

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERİN ENERJİ ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif ERDOĞDU

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

OCAK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERİN ENERJİ ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Elif ERDOĞDU
(502111506)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İkbâl ÇETİNER

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502111506 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Elif ERDOĞDU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERİN ENERJİ ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İkbâl ÇETİNER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Gülten MANİOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Özlem EŞSİZ EREN
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Teslim Tarihi : 16 Aralık 2013
Savunma Tarihi : 23 Ocak 2014

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca, beni sabırla dinleyen, değerli yardımlarıyla yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. İkbâl Çetiner'e, daimi destekçim aileme ve beni motive eden arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ocak 2014

Elif Erdoğan
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Sorun	1
1.2 Amaç	4
1.3 Kapsam.....	5
1.4 Yöntem	6
2. DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLER.....	7
2.1 Düşey Yeşil Sistemlerin Tanımı	7
2.2 Düşey Yeşil Sistemlerin Tarihsel Gelişimi	8
2.3 Düşey Yeşil Sistemlerin Sağladığı Yararlar	10
2.3.1 Çevresel yararlar	10
2.3.1.1 Kentsel ısı adası etkisini azaltması	10
2.3.1.2 Dış mekan hava kalitesini artırması	13
2.3.1.3 Bulunduğu çevredeki ekolojik özellikleri iyileştirmesi.....	14
2.3.1.4 Yağmur suyuna ve güneş ışınlarına karşı koruma ve gölgeleme sağlaması.....	15
2.3.1.5 İç mekan sıcaklığını düzenlemesi ve ısı yalıtımı sağlaması	15
2.3.1.6 Ses yalıtımı sağlaması	16
2.3.2 Sosyal yararlar	16
2.3.2.1 Estetiğin düzenlenmesi.....	17
2.3.2.2 İnsan psikolojisine olumlu etki etmesi	17
2.3.3 Ekonomik yararlar	17
2.3.3.1 Enerji verimliliğini artırması	17
2.3.3.2 Uygulandığı binanın değerini artırması	18
2.4 Düşey Yeşil Sistemlerin Neden Olduğu Zararlar	19
2.5 Düşey Yeşil Sistemlerin Sınıflandırması.....	19
2.5.1 Yeşil cepheler.....	20
2.5.1.1 Toprakta yetişen yeşil cepheler	20
2.5.1.2 Saksıda yetişen yeşil cepheler	21
2.5.2 Bitkilenmiş duvarlar	22
2.5.2.1 Doğal bitkilenme.....	23
2.5.2.2 Bitkilenmeye uygun ön üretimli paneller.....	23
2.5.3 Yaşayan duvarlar	23
2.5.3.1 Ön üretimli sistemler.....	24
2.5.3.2 Yerinde yapım sistemler	26
2.6 Düşey Yeşil Sistemlerde Malzeme ve Bileşenler.....	27
2.6.1 Bitki	27

2.6.2 Bitki yetiştirme ortamı.....	29
2.6.3 Bitki taşıyıcı bileşen	31
2.6.4 Sulama sistemi	33
2.6.5 Taşıyıcı sistem.....	34
2.6.6 Su yalıtım katmanı	34
2.6.7 Isı yalıtım katmanı.....	34
2.6.8 Buhar kesici katman.....	35
2.6.9 Duvar gövdesi bileşeni.....	35
2.7 Düşey Yeşil Sistemlerin Uygulama Örnekleri.....	36
2.7.1 Living Map on Copenhagen Wall	36
2.7.2 Otel Ushuaia Low-Tech Vertical Garden	39
2.7.3 Casa Vallarta Greenwalls	41
2.7.4 Havacılık Kültür Merkezi	43
2.7.5 MFO Park	45
2.8 Bölüm Sonucu	47
3. DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERİN ENERJİ ETKİN TASARIMINDA ETKİLİ	
PARAMETRELER	49
3.1 İklima İlişkin Parametreler	49
3.1.1 Güneş ışınlı	49
3.1.2 Dış hava sıcaklığı	52
3.1.3 Yağış miktarı ve nem	52
3.1.4 Rüzgar.....	53
3.2 Cepheye İlişkin Parametreler	54
3.2.1 Cephnenin bulunduğu yer	54
3.2.2 Bina aralıkları.....	55
3.2.3 Cephnenin yönlendiriliş durumu.....	55
3.2.4 Cephe formu.....	56
3.2.5 Kabuk özellikleri.....	57
3.3 Bölüm Sonucu	58
4. DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERDE ENERJİ ETKİNLİK DEĞERLENDİRMESİ	61
4.1 Enerji Etkinlik Değerlendirmesinde Benzetim Programı Kullanımı.....	61
4.1.1 Enerji modelleme benzetim programları.....	62
4.1.2 EnergyPlus	62
4.2 Uygulama	64
4.2.1 Benzetim yapılacak bina modelinin belirlenmesi	64
4.2.2 Seçeneklerin oluşturulması ve programda tanıtılması	69
4.2.3 Seçenekler için toplam enerji tüketiminin hesaplanması	71
4.2.4 Sonuçların enerji etkinlik açısından değerlendirilmesi	75
4.3 Bölüm Sonucu	79
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	89

KISALTMALAR

U	: Yapı bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı
U_D	: Dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı
U_T	: Tavanın ısı geçirgenlik katsayısı
U_t	: Zemine oturan tabanın/döşemenin ısı geçirgenlik katsayısı
U_P	: Pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı
TS	: Türk standartları
MÖ	: Milattan önce
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
yy	: Yüzyıl
PVC	: Polivinil klorür
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen (High Density Polyethylene)
HVAC	: Isıtma Havalandırma İklimlendirme (Heating Ventilating Air Conditioning)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Kırsal alan ile kentsel alanların iklimsel parametrelerinin karşılaştırması	4
Çizelge 2.1 : Çıplak ve yeşil cephelerin ısı geçirgenlik katsayıları ve fayda oranları.....	18
Çizelge 2.2 : Living Map on Copenhagen Wall analizi	38
Çizelge 2.3 : Living Otel Ushuaia Low-Tech Vertical Garden analizi	40
Çizelge 2.4 : Casa Vallarta Greenwalls analizi	42
Çizelge 2.5 : Havacılık Kültür Merkezi analizi	44
Çizelge 2.6 : MFO Park analizi	46
Çizelge 3.1 : Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	50
Çizelge 3.2 : Düşey yeşil sistemlerin enerji etkin tasarımında etkili parametrelerin uygulama ilkeleri	59
Çizelge 4.1 : Bina elemanlarına ait katmanlaşma modelleri ve malzeme özellikleri	68
Çizelge 4.2 : Hesaplanan yalıtım malzemesi kalınlıkları	69
Çizelge 4.3 : Bina elemanlarına ait ısı geçirgenlik katsayıları	69
Çizelge 4.4 : Seçeneklerin kodları	71
Çizelge 4.5 : Opak dış duvar dış yüzey sıcaklıkları	72
Çizelge 4.6 : Cephelere göre zonların iç ortam sıcaklıkları	73
Çizelge 4.7 : Cephelere göre yıllık ısıtma, soğutma enerjisi tüketimi ve yıllık toplam enerji tüketim miktarları.....	74
Çizelge 4.8 : İllerin toplam enerji tüketimi açısından fayda oranları (%).....	78
Çizelge 4.9 : Bina modeline ilişkin bilgiler	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Sera etkisinin şematik gösterimi	2
Şekil 1.2 : Tezin kapsam şeması.....	5
Şekil 2.1 : Babil'in Asma Bahçeleri.....	8
Şekil 2.2 : MFO Park.....	9
Şekil 2.3 : Açık yaz gününde Dünya yüzeyine ulaşan Güneş enerjisi dalga boyları	11
Şekil 2.4 : Kent merkezinde çevresine göre akşam saatlerinde görülen sıcaklıklar	12
Şekil 2.5 : Kentsel yüzeylerdeki ısı transferleri	13
Şekil 2.6 : Yeşil cephenin havadaki SO ₂ dağılımına etkisi	14
Şekil 2.7 : Delft'te yaz mevsiminde toprakta bitkilendirilmiş yeşil cephe uygulamasının kızılötesi kamerayla cephe sıcaklığına etkisinin ölçümü	16
Şekil 2.8 : Almanya'da bitki nedeniyle hasar görmüş yığma tuğla duvar	19
Şekil 2.9 : Yeşil cephe tiplerinin şematik kesitleri	20
Şekil 2.10 : Bitkilenmiş duvar tiplerinin şematik kesitleri	22
Şekil 2.11 : Yaşayan duvar sistemi tiplerinin şematik kesitleri	24
Şekil 2.12 : Patrick Blanc'a ait bitki dokusu eskizi ve uygulaması	28
Şekil 2.13 : Bitki yetiştirme ortamı	29
Şekil 2.14 : Mineral yünü halindeki yetiştirme ortamı	30
Şekil 2.15 : Köpük levha halindeki yetiştirme ortamı ve iskelet sistemi	30
Şekil 2.16 : Tel kafes uygulaması	31
Şekil 2.17 : Modüler kafes panel uygulaması	31
Şekil 2.18 : Kablo ve tel halatlarla oluşturulan yeşil cephe uygulaması	32
Şekil 2.19 : Modüler panel kutu uygulaması	32
Şekil 2.20 : Taşıyıcı sistem tipleri	34
Şekil 2.21 : Seçilen uygulama örneklerinin Dünya üzerinde bulunduğu ülkeler	36
Şekil 2.22 : Living Map on Copenhagen Wall	37
Şekil 2.23 : Living Map on Copenhagen Wall	37
Şekil 2.24 : Otel Ushuaia Low-Tech Vertical Garden	39
Şekil 2.25 : Otel Ushuaia Low-Tech Vertical Garden	39
Şekil 2.26 : Casa Vallarta Greenwalls	41
Şekil 2.27 : Casa Vallarta Greenwalls	41
Şekil 2.28 : Havacılık Kültür Merkezi	43
Şekil 2.29 : Havacılık Kültür Merkezi	43
Şekil 2.30 : MFO Park	45
Şekil 2.31 : MFO Park	45
Şekil 3.1 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	50
Şekil 3.2 : Bitki seçimi - güneş ışını ilişkisi.....	51
Şekil 3.3 : Yağmur suyu biriktirme diyagramı	53
Şekil 3.4 : Düşey yeşil sistemler ve rüzgar ilişkisi	54
Şekil 3.5 : Cephenin yönlendiriliş durumu ve güneş ışıınımı ilişkisi	56
Şekil 3.6 : Dik açılı cephe formu ve güneş ışını geliş açısı diyagramı	57
Şekil 4.1 : DOE-2, BLAST, IBLAST ve EnergyPlus programlarının genel özelliklerinin karşılaştırılması.....	63
Şekil 4.2 : Simülasyon işlemi gerçekleştiren EnergyPlus arayüzü	63

Şekil 4.3 : Bina tipine göre enerji tüketimi dağılımları	65
Şekil 4.4 : Bina modeli (şematik plan ve kesit)	65
Şekil 4.5 : Türkiye'deki derece gün bölgelerine göre illerimiz	66
Şekil 4.6 : Şematik vaziyet planı	66
Şekil 4.7 : Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri	67
Şekil 4.8 : Yaşayan duvar (yerinde yapım-keçe katmanlı) tipi duvar kesiti	70
Şekil 4.9 : Benzetim programında kullanılan seçenekler.....	70
Şekil 4.10 : İstanbul ili seçeneklerinin toplam enerji tüketimleri ve fayda oranları ...	76
Şekil 4.10 : İzmir ili seçeneklerinin toplam enerji tüketimleri ve fayda oranları.....	77
Şekil 4.11 : Ankara ili seçeneklerinin toplam enerji tüketimleri ve fayda oranları	78

SEMBOL LİSTESİ

°C	: Santigrat derece
kWh	: Kilowatt saat
%	: yüzde
°K	: Kelvin derece
m²	: Metrekare
W/m²K	: Watt metrekare kelvin
dB	: Desibel
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
kg/m²	: Kilogram bölü metrekare
kg	: Kilogram
kWh/m²	: Kilowatt saat bölü metrekare
kg/m³	: Kilogram bölü metreküp
J/kg-K	: Joule bölü kilogram kelvin

DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERİN ENERJİ ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Çevre kirliliği ve küresel ısınma ve neden oldukları sorunlar her geçen gün kentsel yaşamdaki etkisini arttırmaktadır. Çözüm arayışında, çevreye duyarlı ve enerji etkin tasarımlar geliştirmek üzere önerilen seçeneklerden birisi de düşey yeşil sistemlerdir. Çalışmada amaçlanan, bu sistemlerin uygulandığı binanın enerji tüketimine olan etkisini araştırmak ve ve sağladığı faydayı ortaya koyarak, tasarımcı, yüklenici ve kullanıcılar için bir rehber oluşturmaktır.

Bu amaçla tez kapsamında, düşey yeşil sistemler tanıtılmakta, sağladığı yararlar, sınıflandırmaları, katmanlaşma modelleri, kullanılan malzemeler ile bileşenler detaylı bir biçimde anlatılmakta, yurtdışından uygulama örnekleri verilmekte, sistemlerin enerji etkin tasarımında etkili parametrelere değinilmekte ve referans bir bina için oluşturulan seçeneklerin benzetim programı yardımıyla enerji analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir.

Tez beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde; çalışma konusunun seçilmesinde etkili olan sorun, amaç, kapsam ve yöntem anlatılmaktadır.

İkinci bölümde; düşey yeşil sistemler detaylı bir şekilde tanıtılmakta, çevresel, sosyal ve ekonomik yararlarından söz edilmektedir. Bölümde ayrıca düşey yeşil sistemlerin sınıflandırması yapılmakta, her bir sınıflandırma detaylı bir şekilde incelenmekte, olası katmanlaşma modelleri oluşturulmaktadır. Ayrıca kullanılan malzeme ve bileşenlerden bahsedilmekte, verilen örnekler ile sistemin uygulanabilirliği ortaya koyulmaktadır.

Üçüncü bölümde; düşey yeşil sistemlerin enerji etkin tasarımında etkili olan iklime ve cepheye ilişkin parametreler anlatılmakta ve bu parametrelere dayalı olarak düşey yeşil sistem uygulamalarında dikkate alınması gereken ilkeler ortaya koyulmaktadır.

Dördüncü bölümde; ikinci bölümde tanıtılan düşey yeşil sistem tipleri arasından seçilen bir tanesi için benzetim programı ile enerji analizleri yapılarak sonuçları değerlendirilmektedir. Bu kapsamda; öncelikle enerji modellemede benzetim programlarının öneminden bahsedilmekte, tezde kullanılan EnergyPlus programının seçilme nedenleri açıklanmaktadır. Daha sonra aşağıda sıralanan uygulama çalışması adımları detaylı olarak anlatılmaktadır:

- Benzetim yapılacak bina modelinin belirlenmesi
- Seçeneklerin belirlenmesi
- Seçenekler için toplam enerji tüketimlerinin hesaplanması
- Sonuçların enerji etkinlik açısından değerlendirilmesi

Elde edilen sonuçların ortaya koyulduğu değerlendirme bölümünde; illerin ve bitkilendirilmiş cephelerin değişimine bağlı olarak ortaya çıkan 18 seçeneğin hepsinde, düşey yeşil sistemlerin enerji korunumu açısından fayda sağladığı görülmüştür. Bitkilendirilmiş cephe yönü açısından bakıldığında, en büyük faydayı tüm cephelerin bitkilendirildiği seçenek sağlamakta, bunu kuzey, batı, doğu ve güney cephelerinin bitkilendirildiği seçenekler takip etmektedir. Düşey yeşil sistemin uygulandığı il açısından bakıldığında ise, en büyük faydayı Ankara ili sağlarken, onu sırasıyla İzmir ve İstanbul illeri takip etmektedir.

Yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler neticesinde sonuç bölümünde, düşey yeşil sistemlerin mimaride yeni ve çevreye duyarlı anlayışlar geliştirmek ve daha yaşanabilir çevreler tasarlamak için önemi azımsanmayacak çözümler sunduğu ortaya konmuştur. Enerji korunumuna sağladığı faydalar göz önüne alındığında, düşey yeşil sistemlerin ülkemizde yaygınlaşması sağlanmalı ve kullanımı teşvik edilmelidir.

