohi, H. 2014. Ecological role of green roofs in sustainable urban development. *Indian J.Sci.Res.* 4 (3): 354-365.
- Parham, A. ve Mirzaei, F.H. 2010. Approaches to study Urban Heat Island e Abilities and limitations. *Elsevier Building and Environment*, 45: 2192-2201 journal homepage: www.elsevier.com/locate/buildenv
- PGSTM. 2010. Vertical development of green roof in Tehran. Park and Green Space of Tehran Municipality. <http://parks.tehran.ir>.
- Pouya, S. 2017. Healing gardens in the mega cities; example of Tehran. *Urban Academy Rewieved Journal of Urban Culture and Management*, 10(2):139-156.
- Raheb, G. 2014. Recommending an Appropriate Type of Green Roof Taking into Account Urban Typology and Climatic Zoning in Iran. *Environmental Sciences*, 11(4): 89-10.
- Rakotondramiarana, H.T., Ranaivoarisoa, T.F. and Morau, D. 2015. Dynamic Simulation of the Green Roofs Impact on Building Energy Performance, Case Study of Antananarivo, Madagascar. *Buildings*, 5, 497-520; doi:10.3390/buildings5020497 [Son erişim tarihi: 01.03.2019].
- Samiei, K. 2018. Tehran, the city of river valleys, needs a landscape ecological approach to the design and planning of its waterways. <https://www.thenatureofcities.com/2014/07/16/tehran-the-city-of-river-valleys-needs-a-landscape-ecological-approach-to-the-design-and-planning-of-its-waterways/>
- Schrader, S. and Böning M. 2006. Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans. *Pedobiologia*, 50:347 56.
- Seçer Kariptaş F. 2010. *Yeşil Çatıların Ekoloji Bağlamında Değerlendirilmesi Ve Turkcell Ar-Ge Binası Örneği*. 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 15 - 16 Nisan 2010 Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Tınaztepe yerleşkesi Buca – İzmir1-8
- Sobstyl, J.M., Emig, T., Qomi, M.J.A., Ulm, F.J., Pellenq, R.J. 2018. Role of city texture in urban heat islands at nighttime. 120(10):108701. doi: 10.1103/*PhysRevLett*, 120.108701. [Son erişim tarihi: 17.02.2019].
- Söğüt, Z. ve Şenol, D. 2014. Kentsel Çevre Kapsamında Yeşil Çatı ve Cephelerin Değerlendirilmesi. 2. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu (ISEM 2014), Adıyaman, Türkiye, 733-742.
- Spala, A., Bagiorgas, H.S., Assimakopoulos, M.N., Kalavrouziotis, J., Matthopoulos, D. and Mihalakakou, G. 2008. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. *Renew. Energy*, 33:173–177
- Srivastava, R. 2011. Green Roof Design And Practices: A Case of Delhi, B.Arch., Guru Gobind Singh Indraprastha University, 2007, M.Arch., Kent State University.