EVALUATION OF VERTICAL GREEN SYSTEMS IN TERMS OF ENERGY EFFICIENCY

SUMMARY

Today, there are several important environmental problems in metropolitan cities. These problems make the cities unhealthy places that they have listed below:

- Environmental pollution
- Global warming
- Urban heat island effect

The air, water and soil, which are the most important sources for life, have been polluted. Environmental pollution results in destructing natural resources, polluting air, soil and water, reducing biodiversity and forest, and increasing non-toxic living environment in urban areas. Therefore, cities have turned into dirty living spaces.

Another important and current issue is global warming. Carbon dioxide from the burning of fossil fuels is the major reason of global warming. Energy conservation is a way to decrease emissions of carbon into the atmosphere.

“Urban Heat Island Effect“ which is referred as temperature rise between urban areas and surrounding rural areas is caused by decreasing green areas and evaporation surfaces, and increasing areas of building surfaces and asphalted surfaces.

The amount of energy consumption in the process of production, construction and use of buildings is the major part of total energy consumption in the World. Minimizing this consumption in building life cycle should be provided by using energy efficient systems in architectural design.

Energy efficient systems consist of minimizing heat losses and maximizing heat gains to use sun energy, to provide natural ventilation and benefit from daylight as possible in a built environment.

Façades are one of the most efficient building elements in order to supply energy efficiency in process of building design. For this aim, a holistic approach can be followed to integrate sustainable system and technologies with façade design. A green façade, where foliage covers the external wall of a building, is considered to be a sustainable solution.

Vertical green systems have been recognized as a great potential of limiting the Urban Heat Island effect and global warming by removing heat from the air through evapotranspiration of the plants, which leads to reduction of the temperature differences between the vertical surfaces and the surrounding air.

In Turkey, wall greening is not used in façade vegetation due to technical and economic reasons, while green roofs are more common in use. However, the integration of vegetation with building vertical surfaces will provide an important potential for greening the urban areas where land use reduce, and consecutively for achieving a more sustainable built environment.

On the other hand, the number of the studies investigating the effects of vegetated walls on environmental problems and energy efficiency is very less. Therefore, in this study, vertical green systems are examined with this perspective and evaluated quantitatively in terms of energy efficiency.

This study aims to assess the energy performance of vertical green systems for different climatic regions of Turkey. The cities of Istanbul, Ankara and Izmir in which office buildings are located densely were selected for the energy analyses.

The thesis consists of five sections. The aim, scope and method of the thesis were mentioned in the first section.

In the second section, their types, materials and technologies used, and their advantages/disadvantages of vertical green systems were described. Moreover, vertical green system applications, which were selected from different regions of the World, were analyzed.

The third section presents the parameters affecting energy efficient design of vertical green systems.

In the forth section, an application study was made for evaluating the efficiency of vertical green systems by using a simulation tool, namely EnergyPlus software. This is mainly developed to simulate the energy performance of the buildings. The energy analyses of new or existing building represent how efficient a building is or will be, and also help finding the best efficient choice of the whole building system.

The researches which were made by using EnergyPlus in the past, have shown that vertical greenery reduce heating and total loads of buildings, and have improved building energy performance. The focus of application study is therefore on evaluating heating and cooling loads, total energy consumption and benefit of vertical green system. The steps of the study were determined as below;

- Determining building simulation model
- Generating alternatives and defining data
- Calculating the total energy consumption of the alternatives
- Evaluation results in terms of energy efficiency

First step aims to determine the building model:

- The simulated building consists of five floors.
- The floor area is 400 m².
- It is an office building and has no indoor walls.
- It is specified that 20 people work on each floor.
- The comfort temperature of office is accepted to be 23°C.
- The building envelope alternatives are created according to heat transmission coefficient values (U values, W/m²K) given in TS 825, which is a Turkish Standard on Heat Insulation Rules in Buildings.
- Of vertical green systems, living wall system is selected for the study because it is more advanced and familiar type than the others.

In the second step, 18 different configurations for building model are generated. One of them is the reference façade without green. The other variables selected are listed below:

- location of building
- direction of greenery façade

The total energy consumption of the alternatives is calculated in the third step.

The forth step presents the evaluation results listed below:

- The energy efficiency of the vertical green system is suitable for the selected cities of Turkey.
- Heating loads decrease in Izmir, Istanbul and Ankara. This considerably is useful for reducing energy consumption. Cooling loads, however, increase for all selected cities because soil and plant layers store heat which is gained sun's energy, and vertical green systems are air-tightness and cause lack of natural ventilation. It is found similiar results in the work of Gupta et al (2011). According to their study, different natural ventilation strategies, with varying air-change rates, would affect the performance of the green walls.
- Total energy consumptions reduce in the cities of Ankara, Izmir and Istanbul, respectively.
- The simulation results show that the most efficient case in terms of energy efficiency is the using of plant on all orientations.

The studies after that, it can be aimed to measure more effective results to change input data of building model:

- Type of living wall systems to reduce tightness of façade.
- Type of mechnical heating and cooling.
- Position of surrounding buildings because of shading effect.

It is expected that this study will create a guide to designer, contractors and users, decreasing the energy consumption because of façade. Also, further works can purpose to make environmental and economic impact analysis, which is excluded the scope of this work.

1. GİRİŞ

Dünyada hızla gelişen ülkelerde kentli nüfusun giderek çoğalması ve kentlerin büyümesi arazilerin değerini daha da artırarak yüksek ve yoğunluklu yapıların inşaa edilmesine sebep olmaktadır. Kentlerde yaşanan bu değişim yeşil alan kaybının ve birçok çevre sorununun temel nedeni olarak görülmektedir. (İpekçi ve Yüksel, 2012). Mimarlara düşen görevlerin başında, sürdürülebilir ve enerji etkin binalar tasarlamak, bunu yaparken de teknolojik değişim ve gelişimlerden faydalanmak gelmektedir. Düşey yeşil sistemler, Avrupa ve Kuzey Amerika'da yıllardır uygulanan, çevresel, ekonomik ve sosyal faydaları kanıtlanmış sistemlerdir. Tezde bu sistemlerin enerji etkinliği değerlendirilmektedir.

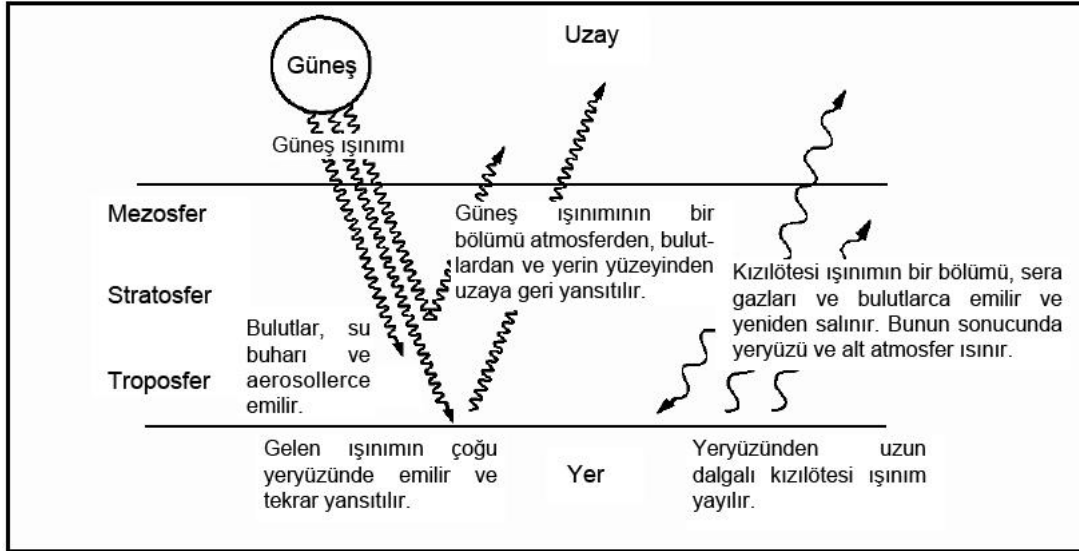
1.1 Sorun

Bugün modern kentlerde yaşanan sorunların ana kaynaklardan birisi, çevre kirliliği ve kirlenmenin yaşama yaptığı olumsuz etkilerdir. Nitekim kentlere yakından bakıldığında, hava, su, toprak gibi yaşam için birinci derecede önemli olan kaynakların aşırı ve yaygın biçimde kirlendiği görülmektedir. Bu nedenle, "kentlerin kirli yaşam çevrelerine" dönüştüğü, yaşamın olumsuz etkilendiği, insanların kirli çevrelerde adeta zehir soluyarak yaşadığı, zehirli gıdalar ve içeceklerle, daha çok hastalandığı ve daha çabuk öldüğü görülmektedir (Kentleşme Şurası, 2009).

Çevre kirliliği, ekosistemlerde doğal dengeyi bozan ve insandan kaynaklanan ekolojik zararlardır. Kirlilik şekilleri hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği, gürültü kirliliği ve radyoaktif kirlilik şeklinde sınıflandırılır. Hava kirliliği, atmosferde toz, duman, gaz, koku, su buharı şeklinde bulunabilecek kirleticilerin, insanlar veya diğer canlılar ile eşyaya zarar verebilecek miktarlara yükselmesidir. Su kirliliği, istenmeyen zararlı maddelerin, suyun niteliğinin ölçülebilecek oranda bozulmasına neden olacak miktar ve yoğunlukta suya karışması olayıdır. Toprak kirliliği, toprağın üstüne ve içine bırakılan veya başka yerlerden gelen zararlı atık maddelerin, toprağın niteliğini bozmasıdır. Radyoaktif kirlenme ise hava, su ve toprağa radyoaktif maddelerin karışmasıdır (Çepel, 2003).

Önemli ve güncel bir diğer konu ise, küresel ısınma ve onun kentlerdeki etkileridir. Son yıllarda fosil yakıtların kullanılması, ormansızlaşma, hızlı nüfus artışı ve

toplumlardaki tüketim eğiliminin artması gibi nedenlerle sera gazlarının atmosferdeki yığılması artış göstermektedir. Sera gazı etkisinin bir sonucu olarak ortaya çıkan küresel ısınmanın giderek artışı ise küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. 1860'tan günümüze kadar tutulan kayıtlar, ortalama küresel sıcaklığın 0.5-0.8 derece kadar arttığını göstermektedir (Kentleşme Şurası, 2009). Sera gazı etkisi en sade şu şekilde açıklanır: Bulutsuz ve açık bir havada, kısa dalga güneş ışınımının önemli bir bölümü atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır ve orada emilir. Ancak, yerkürenin sıcak yüzeyinden salınan uzun dalgalı yer ışınımının bir bölümü, uzaya kaçmadan önce atmosferin yukarı seviyelerinde bulunan çok sayıdaki eser gaz (sera gazları) tarafından emilir ve sonra tekrar salınır (Şekil 1.1). Doğal sera gazlarının en önemlileri, başta en büyük katkıyı sağlayan su buharı (H_2O) olmak üzere, karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), diazotmonoksit (N_2O) ve troposfer ile stratosferde (troposferin üzerindeki atmosfer bölümü) bulunan ozon (O_3) gazlarıdır. Ortalama koşullarda, uzaya kaçan uzun dalgalı yer ışınımı gelen Güneş ışınımı ile dengede olduğu için, Yerküre/atmosfer birleşik sistemi, sera gazlarının bulunmadığı bir ortamda olabileceğinden daha sıcak olacaktır. Atmosferdeki gazların gelen Güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşı çok daha az geçirgen olması nedeniyle Yerküre'nin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen bu doğal süreç sera etkisi olarak adlandırılmaktadır (Türkeş ve diğerleri, 2000).



Şekil 1.1 : Sera etkisinin şematik gösterimi (Türkeş ve diğerleri, 2000).

Bugün dünyada ve Türkiye'de uygulanan kent planlama yaklaşımı, birçok açıdan yanlıştır ve ortaya çıkan kentler, yukarıda belirtilen küresel iklim değişikliğinin ve çevre kirlenmesinin odakları haline gelmişlerdir. Gerçekten de modern dediğimiz

kentler “modern” olmaktan uzaktır ve aşırı çevre kirliliğine, doğal varlıkların tahrip ve yok edilmesine, yaşam için çok önemli olan suyun, toprağın, kirlenmesine, biyo-çeşitliliğin, ormanların azalmasına, tarım topraklarının amaç dışı kullanılmasına, hava kirlenmesine, kentlerde zehirli ve “yaşama uygun olmayan ortamların” oluşmasına neden olmaktadır. Yanlış üretim sistemi, yanlış kentleşme, yanlış planlama yöntemleri, yanlış yapılaşma biçimleri kentlerin olumsuz gelişmesine neden olmaktadır. Küresel iklim değişikliğine neden olan gaz emisyonlarından da, ağırlıklı olarak (%70-80 oranında), kentler sorumludur.

Modern kentler tehlikelidir ve kendi ürettiği atıklarla tehlikededir. Çünkü atık üreten, atıklarıyla çevreyi kirleten, kirl ettikleri ile de yaşamı olumsuz etkileyen sistemlere dönüşmüşlerdir. Uzun vadede kirl etici kentlerden kurtulmak, onları temiz kentlere dönüştürmek zorunluluğu vardır. Kentlerdeki kirl etici odakların ortadan kalkması, atık üretmeyen kentler sistemlerine geçilmesi gerekmektedir (Kentleşme Şurası, 2009).

Kentlerde yaşayan nüfusun hızla artması sonucunda bu alanlardaki arazi örtüsünde belirgin değişiklikler olmaktadır. Kent içindeki ve çevresindeki doğal peyzajlar taş ve beton yüzeylerle yer değiştirmekte, kırsal saçak olarak tanımlanabilecek doğal peyzaj elemanları kent merkezinden gittikçe daha uzağa itilmekte, daha fazla endüstriyel, ticari ve ulaşım servisi büyüyen kente hizmet vermek üzere geliştirilmektedir. Kentleşme ve sanayileşme, atmosferin sınır tabakasındaki ısı ve su döngüsünü etkilemekte ve kent iklimini kırsal alandan farklılaştırmaktadır (Yüksel, 2005). Gilbert’e göre; kentsel alanlardaki güneş ışınımı, rüzgar hızı, sıcaklık, bağıl nem ve yağış miktarı kırsal alana göre göz ardı edilemeyecek miktarlarda değişiklik gösterir. Bu değişikliklere ilişkin oranlar Çizelge 1.1’de görülmektedir.

Küresel ısınma kaynaklı bir diğer problem kent içindeki sıcaklığın eş zamanda, çevresindeki kırsal alandan daha yüksek olması olarak tanımlanabilecek olan kentsel ısı adası etkisi’dir. Bu sıcaklık farkının nedeni genelde kentsel alandaki arazi örtüsündeki değişikliklerdir (Yüksel, 2005).

Şu ana kadar bahsedilen çevre kirliliği ve küresel ısınma kaynaklı sorunlar, zamanla varlıklarını sürdürecektir ve daha büyük birer soruna dönüşeceklerdir. Bu konularla ilgili çözüm arayışında yapı sektörü alanında dikkat çeken en önemli konular çevre duyarlılığı ve enerji etkin bina teknolojileri olarak göze çarpmaktadır.

Çizelge 1.1 : Kırsal alan ile kentsel alanların iklimsel parametrelerinin karşılaştırılması (Gilbert, 1991).

İklimsel Parametreler	Özellikler	Kırsal alan ile karşılaştırma
Hava kirliliği	Kirletici gazlar	5-25 kez daha fazla
	Küresel güneş ışınımı	%15-20 daha az
	Morötesi radyasyon	%15-20 daha az
	Güneşlenme süresi	%5-15 daha az
Sıcaklık	Yıllık ortalama	0.5-1.5 °C daha yüksek
	Açık havada	2-6 °C daha yüksek
Rüzgar hızı	Yıllık ortalama	%15-20 daha az
	Soğuk günlerde	%5-20 daha çok
Bağıl nem	Kış aylarında	%2 daha az
	Yaz aylarında	%8-10 daha az
Bulutluluk	Kapalı havalarda	%5-10 daha çok
Yağış	Toplam yağış miktarı	%5-10 daha çok

Endüstrileşme ve kentleşmenin iklim değişikliğine olumsuz etkilerinde sözü edilen CO₂ salınımının ve ısı emicilik oranı yüksek yüzeylerin artış göstermesi, bu alanlardaki bitki örtüsünün zarar görmesi ile doğrudan ilişkilidir. Her ne kadar kentsel alanlarda, bitkilendirme ile ilgili çalışmalar yapılsa da bu alanlar yapılardan arta kalan sınırlı bölgelerde oluşturulacağından yetersiz kalacaktır (Tokaç, 2009).

1.2 Amaç

Türkiye İklim Değişikliği I. Ulusal Raporu'nda salınan toplam emisyonun ancak %25'inin yutak alanlarca emildiği ifade edilmektedir (ÇOB, 2007). Bu oranı arttırabilmek için orman ve çayırılık alanların korunması ve kent içinde de yeşil alan büyüklüğünün arttırılması gereklidir (Kentleşme Şurası, 2009).

Cephelerin, kentsel alanlarda bitkilendirme için kullanılabilecek yüksek potansiyele sahip yapı elemanlarından biri olduğu kabul edilmektedir. Mevcut cephe alanlarının bitkilendirilmesinin ve yeni yapılacak bina cephelerinde bitkilendirilmiş cephe

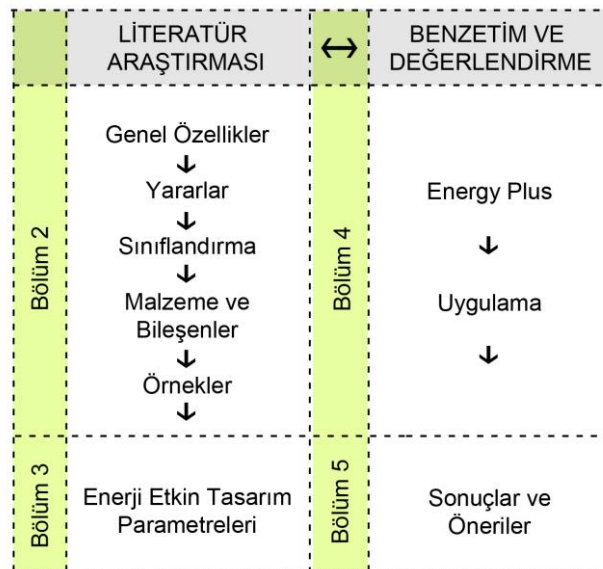
sistemlerine yer verilmesinin, bahsi geçen iklim değişimi ile ilgili çevresel sorunların azaltılmasında etkili olabilecek uygulamalardan biri olduğu düşünölmektedir.

Düşey yeşil sistemlerin faydalarına bakıldığında; çevresel faydaların başında kentsel ısı adası etkisini azaltması, dış ile iç mekan hava kalitesini, biyolojik çeşitliliği ve enerji etkinliği artırması gelmektedir. Özellikle, Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da örneklerin hızla arttığı, ancak Türkiye'de çevresel sorunlara olan duyarlılığın ve ayrılan bütçenin azlığı sebebiyle konu ile ilgili olarak yeterli miktarda çalışma yapılmadığı, görölmektedir. Bu durum uygulama örneklerinin yok denecek kadar az olmasına neden olmaktadır. Bu açıdan, iklim değişikliklerine karşı alınabilecek yapısal önlemlerden biri olarak, düşey yeşil sistem kullanımının yaygınlaştırılması önemli görölmektedir. Bu bağlamda, yapılan çalışmanın amaçları; bitkilendirilmiş cephe sistemlerinin enerji tüketimini azaltma konusunda sağladığı faydaları ortaya koymak, tasarımcı, yüklenici ve uygulayıcılara rehber olabilecek bir çalışma yapmaktır.

1.3 Kapsam

Sözö edilen alandaki bilgi eksikliğini azaltmak üzere tez kapsamı;

- İkinci ve üçüncü bölümlerde; düşey yeşil sistemlerin tanıtılması, yararlarının, sınıflandırma tiplerinin, malzeme ile bileşen özelliklerinin ve enerji etkin tasarım parametrelerinin ortaya koyulması,
- Dördüncü ve beşinci bölümlerde; uygulama çalışmasının yapılması, bunun sonucunda düşey yeşil sistemlerin enerji etkinlik açısından değerlendirilmesi ve sonuç ile önerilerin anlatılması şeklinde sınırlandırılmıştır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Tezin kapsam şeması.

1.4 Yöntem

Düşey yeşil sistemlerin enerji etkinliklerinin değerlendirildiği bu çalışmada iki yöntemden yararlanılmıştır. Bunlar;

- Sistemin özelliklerinin, katmanlaşma modellerinin ve malzemelerinin tanıtılması ve örneklerin incelenmesi amacıyla literatür çalışması yapılması,
- Farklı iklim bölgeleri için geliştirilen seçeneklerin enerji tüketimlerini belirlemek üzere bilgisayar benzetim programı kullanılmasıdır.

2. DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLER

2.1 Düşey Yeşil Sistemlerin Tanımı

Düşey yeşil sistemler, üzerinde bitki örtüsünün büyümesine izin veren bir dış duvar sistemidir. Bina cephelerindeki bitki örtüsü sayesinde, çevredeki iklimin düzenlenmesine yardımcı olur. Böylelikle bina yerel ve çevresel bir kimlik kazanır (Detail, 2005).

Peck'e göre; düşey bahçeler ya da yeşil cephelerin oluşturduğu sistem, binanın cephesini saran yaşayan bir kabuktur (Ottele, 2011).

Dunnet ve Kingsburry'e göre; düşey yeşil sistemler, yaşayan, dolayısıyla kendi kendini yenileyebilen bir cephe kaplama malzemesidir (Ottele, 2011).

Hermi tarafından yapılan başka bir tanımlamaya göre, yeşil cepheler toprağa dikili bitkilerin düşey yüzeylerde yeşil bir kabuk meydana getirmesidir. Bitkinin yetiştirme ortamı zemin toprağı olabileceği gibi cepheye takılan saksılar şeklinde de olabilmektedir (Ottele, 2011).

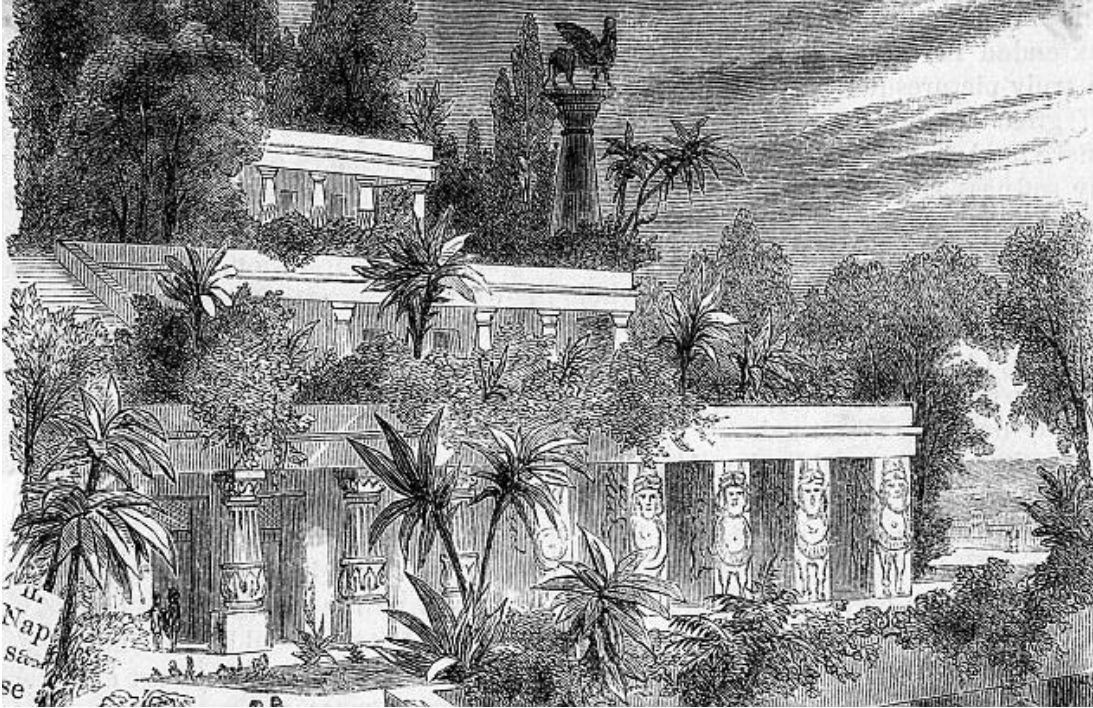
Köhler'e göre ise yeşil cepheler aşağıdaki gibi özetlenir:

Yeşil cephe = bina + tırmanıcı bitki (Köhler, 2008).

Sonuç olarak, düşey yeşil sistemler; cephelerin, yeryüzündeki toprakta, duvarın kendi bünyesinde veya bitki kutularında yetişen bitki materyalleri ile kaplanmasıdır. Bu sistemlerde, cephe temel olarak bitki, yetiştirme ortamı-taşıyıcı katman, filtre katmanı, kök tutucu katman, su yalıtım katmanı, ısı yalıtım katmanı, buhar kesici katman ve duvar taşıyıcı sisteminden oluşur. Kullanılan malzemelerin tercihine, malzemelerin sistem içinde bir araya gelişlerine ve uygulandıkları yere göre farklı katmanlar da ilave edilebilmektedir.

2.2 Düşey Yeşil Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

Düşey bahçeler, farklı ülkelerde yüzyıllardır görülen uygulamalardır. Bunun temel sebebi, toprak ve bitki katmanıyla birleşen duvarın iyi bir yalıtım özelliği göstermesidir. Bitkilendirilmiş cepheler soğuk iklimlerde ısıнын bina içinde kalmasını, ılık iklimlerde ise bina dışında tutulmasını sağlar. Yeşil çatılar ve düşey bahçelerin ortaya çıkışı Babil'in Asma Bahçeleri'ne kadar uzanır ve Roma İmparatorluğu döneminde kentsel alandaki nüfus baskısına cevap olarak var olduğu bilinir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Babil'in Asma Bahçeleri (Url-1, 2013).

Pompei'de halk balkonlarda asmalar yetiştirmiştir. Romalılar imparatorlarının anıt mezarlarının başına ağaçlar dikmişlerdir. Vikingler evlerinin duvar ile çatılarını rüzgar ve yağmurdan korumak için çim ile kaplamışlardır, hatta çatılarında deniz yosunu kullanmışlardır. Rönesans döneminde Cenova'da teras bahçeler ve yeşil çatılar yaygınlaşmaya başlamıştır. 16. ve 17. yy'da Meksika'da, Hindistan'da ve bazı İspanyol evlerinde sarılıcı-tırmanıcı bitkiler ile oluşturulan düşey bahçelerin var olduğu bilinmektedir. Aynı dönemde Rusya Kremlin'de asma bahçelerin önem kazanmaya başladığı, 20. yy'a gelindiğinde bitki bileşeninin, evlerde ve hatta St. Petersburg Havaalanı'nda süsleme amaçlı kullanıldığı görülmüştür. 18. yy'da Fransa'da gösteriş için açık mekanlarda makas ile kesilerek biçimlendirilmiş yeşil duvarlar tasarlanmaya başlanmıştır. 1930'larda çağdaş mimarlığın iki önemli ismi Le Corbusier ve Frank Lloyd Wright, tasarımlarında yeşil çatı fikrini ön planda

tutmuşlardır. Le Corbusier, içinden yollar geçen ve bitkilerle kaplanmış çatıları kentsel alana dahil etmeyi düşünmüştür. Wright, Midway Bahçeleri'nde, Hollyhock Evi, Cheney Evi ve Şelale Evi'nde düşey bahçe ve yeşil çatı fikrini kullanmıştır (Peck, 1999).

20. yy'ın ortalarına kadar genellikle geleneksel yapılarda karşımıza çıkan yeşil duvarlar, son yıllarda özellikle Kuzey Avrupa'da konsept olarak kabul görmeye ve yaygınlaşmaya başlamıştır (Köhler 2008).

1980'lerde paslanmaz çelik kablo sistemler yeşil cepheler için kullanılmıştır. 90'lara gelindiğinde tel örgü ağ sistemi ve modüler tel kafes sistem Kuzey Avrupa pazarına girmiştir. Aynı yıllarda bu teknolojinin uygulanmaya başlandığı görülmektedir.

21. yy ile birlikte bu alandaki teknoloji ilerlemiş, sistemler geliştirilmiştir. 2002 yılında Zürih MFO Park'ında 300m uzunluğunda ve 50 m yüksekliğinde çok katmanlı bir strüktür kurulmuştur. Proje kapsamında 1300 tırmanıcı bitki kullanılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : MFO Park (Url-2, 2013).

2005 yılında Japon Federal Hükümeti Expo 2005 kapsamında gerçekleştirilen Bio Lung Fuarı'na sponsor olmuştur. 2007'ye gelindiğinde Seattle'da Yeşil Etken (Green Factor) uygulaması başlatılırken, Sağlıklı Şehirler için Yeşil Çatılar (Green Roofs for Healthy Cities-GRHC) Kuzey Amerika'da Yeşil Duvar Tasarımı 101 (Green Wall Design 101) adı altında bir kurs açmıştır. Sonraki yılda aynı topluluk Mükemmellik Yeşil Duvar Ödülü'nü ve Yeşil Duvar Araştırma Fonu'nu başlatmıştır (Green Roofs for Healthy Cities: Introduction to Green Walls, 2008).

Görüldüğü gibi günümüzde; yeşilden yararlanabilmek için, çevresel konulardaki yoğun ilgi, teknoloji ile doğayı biraraya getirmek üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu

yararlar, bugünkü kentsel tasarım anlayışının bileşenlerini oluşturur (Köhler, 2008). Ayrıca hükümet politikalarının ve program desteğinin sonucu olarak yeni sektör ve iş imkanları ortaya çıkmaktadır (Peck, 1999).

2.3 Düşey Yeşil Sistemlerin Sağladığı Yararlar

Düşey yeşil sistemlerin sağladığı yararlar üç grupta incelenebilir. Bunlar; çevresel yararlar, sosyal yararlar ve ekonomik yararlardır.

2.3.1 Çevresel yararlar

Düşey yeşil sistemlerin sağladığı çevresel yararlar; kentsel ısı ada etkisini azaltması, dış mekan hava kalitesini artırması, bulunduğu çevredeki ekolojik özellikleri iyileştirmesi, yağmur suyuna ve güneş ışınlarına karşı koruma ve gölgeleme sağlaması, ısı yalıtım özelliği ile iç mekan sıcaklığını düzenlemesi ve ses yalıtımı sağlaması şeklinde sıralanabilir.

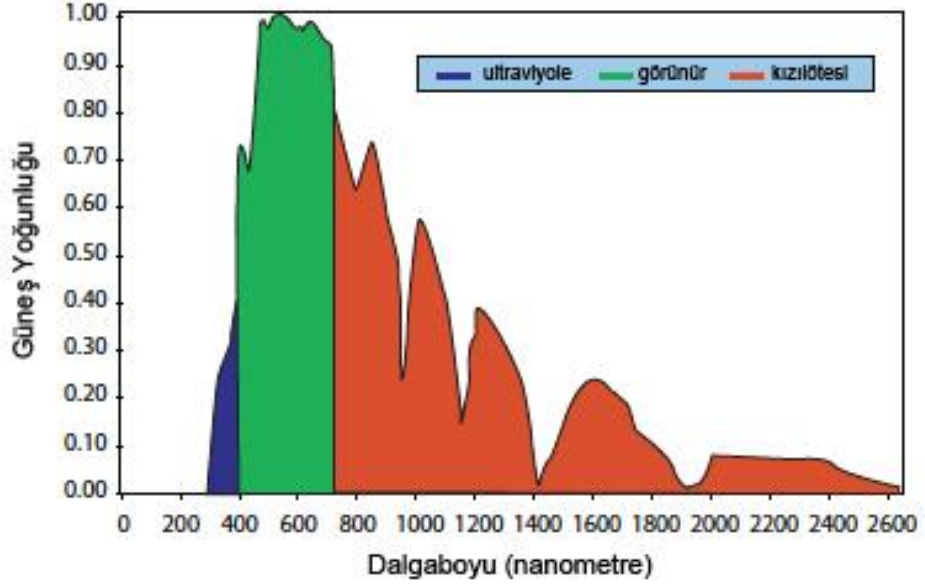
2.3.1.1 Kentsel ısı adası etkisini azaltması

Kentsel ısı adası (Urban Heat Island) kavramı, kısaca kent içindeki sıcaklığın özellikle kış döneminde, çevresindeki kırsal alandan daha yüksek olması olarak tanımlanmıştır (Yu-Peng Yeh, 2010). Kentsel ve kırsal alan arasındaki bu iklimsel farklılık ‘kentsel ısı adası’ olarak ilk kez 1820’de Londra kenti için Luke Howard tarafından tanımlanarak literatüre girmiştir (Yüksel, 2005).