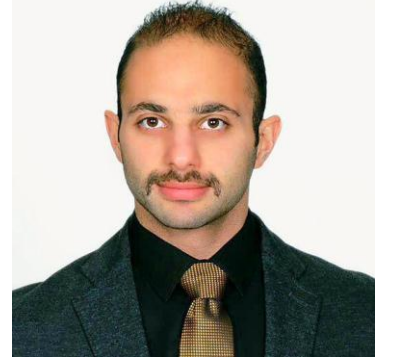
- Suganthi, L. And Samuel, A.A. 2012. Energy models for demand forecasting—A review. *Renew. Sustain. Energy Rev*,16:1223–1240.
- Sukopp, H. 2004. Human-Caused Impact on Preserved Vegetation. *Landscape and Urban Planning*, 68: 347-355.
- Tahran'ın Jeomorfolojisi. (atlas.tehran.ir)
- Terés-Zubiaga, J., Campos-Celador, A., González-Pino, I. and Escudero-Revilla, C. 2015. Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in Northern Spain. *Energy Build*, 86:194–202.
- The Benefits and Challenges of Green Roofs on Public and Commercial Buildings
A Report of the United States General Services Administration (GSA), 2011:2
- Tohum, N. 2011. Sürdürülebilir Peyzaj Tasarım Aracı Olarak “Yeşil Çatılar”. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Tozam, İ ve Bulut Karaca, Ü. 2018. *Kentsel Isı Adası Etkisi ve Serin Çatılar*. 9. Ulusal Çatı & Cephe Konferansı 12 - 13 Nisan T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi – Ataköy Yerleşkesi – Akingüç Oditoryumu. 1-12
- Tozam,İ.2019.Kentsel ısı adası etkisinde: kentsel yüzey malzemeleri ve serin çatılar. <http://www.turkchem.net/kentsel-isi-adasi-etkisinde-kentsel-yuzey-malzemeleri-ve-serin-catilar.html> [Son erişim tarihi: 8.03.2019].
- Ulubeyli, S., Arslan V. and Kazaz, A. 2017. Comparative life cycle costing analysis of green roofs: the regional aspect. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 5 (2): 136-144.
- Ulubeyli, S., Arslan V. and Kazaz, A. 2018. Perceptions of Turkish construction professionals on the use of green roofs. *Proceedings of the 4th International Symposium on Environment and Morals (ISEM)*, June 27-29, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 113-118.
- Ulubeyli, S., Kazaz, A. and Er, B. 2012. Comparative economic valuation of green roofs: an overview. *Proceedings of the 38th IAHS World Congress on Housing*, April 16-19, Istanbul, Turkey, pp. 1111-1116.
- United Nations Population Division. 2008. World Urbanization Prospects: The 2007 Revision.[online]. *Population Database*, <http://esa.un.org/unup/>.
- Van Renterghem, T. and Botteldooren D. 2011. In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Build Environ*, 46:729-738.
- Van Woert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L. and Xiao, L. 2005. Watering regime and green roof substrate design affect *Sedum* plant growth. *HortScience* 40, (3): 659–664.
- Waldbaum, H. 2008. Green Roofs for Urban Agriculture. Dagenham: University of East London, School of Computing and Technology, MSc Architecture: Advanced Environmental and Energy Studies.

- Weiler, S.K. and Scholz-Barth, K. 2009. *Green Roof Systems: A Guide to the Planning, Design, and Construction of Landscapes Over Structure*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Werthmann, C. 2007. *Green Roof: A Case Study*. New York: Princeton Architectural Press.
- World Bank-WDI; Hannah Ritchie and Max Roser. 2018. – “Air Pollution”. *Published online at Our World In Data.org*. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/air-pollution').
- World Health Organization WHO. 2018. Exposure to ambient air pollution from particulate matter for 2016, 2
http://www.who.int/airpollution/data/AAP_exposure_Apr2018_final.pdf
- Yale University, 2018. Environmental Performance Index 2018 Report, <http://epi.yale.edu/https://epi.envirocenter.yale.edu/downloads/epi2018policy-makers-summaryv01.pdf> [Son Erişim Tarihi 15.02.2019].
- Yıldız Aksoy S. 2010. İçmek Çatı Bahçelerinin Kent Yaşamındaki Yeri ve Önemi: İstanbul Kentinden Örnekler, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 15 -16 Nisan 2010 Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Tınaztepe Yerleşkesi Buca – İzmir.
- Yücel, Ç. 2009. Sürdürülebilirlik ve Yeşil Çatılar. 21. Yapı ve Yaşam Kongresi, Bursa.
- Zhang, Z., Szota, C. Fletcher, T.D., Nicholas, S.G. and Claire Farrell, W. 2019. Green roof storage capacity can be more important than evapotranspiration for retention performance, *Journal of Environmental Management*, 232: 404-412.

ÖZGEÇMİŞ

Amirmohammad DARYAEI

E-mail: amir.daryaei91@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2017-2019	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	İslamik Azad Üniversitesi
2009-2014	Fen Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çalus-İran

ESER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1-MEASUREMENT OF THE EFFECT OF GREEN ROOF SYSTEMS ON ENERGY EFFICIENCY: THE CASE OF TEHRAN. ICEARC'19 – Trabzon, Türkiye