Kentsel ısı adası etkisinin oluşmasının farklı nedenleri vardır. Bunlar; kentsel alanlarda azalan doğal bitki örtüsü, yapı elemanlarında kullanılan malzemelerin özellikleri, kent geometrisi, antropojenik ısı şeklinde açıklanabilir.

Bunlar içerisinde en etkin olanı, kentsel alanlarda doğal birki örtüsünün azalmasıdır. Kırsal alanlardaki bitki örtüsü gölge sağlayarak yüzey sıcaklıklarının ve evapotranspirasyon yoluyla hava sıcaklıklarının azalmasına yardımcı olurken kentsel alanlarda, gün boyunca ısıyı emen beton ve asfalt yüzeylerin çokluğu sıcaklık artışına neden olmaktadır. Ayrıca, göllerin ve denizlerin yoğun yapılaşma sebebiyle doldurulduğu kentsel alanlarda buharlaşma miktarı azalmakta, suyun sıvı halden gaz hale geçişi esnasında çevresini serinletici etkisinden faydalanılamamaktadır.

İkinci olarak yapı elemanlarında kullanılan malzemeler; yansıtıcılık, ısı depolama ve yayma kapasiteleri açısından bitki örtüsünden farklı özellikler göstermektedir. Şekil 2.3'te açık yaz gününde Dünya yüzeyine ulaşan Güneş enerjisi dalga boyları görülmektedir. Güneş enerjisi; ultraviyole ışınları, görünür ışık, kızılötesi enerji olmak üzere üçe ayrılır.



Şekil 2.3 : Açık yaz gününde Dünya yüzeyine ulaşan Güneş enerjisi dalga boyları (URL-22, 2013).

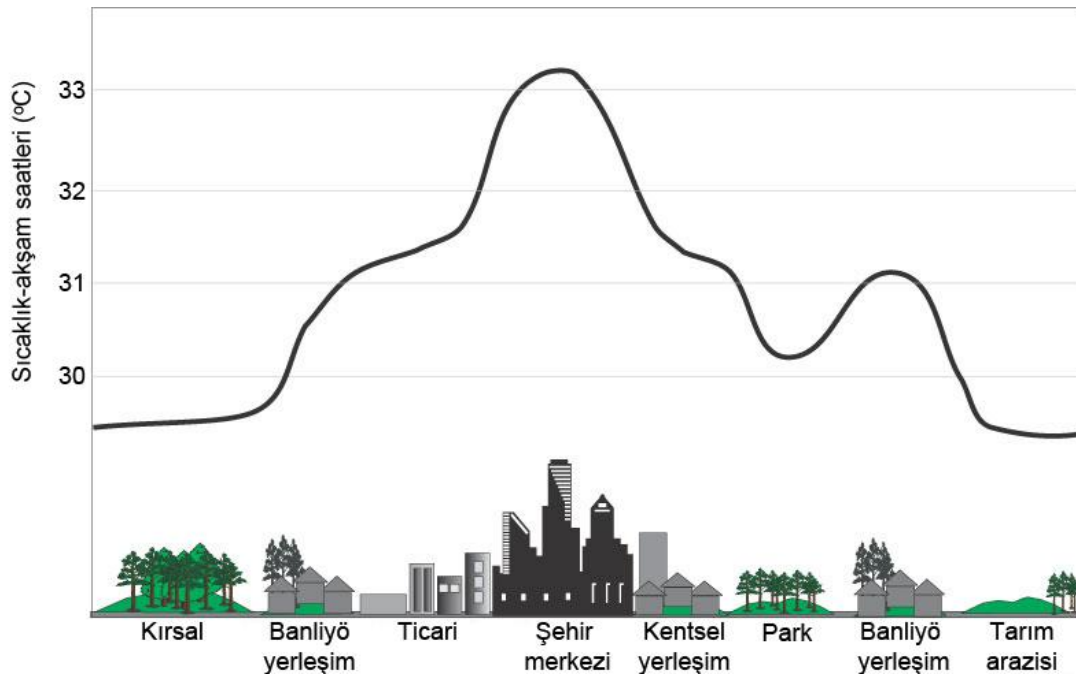
Güneş enerjisinin %5'lik miktarı UV, %43'lük miktarı görünür ışık ve kalan %52'lik miktarı ise ısı olarak hissedilen kızılötesi şeklindedir. Güneş'ten gelen enerji en çok görünür dalga boyundadır (Şekil 2.3). Böylece, yansıtıcılık malzeme rengi ile ilişkilendirilir. Koyu renkli yüzeyler açık renkli yüzeylere göre daha az yansıtıcılık özelliği gösterir. Ayrıca soğuk renkli malzemeler üzerinde yapılan araştırmalar, kızılötesi dalga boylarını daha iyi yansıttıkları göstermektedir. Şehirlerde çatı ve cephelerde genellikle rastlanan malzemeler ise güneş enerjisini az yansıtan ancak çok emen malzemelerdir. Bir diğer önemli özellik ise malzemenin ısı depolama kapasitesidir. Taş ve çelik gibi pek çok yapı malzemesi kırsal alandaki toprak ve bitki örtüsünden daha fazla ısı depolama kapasitesine sahiptir. Sonuç olarak, yüzeylerde gün boyunca depolanan bu ısı, kentsel ısı adası etkisini artırmaktadır.

Üçüncü olarak kent geometrisi kentsel ısı adasının etkileyen faktörlerdendir. Kent geometrisi, rüzgar akış ve hızını, enerji emilimini ve yüzeylerin uzun dalga boyu ışımasını uzaya geri verme yeteneğini etkilemektedir. Kentsel kanyon olarak adlandırılan ve uzun, dar bir caddenin iki tarafında yüksek yapılaşmanın olması biçiminde tariflenen durumda, bina cepheleri tarafından emilen güneş enerjisi

bölgede sıcaklık artışına neden olmaktadır. Gece boyunca kentsel kanyonlarda yüksek binaların engel teşkil etmesi sebebiyle ısı düşüşü önlenmektedir.

Kentsel ısı adası etkisine neden olan son faktör antropojenik ısıdır. Antropojenik ısı, insan faaliyetleri sonucunda açığa çıkan ısıdır. Isıtma-soğutma faaliyetleri, nakliyat, makineler ve endüstriyel işlemler için kullanılan enerjinin toplamı olarak hesaplanmaktadır. Kentsel alanlarda, bu faaliyetlerin artmasına bağlı olarak antropojenik ısı da artmaktadır (Url-22, 2013).

Yukarıda bahsedilen dört nedenden ötürü yoğun nüfuslu şehirlerde Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, kentsel ısı adası etkisi günden güne daha büyük bir sorun haline gelmektedir.

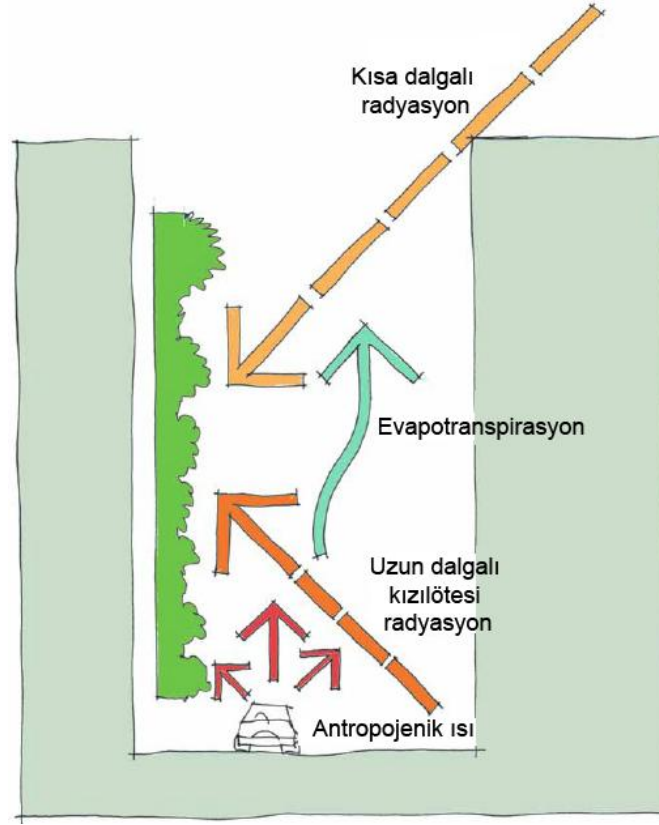


Şekil 2.4 : Kent merkezlerinde çevresine göre akşam saatlerinde görülen sıcaklıklar (Gray, K. A. ve Finster, M. E., 1999).

Kentsel ısı adası etkisi ile başa çıkabilmek için; açığa çıkan ısıtılmış gazların kısıtlanması, yapılarda yansıtıcı tipte malzemelerin kullanılması, kırsal alanlara geri dönüşün sağlanarak nüfus yoğunluğunun düşürülmesi, insanlar tarafından üretilen atık maddelerin azaltılması gibi yollara başvurulmalıdır. En etkili yöntem bitkilendirilmiş alanların, yeşil cephe ve yeşil çatı teknolojileri kullanılarak artırılmasıdır (Yu-Peng Yeh, 2010).

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi bitkilendirilmiş yüzeyler, bitki katmanını arkasındaki duvar yüzeyini gölgeleyerek ve evapotranspirasyon ile etraflarındaki ısınmış havayı soğutarak kentsel ısı adası etkisini önlerler (Dunnett ve Kingsbury, 2008).

Evapotranspirasyon, bitkinin buharlaşma ve terleme yoluyla atmosfere su buharı vermesi anlamına gelir (Kaya, 2010). Güneş ışınımı, evapotranspirasyon yardımıyla yüzey sıcaklığının yükselmesine engel olan su buharına dönüştürülür. Ayrıca tamamiyle yeşil bitki örtüsü ile kaplanan cephe yaz aylarında yoğun güneş ışınımına maruz kalmaz, bitkinin yaprak yüzeyi ışınları yansıtır ya da yoğunluğuna bağlı olarak ışınların %40-%80 kadarını emer (Sheweka ve Mohammed, 2012).



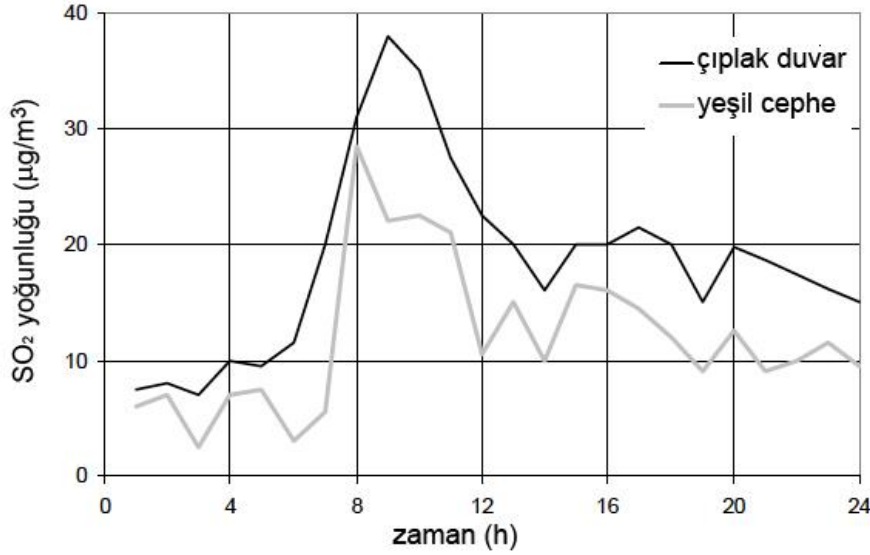
Şekil 2.5 : Kentsel yüzeylerdeki ısı transferleri (Hopkins, G. ve diğerleri, 2010)

Sonuç olarak, bitkilendirmenin, cephedeki günlük sıcaklık dalgalanmalarını %50 oranında düşürdüğü saptanmıştır (Dunnnett ve Kingsbury, 2008).

2.3.1.2 Dış mekan hava kalitesini artırması

Dış mekan hava kalitesi havaya tutunan küçük partiküllerin miktarıyla ilgilidir. Günümüzde dünya genelinde kabul edilen standartlardaki yoğunluk limitlerini aşan partikül maddeler (PM_x), bazı sorunlara neden olmaktadır. Etki eden partikülün boyutu PM_{10} 'dan küçük olduğu durumda, havanın akciğerlerdeki dolaşımıyla organlar etkilenebilir ve bu durum ölüme neden olabilecek sonuçlar doğurabilir (Mir, 2011).

Bitki yaprakları bahsi geçen partikül maddeleri ve hava kirliliğine neden olan diğer maddeleri (nitrat, nitrit, karbondioksit) filtreleyecek geniş yüzey alanına sahiptir. Düşey yeşil sistemler bina cephesi boyunca partikül maddelerin hareketini önler (Mir, 2011).



Şekil 2.6 : Yeşil cephenin havadaki SO₂ dağılımına etkisi (Rath ve Kiessl, 1989).

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, gün içerisinde, çıplak duvar ile yeşil cephe uygulaması yapılmış duvar arasında, havadaki kükürtdioksit yoğunluğunda farklar mevcuttur. Bitki elemanının dahil edildiği durumlarda hava kalitesinde artış gözlenmektedir.

Özellikle nüfusun yoğun olduğu kentsel alanlardaki hava kirliliğini azaltmak için, cephelerin bitkilendirilmesi cadde boyunca ağaç dikilmesinden daha etkili bir çözüm olacaktır. Düşey yeşil sistemler ağaçlara göre havadaki kirliliği daha iyi ve hızlı uzaklaştırabilirler (Chang ve diğerleri, 2010).

2.3.1.3 Bulunduğu çevredeki ekolojik özellikleri iyileştirmesi

Düşey yeşil sistemler alternatif bir ekolojik habitat olarak kabul edilebilir. Hedera Helix ve tırmanıcı güller gibi belirli bitki türlerinde kuşların kış döneminde beslenebileceği meyveler yetişir. Yapının cephesine veya dış duvarına baktığımızda, yeşil sistemler ekosistem karakterini gösterecektir. Sistem; strüktürün, malzemenin ve enerji akışının görülebildiği bir habitat işlevi görür. Ayrıca kuşların, arıların ve mikroorganizmaların yaşayabilmesi için de ekolojik bir hizmet sunar (Ottele, 2011).

Basel'de 17 farklı yeşil çatı üzerinde yapılan biyoçeşitlilik araştırmasına göre, çatıların uygulanmasından sonraki 3 yıl içerisinde 245 arı 78 örümcek türüne rastlanmıştır. Arıların %11 ve örümceklerin % 18 kadarının nadir rastlanan ya da tehlikede olan türler olduğu ortaya çıkmıştır (Francis ve Lorimer, 2011).

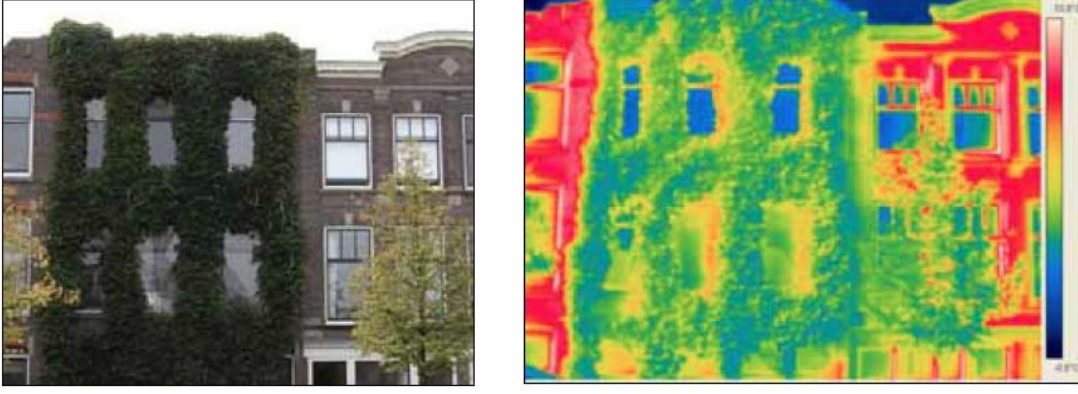
2.3.1.4 Yağmur suyuna ve güneş ışınlarına karşı koruma ve gölgeleme sağlaması

Bitkilendirilmiş cepheler, duvar yüzeyini yağmur suyuna karşı etkili bir şekilde korur, çünkü bitki yaprakları nedeniyle yağmur yüzeye ulaşamaz. Rath ve Kiessl tarafından 1989 yılında bitkilendirilmiş ve çıplak cephede yapılan bir araştırmada, yaprakla kaplı cepheye yağmur suyu ulaşmadığı gözlenmiştir. Ayrıca güneş ışınımının %50'sinin bitki yapraklarının yüzeyinde tutulduğu, %30'unun geri yansıtıldığı ve %20'sinin cephe yüzeyine ulaştığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, çıplak cephe güneş ışınımının tamamına maruz kalırken, bitkilendirilmiş cephe %80'inden korunmuştur (Ottele, 2011).

2.3.1.5 İç mekan sıcaklığını düzenlemesi ve ısı yalıtımı sağlaması

Yeşil olmayan bir cephe; binanın yüksekliğine, yönüne ve diğer yapılarla mesafesine bağlı olarak, gece ile gündüz arasında sıcaklık farkının çok olduğu iklimlerde sıcaklık dalgalanmalarına maruz kalabilir (Ottele, 2011). Bitkilendirilmiş bir cephede ise, duvar yüzeyi ile bitki katmanı arasında ısı yalıtımına katkı sağlayan hareketsiz bir hava katmanı bulunmaktadır. Bu katmanın görevi; yapının iç ve dış ortamları arasındaki ısı transferi oranını düşürmektir (Mir, 2011).

Krusche (1982)'ye göre; yaklaşık 5 cm bitki katmanıyla kaplanmış yeşil cephede, çift kabuk cepheyle karşılaştırıldığında ısı geçirgenlik katsayısında (U değerinde) 2.9 W/m²K kadar verim elde edilir. U değeri, 1°K'lık sıcaklık farkında 1 m² başına ısı akış miktarını gösteren değerdir (TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2008). Böylece kış aylarında dış ortama ısı akışına engel olunurken, yaz aylarında iç ortama ısı akışı kesilmektedir (Mir, 2011). Ayrıca yapraklar sayesinde güneş ışınlarının cepheye doğrudan ulaşması engellenir. Bu durum iç ortam hava sıcaklığının dış ortamdaki daha düşük olmasına neden olur. Kış aylarında ise sistem ters yönlü çalışır ve yaprak dökmeyen bitkiler sayesinde güneş ışınları dış duvarlardan uzak tutulur. Bunun dışında bitkinin yaprak yoğunluğu da cephe yüzeyi boyunca rüzgar hızını düşüreceğinden cephedeki sıcaklık düşüşüne de engel olur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Delft'te yaz mevsiminde toprakta bitkilendirilmiş yeşil cephe uygulamasının kızılötesi kamerayla cephe sıcaklığına etkisinin ölçümü (Ottele, 2011).

Sonuç olarak, iç hava sıcaklığındaki her 0.5°C'lik düşüş, klima için gerekli elektrik kullanımını %8'e kadar düşürür (Dunnet and Kingsbury, 2008).

2.3.1.6 Ses yalıtımı sağlaması

Son çeyrek asırda büyük şehirlerdeki hızlı kentleşme sonucundan önemli oranda bir nüfus artışı gözlenmiştir. Kara parçasının azlığı nedeniyle pek çok bina, kullanıcıların ciddi gürültü kirliliğine maruz kaldığı, karayollarına ve terminallere yakın alanlara inşa edilmiştir. 2000 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde yapılan bir araştırmaya göre; trafik yükünün neden olduğu gürültü seviyesi 55dB'nin üstüne çıkmıştır. Sürdürülebilir kent yaşamı yaratmayı hedef alan şehirlerde gürültü kirliliğine karşı bitkilendirme alınabilecek önlemlerden biridir. Wong'a göre tüm bitkilendirilmiş sistemler orta frekans aralığında yaklaşık 5-10 dB azalmaya sebep olur. Düşey yeşil sistemlerde gürültü kirliliğinin azalması; yetiştirme ortamının derinliğine ve yaşayan duvar sistemlerinin taşıyıcı bileşenlerinde kullanılan malzemelere bağlıdır (Mir, 2011).

2.3.2 Sosyal yararlar

Düşey yeşil sistemlerin sağladığı sosyal yararların başında binanın ve çevresinin estetiğini düzenlemesi, buna bağlı olarak da insan psikolojisini olumlu yönde etkilemesi gelmektedir.

2.3.2.1 Estetiği düzenlemesi

Düşey yeşil sistemler, insanların günlük aktivitelerini gerçekleştirdikleri çevrede estetik çeşitlilik sağlarlar. Günümüzde pek çok düşey bahçe projesinde öncelikli tasarım kaygısı görsel iyileştirmeden yana olmaktadır. Park alanları, kampüs binaları, kamusal alanlar, alışveriş merkezleri bahsedilen görsel iyileştirmenin sağlanabilmesi için uygun alanlardır. Ritim, biçim ve kullanılan bitki dokusu, 'doğa ile tasarım' kalitesinin artmasına olanak tanır (Mir, 2011).

2.3.2.2 İnsan psikolojisine olumlu etki etmesi

Psikolojik olarak yeşil çevre içinde bulunan insanlar kendilerini daha iyi hissederler. Buna literatürde 'biyofili' denmektedir ve insanların yaşayan canlılara ve yaşama yakın olduğunu hissettiği anlarda daha mutlu olması şeklinde tarif edilmektedir (Rutgers, 2011). Botanik bahçelerini ziyaret eden insanların kan basıncının ve kalp atışının düştüğü gözlenmiştir. Ulrich'in 1984 yılında yaptığı bir araştırmaya göre, odasının penceresi doğaya bakan hastaların ameliyat sonrası daha çabuk iyileştiği gözlenmiştir (Ottele, 2011).

Düşey yeşil sistemlerin psikolojik etkilerinin yanısıra sağlığı direkt olumsuz etkileyen hava kirliliğini azalttığı tespit edilmiştir (Ottele, 2011).

2.3.3 Ekonomik yararlar

Düşey yeşil sistemler uygulandığı binanın enerji verimliliğini ve değerini artırması bakımından ekonomik yararlar sağlar.

2.3.3.1 Enerji verimliliğini artırması

Binalar, toplam enerji kullanımının %36'lık ve toplam elektrik tüketiminin %65'lik dilimini oluştururlar. Kula'ya göre büyük ölçeklerdeki yeşil çatı uygulamaları enerji korunumuna önemli ölçüde katkı sağlar. Binaların cephe yüzeylerini çatı yüzeyinden çok olduğu dikkate alındığında düşey yeşil sistemler ile bu korunumun artacağı görülür. İç ortamdaki her 0.5 ° C'lik düşüş yaz aylarındaki klima kullanımına bağlı elektrik tüketimini %8 oranında düşürecektir (Akabari ve diğerleri, 2001).

Akabari'ye göre, 1940'tan beri kentsel alanlardaki sıcaklık 0.5°C-3°C arasında artış göstermiştir. Şehirlerdeki her 1 ° C'lik artış, elektrik talebini %2-%4 arasında arttırmaktadır. Binaları soğutmak için kullanılan şimdiki elektrik talebinin %5-%10 kadarı ise sadece bahsi geçen 0.5-3°C'lik sıcaklık artışını önlemek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ABD'nin, klimalar için gerekli enerji tüketimini, yeşil

çatı ve yeşil cephe uygulamalarını arttırarak %20 oranında azaltabileceği ortaya koyulmuştur (Akabari ve diğerleri, 2001).

Yeşilin düşey yüzeylere uygulanması, yalıtım özelliklerini yeni bir ısı yalıtım katmanına ihtiyaç duymadan iyileştirir. Çizelge 2.1’de çıplak cephelerin yeşillendirilmeleri sonucunda ısı geçirgenlik katsayılarındaki (U değeri) düşüş ve buna bağlı olarak sağladıkları fayda oranları görülmektedir.

Çizelge 2.1 : Çıplak ve yeşil cephelerin ısı geçirgenlik katsayıları ve fayda oranları (Ottele, 2011).

Çıplak cephe	Yeşil cephe	Fayda oranı
U değeri (W/m ² K)	U değeri (W/m ² K)	%
1.5	1.00	33
1.0	0.75	25
0.6	0.50	16
0.3	0.27	10

Gupta ve arkadaşları tarafından İngiltere’de yapılan bir araştırmada ise; benzetim yöntemi kullanılarak, 30x30m taban alanına sahip, altı katlı bir ofis binasının en üst katı için hesaplamalar yapılmıştır. Modelde, modüler yaşayan duvar tipi kullanılmış; karşılaştırmalar, düşey yeşil sistemin farklı cephelere uygulanması sonucu çıkan seçeneklerin ısıtma ve soğutma yükleri arasında yapılmıştır. Buna göre; yıllık periyotta ısıtma yükünden elde edilen kazanç; kuzey, doğu ve batı yönlerinin bitkilendirildiği durumda %1.3, güney yönünün bitkilendirildiği durumda %1.1; soğutma yükünden ortaya çıkan kayıp ise doğu, batı yönlerinin bitkilendirildiği durumda %1.4, kuzey yönünün bitkilendirildiği durumda %2, güney yönünün bitkilendirildiği durumda %1.5 hesaplanmıştır. Tüm duvarların bitkilendirildiği durum ısıtma yükü kazancında %5 ile en faydalı durum çıkmıştır. Toplam enerji tüketiminde sağlanan fayda açısından bakıldığında ise; kuzey, doğu ve batı cephelerinin bitkilendirildiği durumda %0.9, güney cephesinin bitkilendirildiği durumda %0.7 ve tüm cephelerin bitkilendirildiği durumda %3.35’lik bir fayda sağlandığı görülmüştür. Araştırma neticesinde ortaya çıkan sonuca göre; bitki ve toprak katmanı, cephenin hava sızdırmazlığı ile zonların doğal havalanmasını azaltarak ve bünyesinde ısı depolayarak iç mekan sıcaklıklarında ve soğutma yüklerinde artmaya, ısıtma yüklerinde azalmaya neden olmaktadır (Gupta ve diğerleri, 2011).

2.3.3.2 Uygulandığı binanın değerini arttırması

Düşey yeşil sistemlerin uygulandığı yapılar, diğer yapılara göre dikkat çekici ve satış değerleri daha yüksek olan yapılardır.

Ayrıca yapım esnasında alanda yok edilecek yeşilin bitkilendirilmiş cephe sistemi ile geri kazanılması, hem yapı sahibinin çevre halkına bu konudaki hassasiyetini göstermekte, hem de alanın değerini yükselterek diğer arsa sahiplerine örnek olmaktadır.

2.4 Düşey Yeşil Sistemlerin Neden Olduğu Zararlar

Düşey yeşil sistemlerin pek çok yararlı taraflarının yanısıra bazı zararlı tarafları da vardır. Yeni teknolojilerin kullanıldığı sistemlerde henüz teknik bir sorunla karşılaşılmamıştır. Ancak daha eski yöntemlerin uygulandığı sistemlerde aşağıda sıralanan sorunlara rastlanmaktadır:

- Bitkilenmenin doğrudan duvar yüzeyinden sağlandığı yeşil cephelerdeki hasarlar (Şekil 2.8)
- Bakım maliyeti
- Özellikle yaşayan duvar sistemlerinin yüksek yapım maliyeti
- Sulama sistemlerindeki yanlışlar (Ottele,2011)



Şekil 2.8 : Almanya'da bitki nedeniyle hasar görmüş yığma tuğla duvar (Ottele, 2011).

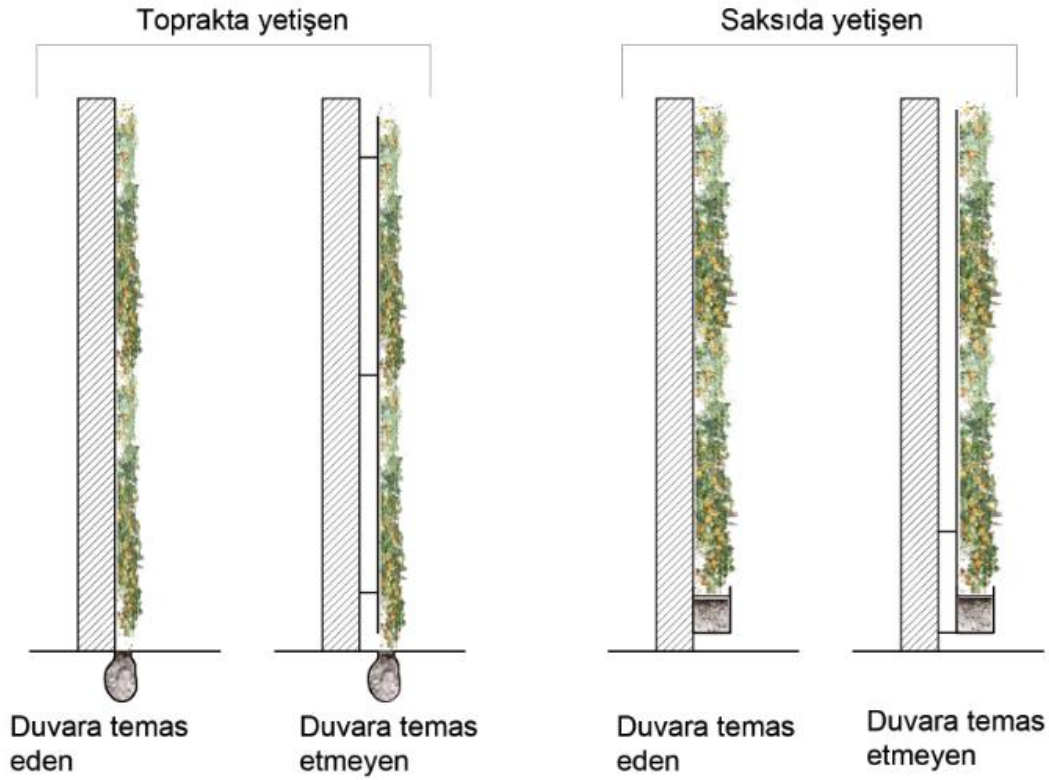
2.5 Düşey Yeşil Sistemlerin Sınıflandırması

Düşey yeşil sistemleri, taşıyıcı bileşenlerine, büyüme ortamlarına, bitki türlerine ve sulama sistemlerine göre sınıflandırmak mümkündür. Ancak literatürde en sık rastlanan, yapım tekniğine göre yapılan sınıflandırma tipidir. Buna göre düşey yeşil sistemler üç grupta toplanabilirler:

- Yeşil cepheler
- Bitkilenmiş duvarlar
- Yaşayan duvar sistemleri

2.5.1 Yeşil cepheler

Yeşil cepheler sarılıcı-tırmanıcı bitkiler ile kaplanmış duvarlardır. Düşey yeşil sistemler arasında en kolay uygulanan gruptur. Yeşil cepheler de kendi içinde, toprakta yetişen ve saksıda yetişen olmak üzere iki grupta toplanabilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Yeşil cephe tiplerinin şematik kesitleri.

2.5.1.1 Toprakta yetişen yeşil cepheler

Bitki kökleri topraktır ve dallar cephenin ön yüzünden yukarıya tırmanır. Bitkilerin, destek sistemi kullanılmadan doğrudan duvar yüzeyinden doğal yolla büyüdüğü durumlar duvara temas eden tipidir. Bu tipte, yeşil cephenin duvarın tüm yüzeyini kaplaması yüzey ölçülerine, dikilen türe ve miktarına bağlı olarak uzun zaman alır. Sulama sistemine ihtiyaç duyulmaz çünkü bitkiler suyunu yağmur suyu ve zemin suyu gibi doğal kaynaklardan sağlar.

Her bitki türünün doğrudan cepheden büyüebilmesi için yapışkanlık özelliği yoktur. Bu tip bitkilerin kullanıldığı cephelerin yeşil ile kaplanmasını sağlamak için özel tasarlanmış destekleyici iskelete ihtiyaç vardır. Bitkilerin, destek iskelet sistemi kullanılarak büyüdüğü durumlar duvara temas etmeyen tipidir. Destekleyici iskelet bitkilere daha fazla büyümeleri ve dikey yönde kendi dallarını geliştirmeleri fırsatını verir.

Günümüzde, sıklıkla kullanılan iki tip taşıyıcı sistem vardır. Bunlar;

- Modüler kafes panel sistemi
- Kablo ve tel-halat ağ sistemleri

olmak üzere iki şekilde uygulanırlar.

▪Modüler kafes panel sistemi

Bitkileri hem cephe ızgarası hem de panel derinliği ile destekleyen, toz boyalı galvanize, kaynaklı çelik telden üretilen, rijit, hafif ve üç boyutlu sistemdir. Bu sistem, yeşil cepheyi duvar yüzeyinden uzak tutmak için tasarlanmıştır böylece bitki dalları için çoklu desteklerle yeşil için sınırlandırılmış bir büyüme çerçevesi sağlanır. Ayrıca yapıdaki su yalıtımı bütünlüğünü sürdürmeye yardım eder. Paneller rijit olduğu için duvara dayanır durumda veya desteksiz durabilen biçimlerde tasarlanabilir. Kendi kendi taşıyan strüktür sistemi estetik görünümüne olumsuz etkisi olan mekanik ekipmanı, servis alanlarını, depolama girişlerini ve binanın diğer sistem gereksinimlerini saklamak için kullanılmaktadır ve ses bariyeri oluşturmak için kullanılabilir. Geri dönüştürülmüş çelikten yapılan paneller, büyük yüzeyleri farklı formlarda kaplayacak şekilde birleştirilebilir (Aygencel, 2011).

▪Kablo ve tel – halat ağ sistemleri

Kablo veya tel-ağ kullanılarak üretilen sistemlerdir. Kablolar, yoğun bitki örtüsü ile hızlı büyüyen sarmaşıkları desteklemek amacıyla kullanılır. Tel-ağlar genellikle yavaş büyüyen bitkileri desteklemek için uygundur. Kablolardan daha esnektirler ve tasarım seçenekleri daha fazladır. İki sistemde de yüksek gerilmeli çelik kablolar, ankraj elemanları ve ek ekipman kullanılır.

2.5.1.2 Saksıda yetişen yeşil cepheler

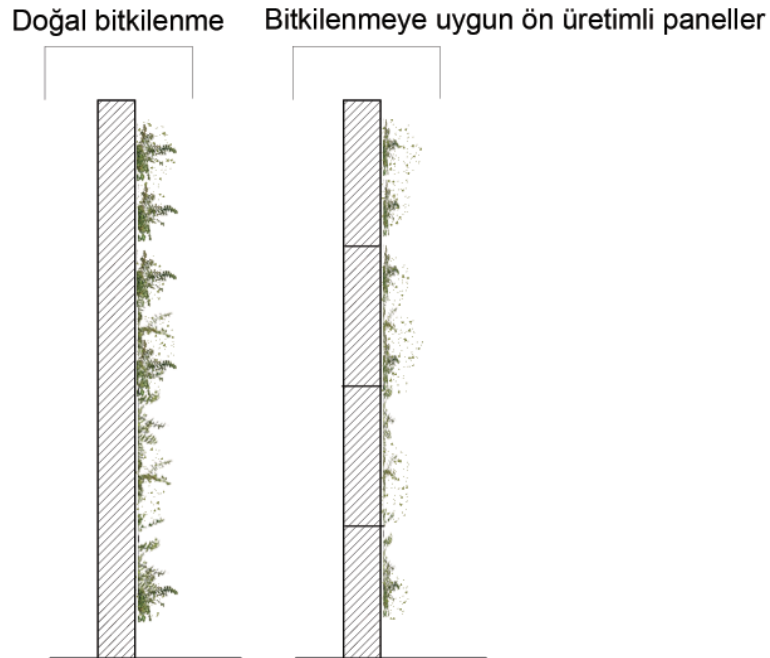
Bitkilerin içinde toprak olan ara saksılarda büyüdüğü sistemlerdir. Saksılar asma sistemi ile kat hizalarında duvara sabitlenmektedir. Bu sistem için sürekli bir sulama sistemi gereklidir çünkü bitkiler doğrudan toprakta köklenmemiştir. Cephenin bitki ile kaplanma zamanı duvar yüzeyine, bitki miktarına ve bitkiler arasındaki mesafeye bağlıdır. Saksılardaki küçük alanlar nedeniyle bitkilerin kökleri sınırsız gelişmemektedir ve bitkiler ancak belirli bir uzunluğa ve genişliğe kadar büyümektedirler. Bu nedenle saksıların her katta yerleştirilmesi gereklidir. Böylece bitkiler duvarı daha kısa sürede kaplamaktadır. Bu teknikle duvarı kaplamak için duvara temas eden ve duvara temas etmeyen olmak üzere iki tipten söz edilir.

Yeşil cepheler için uygun bitkiler şu şekilde sıralanabilir:

- *Parthenocissus heterophylla*; hızlı büyür, iyi tırmanır, yeşillendirme alanları için uygundur, herdem yeşildir.
- *Campsis grandiflora*; kolay yayılır, çiçeklidir, güzel görünümüdür, yaprak döker.
- *Rachelospermum jasminoides*; çiçeklidir, çiçekleri kokuludur, herdem yeşildir.
- *Euonymus fortune*; güzel görünümüdür, yaprak döker.
- *Ipomoea nil*; çiçeklidir, güzel görünümüdür, yaprak döker.
- *Pomoea quamoclit*; çiçeklidir, güzel görünümüdür, herdem yeşildir.
- *Wisteria sinensis*; çiçeklidir, güzel görünümüdür, yaprak döker.
- *Hedera helix*; iyi tırmanır, güzel görünümüdür, herdem yeşildir.
- *Lonicera japonica*; çiçeklidir, güzel görünümüdür, yaprak döker (Mir, 2011).

2.5.2 Bitkilenmiş duvarlar

Bitkilenmiş duvarlar iki grupta incelenebilir. Birinci grup doğal olarak bitkilenen ve bitkinin duvar yüzeylerinin özellikle birleşim yerlerinde veya çatlaklarında yetiştiği düşey yeşil sistem türüdür. Duvar yüzeyinde düzensiz gelişen bir yapıya sahiptir. İkinci grup ise bilinçli bir şekilde, duvarı oluşturan panellerin kendi bünyesinden bitkilenenin gerçekleştiği tiptir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Bitkilenmiş duvar tiplerinin şematik kesitleri.

2.5.2.1 Doğal bitkilenme

Bu tip sisteme genellikle duvarlarda, anıtlarda, tarihi kent merkezlerindeki binalarda, yıkılmakta olan kale surlarında, bahçelerdeki gölgeli duvarlarda rastlanmaktadır. Bitki topluluklarının gelişimi çoğunlukla sıvanın, betonun veya diğer bağlayıcı malzemelerin dağılma düzeyine bağlı olmaktadır. Düzensiz bir yapısı vardır, herhangi bir insan müdahalesi olmadan büyür.

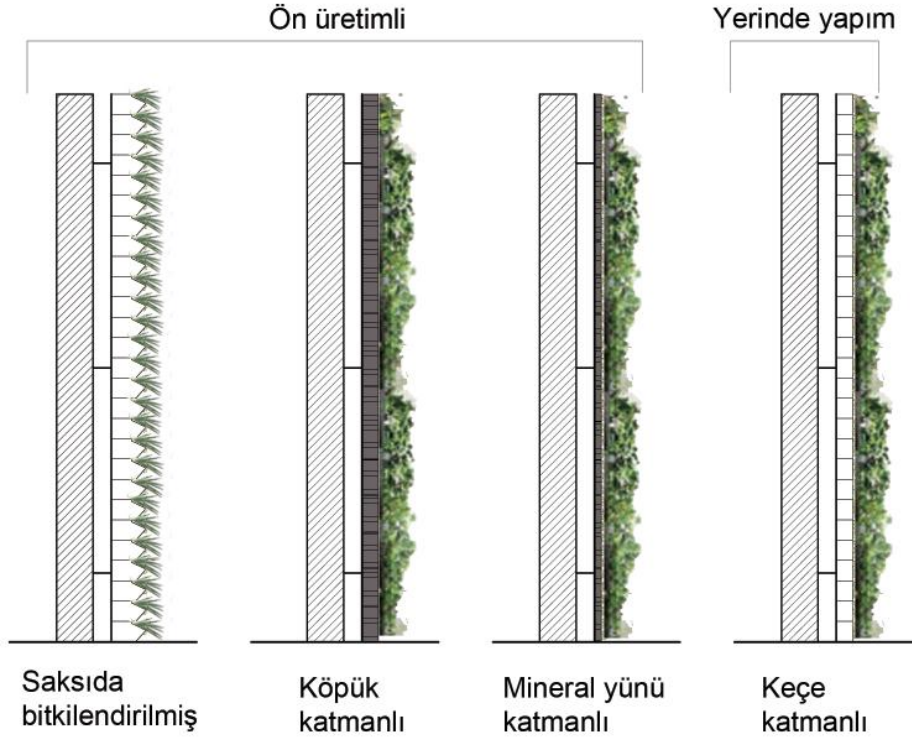
2.5.2.2 Bitkilenmeye uygun ön üretimli paneller

Bu tip beton panelli düşey yeşil sistem, yeşil yapıların yeni bir gelişimidir. Üzerinde bitki olan beton panel yapmak ve test etmek amacıyla günümüzde çalışmalar devam etmektedir. Sistemde kullanılan yapı elemanları, gözenekleri olan beton panellerdir. Bu gözenekler bitkilere büyüme imkanı yaratmak için toprakla doldurulmuştur. Bitkilerin yetişmesi için gerekli su; yağmur ve kar gibi doğal kaynaklardan alınır. Panellerin açılı yerleştirilmesiyle suyun daha fazla emilimi gerçekleştirilir. Betonun pH değerine bağlı olarak, yüzeyinde yaşayabilen belirli sayıda bitki türü vardır (Ottele, 2011).

2.5.3 Yaşayan duvarlar

Yaşayan duvar sistemleri yeşil cephelerden, duvarın altında köklenmek yerine, duvara takılmış bir yetiştirme ortamı içinde büyüyen bitkilerden oluşmasıyla ayrılır. (Dunnett ve Kingsbury, 2008). Yaşayan duvar sistemleri, güneşli, gölgeli ortamlarda; tropikal ve ılımlı iklim gibi farklı iklimlerde tasarlanabilir. (Yu-Peng Yeh, 2010). Yaşayan duvar sistemleri, bitki katmanının duvardan ayrı tutulmasıyla ve hidrofonik sistemi kullanıyor olması nedeniyle yapı duvarları için daha uygundur. Hidroponik, topraksız bitki yetiştirmekte kullanılan bir yöntemdir. Bitkiler topraktaki besinlerin yerine bitkinin ihtiyacı olan mineralleri içeren bir besin solüsyonundan faydalanırlar. Bundan dolayı, toprağın tamamında mineral aramak yerine, bitkiler besinleri kolay bir şekilde ve direkt olarak besin solüsyonundan alabilirler. Bitkileri ve bitkilerin kök sistemlerini desteklemek için genellikle kum, turba, vermikülit, perlit, hindistan cevizi, taş yünü veya genleştirilmiş kil agregası gibi yetiştirme ortamları kullanılır ve bunların kökler etrafındaki nemi tutma olasılıkları yüksektir. Yetiştirme ortamının kendisi bir besin kaynağı değildir (Url-21, 2013). Sistemde kullanılan damla sulama sistemi büyüme ortamını nemli tutar ve su yalıtım membranı ile sistemin taşıyıcısından ayrılır (Dunnett and Kingsbury, 2008). Bitkilerin çeşitliliği ve yoğunluğu sebebiyle, yaşayan duvar sistemleri, yeşil cephelere göre daha yoğun bakım (düzenli su, besin, gübre) gerektirir. Bu sistemler, mevcut duvar taşıyıcısını kullanabildiği gibi yapı sistemlerine temas etmeden de inşa edilebilmektedir.

Hem dış mekanlarda hem de iç mekanlarda uygulanmaktadır. Yaşayan duvar sistemleri iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar ön üretimli ve yerinde yapım sistemlerdir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Yaşayan duvar sistemi tiplerinin şematik kesitleri.

2.5.3.1 Ön üretimli sistemler

Ön üretimli yaşayan duvarlar, duvara takılan ön bitkilendirilmiş panellerden ya da bütünleşik yapı bileşenlerinden oluşturulmuştur. Modüler paneller; polipropilen plastik konteynerler, jeotekstiller, sulama ve büyüme ortamı ile bitki katmanından oluşmaktadır. Bu tip yaşayan duvar sistemi zemin örtüleri, eğreti otları, çalılar, çok yıllık çiçekler ve yenilebilir bitkiler dahil olmak üzere büyük bir bitki çeşitliliğine olanak tanır.

Yaşayan duvarlardaki yapı panelleri, her panelde modülden modüle ve sonrasında panelden panele dahili su akışını sağlamak için tasarlanmıştır. Başlangıçta kurulacak bir damla sulama hattı, sulama için en kolay ve en etkili yöntemi sağlaması bakımından yaygındır. Genellikle sisteme dahil edilen bir damlama borusu bulunur. Damlama borusu, su sistemine ek besin olanağı sağlayan bir su pompasına bağlıdır. Besinler, suyun yukarıdan aşağıya damlaması yoluyla dağıtılır. Bu sebeple, araştırmacılar yaşayan duvar sisteminin bakımını kolaylaştırmak için özel bir kendinden otomatik sulama ve besleme sistemi

geliştirmiştir. Bu sistemde yaşayan duvar sisteminin daha fazla ya da az suya ihtiyaç duyup duymadığını ve besin miktarının yeterli olup olmadığını görmek mümkündür.

Yaşayan duvar sistemleri için toplanmış yağmur suyunun kullanımı kirlletici maddeler ve sporlara bağlıdır. Yağmur suyu filtrelenmelidir ve bu durum daha fazla bakım gerektirir. Pompalama sistemi, yağmur suyunun bakımı ve depolama alanı sebebiyle, tasarım sürecinde sürdürülebilir bir seçim değildir. Birden fazla cepheye yaşayan duvar sisteminin uygulandığı bir projede birkaç sulama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Her duvarda kendine ait bir uygulama gerekmektedir. Güneye yönelmiş bir cephenin, kuzeye yönelmiş bir cepheden, evapotranspirasyon ile alakalı olarak daha fazla suya ihtiyaç duyduğunu unutmamak gerekir. Su tüketimi açısından iklimsel şartlar da önemli rol oynamaktadır.

Yaşayan duvar sistemleri kullanılan yetiştirme ortamının özelliklerine göre; saksıda bitkilendirilmiş, köpük katmanlı, mineral yünü katmanlı olarak üç gruba ayrılır (Şekil 2.11).

▪Saksıda bitkilendirilmiş

Yaşayan duvar sistemi, fiberglas donanımlı geri dönüştürülebilir Yüksek Yoğunluklu Polietilenden (High Density Polyethylene-HDPE) yapılmış dayanıklı modüllerden oluşmaktadır. Bu modüller üç standart renkte bulunmaktadır ve toprakla doldurulmuştur. Saksılardaki toprak, akla gelebilecek her türlü bitki kombinasyonunun dikilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca büyük köklü, daha büyük bitkilerin dikilmesi için yeterli derinliğe sahiptir. Her modül 600 mm genişlikte, 515 mm yükseklikte ve 200 mm derinliktedir. Bitkiler olmadan modül başına sistem ağırlığı 25 ve 40 kg arasındadır ve toprak karışımına bağlıdır. Saksılar sadece dış mekanda değil, iç mekanda da kullanılabilmektedir.

U profile asılan modüllerin ve arka kısımda boşluk bulunmaktadır. Sistem cepheyi tamamen kaplamakta ve su sızdırmaz bir yaşayan duvar sistemi yaratmaktadır.

▪Köpük katmanlı

Köpük tabanlı yetiştirme ortamı aminoplast reçine köpükten yapılmıştır. Bu, hafif fakat dayanıklı ve sıkı beyaz süngerimsi pH'sı nötr olan bir büyüme ortamı oluşturur. Geniş yelpazedeki bitki ve iklim türleri için uygundur. Sistemde, bitkileri yukarıdan aşağıya doğru otomatik olarak su ve gübre ile besleyen dahili bir damla sulama sistemi vardır. Bu sistem hem dış mekan hem de iç mekan koşullarında uygulanabilmektedir.

Yetiştirme ortamı olarak çelik sepetler alüminyum taşıyıcıya asılmıştır. Sistemin alüminyum taşıyıcısı ile duvar arasında 50 mm' lik bir boşluk vardır. Alüminyum dikmeler birbirlerinden standart 510 mm' lik mesafededir. Sistemin panelleri; bitkiler olmadan, maksimum su doyumunda, standart 1000 x 490 x 140 mm' lik ölçüye ve 88 kg/m²' lik bir yoğunluğa sahiptirler.

▪Mineral yünü katmanlı

Bu tip yaşayan duvar sistemleri, farklı bitki türleri için özel tasarım olanakları sağlamakta ve farklı amaçlar için kullanılabilirler.

Yetiştirme ortamında mineral yünü (taş yünü, 80 kg/m²) kullanılmıştır. Paneller 75 x 600 x 1000 mm ölçülerindedir ve her panelin ağırlığı bitkiler olmadan 12-15 kg kadardır. Her panel 16 bitki (27 bitki/m²) içermektedir. PP ve PE' den yapılmış olan koyu gri renkli keçe, paneller etrafında kabuk olarak işlev görmektedir. Bitki besinleri ve asitleri ile temas eden tüm bileşenler, yüksek kaliteli alüminyum alaşımdan imal edilmektedir. Ayrıca, sistem bitkilerin su ve besinlerini veren tam bir sulama ağına sahiptir. Bu sulama ağı bilgisayar üzerinden kontrol edilerek de çalışabilmektedir.

Bu sistem ayrıca ek destek sistemi ile ya da destek systemsiz asma sistemli olarak kullanılabilir. Asma sistem, balkonlar ya da park garajları için bir ekran olarak kullanılabilir.

2.5.3.2 Yerde yapım sistemler

Yerde yapım sistemler cephelere şantiye alanında monte edilebilen yarı hazır sistemlerdir. Keçe katmanı monte edildikten sonra, bitkiler bu katmanın üzerine yerleştirilir.

Bu sistem PVC plaka üzerinde cep şeklinde farklı keçe katmanları ile oluşturulmuştur. Tüm bu bileşenler çoğunlukla, bitki yetiştirme ortamını fiziksel olarak destekleyen çelik bir doğramaya sabitlenmektedir. Sistem cepheye asıldıktan sonra, bitkiler ceplere konulmaktadır.

Bitkiler sürekli sulanan bitki ceplerinde büyümektedir. Sınırlı cep alanı sebebiyle fazla büyümemekte; bu sebeple büyük köklü bitkileri uygulamak uygun olmamaktadır. Bu sistemlerde otomatik olarak işleyen ve nem sensörleriyle kontrol edilen sürekli bir sulama sistemi yer almaktadır. Sistem m² başına günlük 3 litre suya ihtiyaç duymaktadır fakat bu miktar, mevsim, hava koşulları, yerel iklimsel koşullar ve cephenin yönlendiriliş durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Taşan su, panellerin altına monte edilmiş olan sızıntı profiline gelmektedir.

Her metrekarede 25 bitki bulunmaktadır. Çelik doğrama dahil olduğunda sistemin ağırlığı m2 başına 100 kg'dır.

Yerinde yapım için uygun bitkiler şu şekilde listelenebilir:

- Philodendron scandens; çiçeklidir, güzel görünümlüdür, kolay yetiştirilebilir, gölgede büyüyebilir, herdem yeşildir, dış mekan ve iç mekan için uygundur.
- Dracaena: çiçeklidir; az bakım gerektirir, herdem yeşildir, yazın dış mekan ve tüm mevsimlerde iç mekan uygundur.
- English ivy; hızlı büyür, iyi tırmanır, yeşillendirme alanları için uygundur, herdem yeşildir, dış mekan için uygundur.
- Spider plant; kolay ürer, çiçeklidir, güzel görünümlüdür, herdem yeşildir, dış mekan ve iç mekan için uygundur.
- Golden pothos; çiçeklidir, güzel görünümlüdür, yarı herdem yeşildir, dış mekan ve iç mekan için uygundur.
- Peace lily; beyaz çiçeklidir, güzel görünümlüdür; herdem yeşildir, iç mekan için uygundur.
- Chinese evergreen; az büyüyen, dayanıklı bir bitkidir, güzel görünümlüdür, herdem yeşildir, dış mekan için uygundur (Mir, 2011).

2.6 Düşey Yeşil Sistemlerde Malzeme ve Bileşenler

Düşey yeşil sistemlerdeki katmanlaşma modeli tasarlanırken, bitki bileşeninin duvar tabakasıyla birlikte düşünülmesi gerekliliği, sisteme yeni malzeme ve bileşenlerin eklenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Başta bitki olmak üzere, bitkinin yetişeceği ortam, taşınacağı ve sulanacağı sistem, yalıtım katmanları ve duvar gövdesinden oluşan sistemin detaylı anlatımı aşağıda yapılmaktadır.

2.6.1 Bitki

Bitki türünün seçimi;

- rüzgar ve sıcaklık gibi iklimsel olaylara,
- uygulanacak düşey yeşil sistem tipi ve bu tipin katmanlaşma modeline,
- oluşturulmak istenen görsel etkiye

göre değişiklik göstermektedir.

Rüzgar bitki büyümesinde en önemli etkenlerden biridir. Rüzgar veya hava hareketlerindeki artış, yaprakların havadan emdikleri nemin azalmasına neden olur. Böylece sadece yapraklarda değil bitkinin köklerinde de kuruma meydana gelir.

Kök sistemi için kullanılacak suyun miktarının artırılması sonucu değiştirmez, çünkü yaprak yüzeyinden terleme yoluyla kaybedilen su, kökün sulanması yoluyla geri kazanılamaz.

Rüzgar etkisinin yanısıra sıcaklık da bir diğer önemli etkindir. Bitkiler 40°C civarında hayatta kalmak için faaliyetlerini durdururlar. Kuraklığa dayanıklı bitkiler günün sıcak saatlerinde yaprakları üzerindeki gözenekleri kapatıp, sabah saatlerinde açmaktadırlar. Böylece terleme azaltılarak, hayatta kalmak için gerekli suyun korunmasını sağlanır. Bu türler, düşey yeşil sistemler için uygun karakteristik özelliklere sahip bitkilerdendir. Bitki seçimi, yapıda uygulanacak düşey yeşil sistem tipine ve bu sistemin katmanlaşma modeline bağlı olarak da değişiklik göstermektedir.

Yeşil cephelerde; sarılıcı-tırmanıcı bitkilerin kullanılması uygundur. Bu tür bitkilerden de hızlı büyüyen, lifli kök sistemine sahip, zeminden çatıya kadar yapraklanabilen, rüzgara dayanıklı, gölgeye veya doğrudan güneşe yönelebilen bitkiler seçilmelidir (Ottele, 2010). Bitkilenmeye uygun ön üretimli beton panellerde; gözenekler içine doldurulan toprak, yetiştirme ortamını meydana getirir. Yani, sedum bitkisi gibi kurak ve yüksek pH ortamına dayanıklı bitkilerin seçilmesi gerekir (Ottele, 2010). Yaşayan duvarlarda ise; sınırlı yetiştirme ortamına uyum sağlayabilecek bitkilerin tercih edilmesi gerekmektedir. Bitki, lifli kök sistemine sahip olmalı, gövde köke sağlam bağlanmalıdır, rüzgara dayanıklı, hızlı büyüyen, doğrudan güneşe yönelebilen türler seçilmelidir (Ottele, 2010).

Bitki ile renk ve doku farklılıkları yaratmak mümkündür. Bitkinin, kışın yapraklarını dökmesine, yaprak yoğunluğuna, çiçeklenmesine ve mevsimsel renk değişimlerine göre cephede farklı görsel etkisi değiştirilebilir. şekil 2.12’de Patrick Blanc’a ait farklı bitki türleriyle tasarlanmış yaşıyan duvarın görsel etkisi görölmektedir.

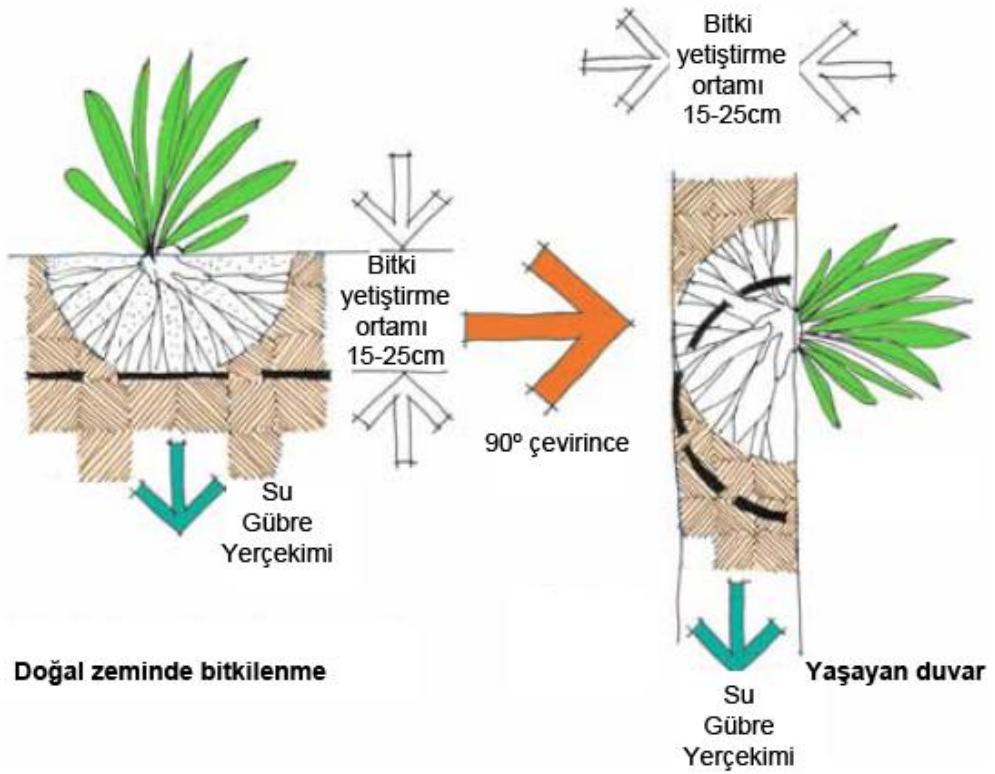


şekil 2.12 : Patrick Blanc’a ait bitki dokusu eskizi ve uygulaması (Url-3, 2013).

2.6.2 Bitki yetiştirme ortamı

İnorganik ve organik bileşenlerden oluşan yetiştirme ortamı, bitkilenmeyi destekleyen mikroorganizmaların çoğalmasına olanak sağlamalı, uzun ömürlü olmalı, drenajı ve havalandırmayı mümkün kılmalıdır (ELT Easy Green Specification, 2011).

Bitkinin başarılı bir şekilde büyümesinde etkili olan kök bölgesi için yetiştirme ortamının özellikleri çok önemlidir. Zemin toprağındaki doğal su ve besinler, humus adı da verilen, genellikle 15-25 cm kalınlığındaki üst tabakada bulunur. Şekil 2.13'te görüldüğü gibi yaşayan duvar sistemlerinde, bahsedilen bu üst tabaka, düşey şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 2.13 : Bitki yetiştirme ortamı (Hopkins, G. ve diğerleri, 2010).

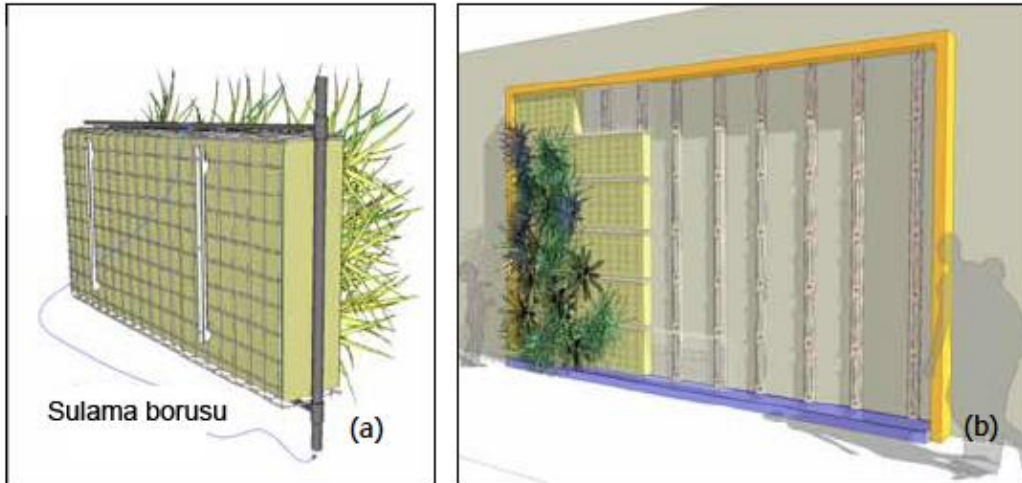
Çıplak toprak için yüzey sıcaklığı 50°C'ye kadar çıkabilir, böylelikle toprak altı sıcaklığı da giderek artar. Kök bölgesindeki 35°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kökler topraktan istenen miktarlarda su alamazlar, böylece yapraklara terleme için su gönderilemez ve yapraklardaki sıcaklık artmaya başlar. Bu sorun, özellikle sıcak-kuru iklimlerde uygulanan düşey yeşil sistemler için oldukça önemli bir konudur. Yetiştirme ortamının nemli tutulması kökün daha yavaş ısınmasını sağlar ve zarar görmesine neden olacak ani sıcaklık değişimleri engellenmiş olur. Öte yandan, kökler tarafından emilemeyen suların, topraktaki hava boşluklarını doldurarak

oksijen bakımından yetersiz, bitkiye zarar verebilecek mantarlar yetişmesine olanak sağlayacak bir ortam oluşturmalarını önlemek üzere, fazla suyun yetiştirme ortamından uzaklaştırılması gereklidir (Ottele, 2011).

Yetiştirme ortamının organik esaslı olmadığı durumlar da vardır. Daha çok yaşayan duvar sistemlerini oluşturan inorganik esaslı bitki yetiştirme ortamlarında, Şekil 2.14'te görüldüğü gibi mineral yünü veya Şekil 2.15'te görüldüğü gibi köpük levhalar kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanıldığı sistemler daha gelişmiş sistemler olup, yaşayan duvarlar şeklinde adlandırılırlar.



Şekil 2.14 : Mineral yünü halinde yetiştirme ortamı (Mir, M. A., 2011).



Şekil 2.15 : Köpük levha halinde yetiştirme ortamı(a) ve iskelet sistemi(b)
(Mir, M. A., 2011).

2.6.3 Bitki taşıyıcı bileşen

Bitki taşıyıcı bileşen olarak kullanılan sistemler; tel kafesler, modüler kafes paneller, kablo veya tel halatlar ile oluşturulan ağlar ile modüler panel kutulardır.

Tel kafesler; taşıyıcıya tutturulmuş tel ve kablo serisi üzerinden bitkinin tırmanması yoluyla oluşturulan sistemlerdir (Şekil 2.16). Yeşil cepheler için uygundur. Bu tip iskeletler bina cephesine tespit edilebileceği gibi kendi kendini taşıyan sistemler olarak da üretilirler (Hopkins ve diğerleri, 2010).



Şekil 2.16 : Tel kafes uygulaması (Hopkins ve diğerleri, 2010).

Modüler kafes paneller; çelikten kaynaklanarak yapılan, rijit, hafif, bitkiyi üç boyutta destekleyen sistemlerdir (Şekil 2.17). Yeşil cepheler için uygundur. Bu sistemlerde bitki bileşeni ile bina cephesi temas etmez (Hopkins ve diğerleri, 2010).



Şekil 2.17 : Modüler kafes panel uygulaması (Hopkins ve diğerleri, 2010).

Kablo ve tel halatlar ile oluşturulan ağlarda; yüksek çekmeli çelik kablolar, tespit ve destek bileşenleri kullanılır (Şekil 2.18). Yeşil cephelerde kullanılır. Kablolar genellikle hızlı büyüyen bitkiler için, tel ağlar ise daha ağır büyüyen tırmanıcılar için uygundur (Hopkins ve diğerleri, 2010).



Şekil 2.18 : Kablo ve tel halatlarla oluşturulan yeşil cephe uygulaması (Hopkins ve diğerleri, 2010).

Modüler panel kutular; yaşayan duvar sistemlerinde kullanılan kutulardır (Şekil 2.19). Metal (alüminyum, paslanmaz çelik, galvanize çelik) ve yüksek yoğunluklu polietilen (high density polyethylene- HDPE) malzeme kullanılarak üretilirler. Bitkiler, bu kutuların içine yerleştirilen yetiştirme ortamında büyürler. Bitkinin kökleri sınırlı büyüme alanına sahip olduğundan bitki seçiminde buna dikkat edilmelidir (Mir, 2011).



Şekil 2.19 : Modüler panel kutu uygulaması (Mir, 2011).

2.6.4 Sulama sistemi

Düşey yeşil sistemlerde iki farklı tipte sulama sistemi vardır. Yeşil cephelerde düşük basınçlı damla sulama, yaşayan duvarlarda ise hidrofonik sistem kullanılmaktadır. Damla sulamada temel prensip bitkinin günlük su ihtiyacını bitkide aşırı bir su isteği yaratmadan damla şeklinde verilmesidir. Bir başka deyişle toprağı değil, bitkiyi sulama demektir (Url-23, 2013). Hidrofonik sistem, modüler panel kutuların üst kısmındaki borudan su ve besinin mekanik olarak ve damlama-besleme adı verilen yöntem kullanılarak sulanması şeklinde çalışan bir sistemdir. Yaşayan duvara besleme-sulama çıkışı hattı 20 mm'lik PVC bir boru ile olmaktadır. Su ve besin modül boyunca yerçekimiyle aşağı taşınır.

Her iki sulama tipinde de, sulama sisteminin bir bileşeni olan ve cephenin alt kısmında konumlanan, fazla suyu ve besini toplamak amacıyla bir damlama tablası mevcuttur. Böylece fazla su ve besin sistem içinde geri dönüştürülebilmektedir. Eğer geri dönüştürme sisteminin kullanılmasını gerektirecek bir durum söz konusuysa, sistem içinde ayarlama yapılmalıdır. Böylelikle bitkilere zararlı olabilecek fazla gübreleme yapılmamış olur. Modüler panel kutu sisteminde her 5 modül yüksekliğinde ya da 3 metre aralıklarla damlama tablası yerleştirilmektedir, aksi takdirde su ve besin düzeyi sistem üzerinden suyun kütle çekimine bağlı olarak alt modüllerde artmaktadır.

Sistemlerin su gereksinimi, yazın maksimum kullanımda günlük 5 litre/m² ve kışın 1 litre/m²'dir (Ottele, 2011). Her iki sistemde de içme suyu kullanılabileceği gibi, yağmur suyunun kullanılması da mümkündür. Yağmur suyunun kirlilik oranına göre filtrelmesi gerekebilir. Birden çok cephede uygulanan düşey yeşil sistem, birden fazla tipte sulama sistemi gerektirir. Her cephe duvarında sulama için kendine özel düzenlemeye ihtiyacı vardır. Terlemenin fazla olması sebebiyle güneşe bakan cephelerde daha çok suya ihtiyaç duyulur (Mir, 2011).

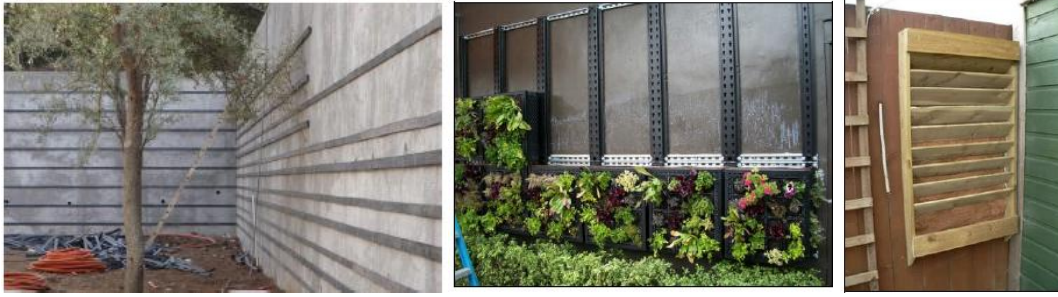
Yaşayan duvar sistemlerinde, nem düzeyini gösterebilmek ve sulama sistemini gerektiğinde otomatik olarak açıp kapatmak üzere, kök bölgesine su sensörleri yerleştirilmektedir. Bu sistemlerde, sulama ve kontrol kabini için duvardan uzak bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alan yaklaşık 1x1x1.5m boyutlarındadır. Döşemeden minimum 1300mm'de yerleştirilmiş bir çiftli prize ve vana ile açılıp kapanan bir su kaynağına ihtiyaç vardır. Su kaynağı, tercihen bina kaynağından ayrı olmak üzere, şebeke basıncında olabilmektedir. Ancak yağmur suyunun toplanıp depolanması ve kullanımı teşvik edilmektedir.

Sulama kontrol araçları, bina servis sistemlerine bağlı olabildiği gibi bağımsız bir sistem olarak da düzenlenebilmektedir (Ottele, 2011).

2.6.5 Taşıyıcı sistem

Yaşayan duvar sistemlerinde modüler panel kutuların asıldığı taşıyıcı sistem bileşenine ihtiyaç vardır. Taşıyıcı sistemde nadiren polietilen ve ahşap, sıklıkla metal malzeme kullanılır (Şekil 2.20). Çelik taşıyıcılar profil halinde olabildikleri gibi farklı montaj türlerine uygun olarak farklı formlarda üretilebilir. Uygulamalarda seyrek olarak alüminyum malzemeler de taşıyıcı çerçeve olarak kullanılmaktadır.

Ahşap malzemenin kullanımı ise seri üretimi yapılmadığından küçük ölçekli uygulamalarda mümkündür (Aygencel, 2011).



Şekil 2.20 : Taşıyıcı sistem tipleri (Aygencel, 2011).

2.6.6 Su yalıtım katmanı

Çevresel etmenler arasında cephe üzerinde etkinliği açısından önemli konumda olan su; katı, sıvı ve gaz halleri ile yapı için ciddi sorunlar yaratma potansiyeline sahiptir (Gür, 2001). Düşey yeşil sistemlerde; yapıyı, duvarın alt katmanlarını ve iç ortamı yağış ve sulama sularından korumak için su yalıtım malzemesine ihtiyaç vardır. Sistemde kullanılan su yalıtım malzemeleri çeşitli bölgelerde konumlandırılmaktadır, ancak genel kullanım yerleri duvar gövdesi ile bitki taşıyıcı sistemin arasındadır. Isı yalıtım katmanı ve varsa buhar kesici katman gibi diğer yalıtım malzemeleri ile birlikte kullanılmaktadır.

2.6.7 Isı yalıtım katmanı

Isı yalıtımı; ısı kaybını azaltmak için ısı geçişi olabilecek bölgelerde kullanılmaktadır. Yapıda kullanılan her malzeme, belli bir düzeyde ısı yalıtımı yapsa da, özellikle ısı yalıtımı amacıyla kullanılacak olan malzemelerde, kalınlığın azaltılabilmesi için ısıl geçirgenlik katsayısının belli bir değerden daha aşağı olması zorunludur. Yapı fiziği açısından, ısıl geçirgenlik katsayısının 0,1 W/m°C'den küçük olması yaygın kabul görmüş bir ilkedir (Toydemir ve diğerleri, 2000). Ülkemizde sıklıkla kullanılan ısı

yalıtım malzemelerinin lifli ve köpük malzemeler olduğu görülmektedir. Lifli malzemeler; taş yünü ve cam yünü gibi mineral yünler ve ahşap yünü, köpük malzemeler ise; genleştirilmiş polistren köpük (EPS) ve haddeden çekilmiş polistren köpük (XPS) gibi polistren köpükler ve poliüretan köpükler olmaktadır (Kaya, 2010).

Düşey yeşil sistem katmanlaşmasında kullanılan ısı yalıtım malzemesi genellikle duvar gövdesine tespit edilecek şekilde konumlandırılmaktadır, levha halindeki malzemelerin kullanımı yaygındır.

2.6.8 Buhar kesici katman

Buharın yapı elemanlarından geçmesi her ne kadar istense de, özellikle ısı yalıtım katmanlarında buharın yoğuşması çözümü zor sorunlar oluşturmaktadır. Buhar basınç farklarına bağlı olarak oluşacak su buharı akımının yoğuşmaması için alınan önlemler üçe ayrılır:

İlk önlem buhar geçişini önleyecek bir buhar kesici katman kullanılmasıdır. Yoğuşmanın engellenmesi için alınacak ikinci önlem nefes alan duvar sistemleri oluşturmaktır. Bunun için özel buhar kesici malzemeler kullanılır. Bu malzemeler, gözenek boyutları sayesinde, buhar basınç farkları doğrultusunda, su buharının akışına kısmi olarak izin verirken suyun geçişine engel olurlar. Bu amaçla polietilen esaslı buhar kesici malzemeler kullanılabilir.

Yoğuşmanın engellenmesi için alınabilecek son önlem ise havalandırmalı duvar sistemlerinin oluşturulmasıdır. Bu tip duvar sistemlerinde, özellikle ısı yalıtım katmanının üzerinde, çeşitli malzemelerden oluşan şerit elemanlar kullanılarak, sistem içinde bir hava boşluğu oluşturulur. Bu hava boşluğu dış ortam ile doğrudan bağlantılıdır. Bu sayede, sistem içinde hareket eden su buharı, bu boşluktan dışarı atılarak sistem içinde yoğuşması engellenmiş olur (Toydemir ve diğerleri, 2000).

2.6.9 Duvar gövdesi bileşeni

Duvar gövdesini oluşturan iki ana öge taşıyıcı kısmı ve duvar dolgu malzemesidir.

Günümüzde tercih edilen ve duvar yüzeyinin oluşmasını sağlayan dolgu malzemeleri; gazbeton, bimsblok ve tuğladır. Gazbeton ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde ile hazırlanan karışımın gözenek oluşturu bir madde ilavesi ile hafifletilmesi ve buhar kürü ile sertleştirilmesiyle elde edilen gözenekli hafif betondur.

Sadece pomza (bims taşı) kullanılarak bimsbetondan üretilen kagir birimlere “bimsblok” adı verilmektedir. Pomzadan imal edilen yapı malzemelerinin en önemlisi ve en yaygın olanı bimsbloklardır. Bunlar inorganik, yüksek ısılarda işlem görmüş silikatlar ve metal oksitlerdir. Oksitlenmiş bir malzeme olmaları kimyasal bakımdan denge noktasında olan ve yeni bir kimyasal işleme girmeyen bir malzeme olmaları demektir. Fiziki olarak sert, gevrek ve ısıya dayanıklıdır (Kaya, 2010).

2.7 Düşey Yeşil Sistemlerin Uygulama Örnekleri

Ele alınan uygulama örnekleri; her bir düşey yeşil sistem sınıflandırması için örnek teşkil edecek ve farklı iklimsel özelliklere sahip yerlerde uygulanabilirliğini gösterecek şekilde seçilmiştir. Örneklerin bulundukları binaya, iklime ve çevreye ilişkin özellikleri Çizelge 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6’da verildiği gibidir. Seçilen örneklerin bulunduğu yerler ise Şekil 2.21’de görülmektedir.



Şekil 2.21 : Seçilen uygulama örneklerinin Dünya üzerinde bulunduğu ülkeler.

2.7.1 Living Map on Copenhagen Wall

Danimarka’da ofis olarak kullanılan mevcut yapının giriş cephesine, 2010 yılında ‘keçe katmanlı yaşayan duvar sistemi’ uygulanmıştır (Şekil 2.22). Düşük sıcaklıkların görülebileceği iklimsel özelliğe sahip bir yerde yapıldığından, orta seviyede güneşlenmeye uygun ve çok su ihtiyacı olmayan bitkiler tercih edilmiştir.



Şekil 2.22 : Living Map on Copenhagen Wall (Url-4, 2013).

Yapım aşamasında öncelikle mevcut cepheye çelik I profiller tespit edilmiş, ona takılan keçe katmanına bitkiler yerleştirilmiştir (Şekil 2.23). 20 ayrı türden, tek yıllık ve yaz döneminde çiçeklenen bitkiler kullanılmıştır.



Şekil 2.23 : Living Map on Copenhagen Wall (Url-4, 2013).

Sistem bina içindeki bir kabinden otomatik olarak damlama yoluyla sulanmaktadır, yalıtım katmanı kullanılmamıştır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 : Living Map on Copenhagen Wall analizi (Aygencel, 2011; Url-5, 2013;Url-6, 2013; Url-7, 2013).

UYGULAMA ÖRNEĞİ 1				
Yapıya ait bilgiler	Adı	Living Map on Copenhagen Wall		
	İşlevi	Ofis binası		
	Yapım yılı	2010		
	Yapım yeri	Kopenhag-Danimarka		
	Mimarı	Johanna Rossbach ile Mangor & Nagel Arkitektirma		
	Yapım amacı	Görsel etkiyi arttırmak		
İklimsel bilgiler	Hava sıcaklığı	Kış aylarında ort. en düşük -1°C, en yüksek 5°C, yaz aylarında en yüksek 22°C, en düşük 13°C olarak ölçülmüştür.		
	Yağış miktarı ve nem	En yüksek yağış miktarı Temmuz ayında 70 mm, en düşük yağış miktarı Mart ayında 30 mm olarak ölçülmüştür. Nem oranı en yüksek ocak ayında %96, en düşük mayıs ayında %21 olarak saptanmıştır.		
	Rüzgar	2 m/s ile 9 m/s arasında değişiklik göstermiştir. Hakim rüzgar yönü batıdır.		
Düşey yeşil sistemin uygulandığı cepheye ait bilgiler	Cephenin bulunduğu yer	Dış mekan		
	Düşey yeşil sistem tipi	Yaşayan duvar-keçe katmanlı		
	Bina aralıkları	Bilgiye ulaşılamadı.		
	Cephenin yönü	Bilgiye ulaşılamadı.		
	Cephenin formu	Dik açılı, Avrupa haritası şeklinde bitkilendirilmiş		
	Kabuk özellikleri	Bitki	20 ayrı türden, tek yıllık, yaz döneminde çiçeklenen, orta seviyede güneşlenme ve düşük seviyede su isteği olan bitkiler kullanılmıştır.	
		Yetiştirme ortamı	Keçe katmanında, yerinde bitkilendirilmiştir.	
		Bitki taşıyıcısı	Tel örgü	
		Sulama sistemi	Bina içindeki bir kabinden otomatik olarak damlama yoluyla sulanmaktadır.	
		Taşıyıcı sistem	Çelik I profiller	
		Su yalıtımı	Yok	
		Isı yalıtımı	Yok	
		Buhar kesici katman	Yok	
Duvar gövdesi		Mevcut yığma duvar		

2.7.2 Otel Ushüaia Low-Tech Vertical Garden, 2011

Otel olarak İspanya’da tasarlanmış olan yapıda avlunun merkezindeki bar ile konaklama alanları arasında ses bariyeri sağlamak amacıyla ‘düşey yeşil sistem’ kullanılmıştır (Şekil 2.24).



Şekil 2.24 : Otel Ushüaia Low-Tech Vertical Garden (Url-8, 2013).

Çizelge 2.3’te açıklandığı gibi yüksek nem ve sıcaklık değerlerinin ölçüldüğü ve rüzgar hızının düşük olduğu bir bölgede konumlandırılmış sistemin üretimi ve kullanım süreci düşük teknolojiler ile yapılmaktadır. Kiremit saksılara dikilen bitkiler, cephenin amorf formunun neden olduğu yönlenmenin getirdiği gölge ve güneş ışınımı miktarına bağlı olarak yedi farklı türden seçilmiştir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 : Otel Ushüaia Low-Tech Vertical Garden (Url-8, 2013).

Saksıda bitkilendirilmiş yaşayan duvar türünde inşa edilen cephede, saksılara duvar yönüne doğru eğim verilerek sulama ve yağmur suyundan en üst düzeyde fayda sağlanması amaçlanmıştır.

Çizelge 2.3 : Living Otel Ushüaia Low-Tech Vertical Garden analizi (Url-8, 2013; Url-9, 2013; Url-10, 2013).

UYGULAMA ÖRNEĞİ 2				
Yapıya ait bilgiler	Adı	Hotel Ushüaia Low-Tech Vertical Garden		
	İşlevi	Otel binası		
	Yapım yılı	2011		
	Yapım yeri	İbiza-İspanya		
	Mimarı	Urbanarbolismo		
	Yapım amacı	Avlunun merkezindeki bar ile ona yakın olan otele odaları arasında ses bariyeri sağlamak		
İklimsel bilgiler (1974-2012)	Hava sıcaklığı	Yıl boyunca sıcaklık ort. en düşük 8 °C, en yüksek 30 °C ölçülmüştür.		
	Yağış miktarı ve nem	En çok yağış olan ay Kasım, en az yağış olan ay Temmuz ayıdır. Nem oranı yıl içinde %54 ile %93 arasında değişiklik gösterir.		
	Rüzgar	Rüzgar yıl içinde 0 m/s ile 7 m/s arasında ölçülmüştür. Hakim rüzgar yönü doğudur.		
Düşey yeşil sistemin uygulandığı cepheye ait bilgiler	Cephenin bulunduğu yer	Dış mekan-giriş cephesi		
	Düşey yeşil sistem tipi	Yaşayan duvar-saksıda bitkilendirilmiş		
	Bina aralıkları	Bilgiye ulaşılamadı.		
	Cephenin yönü	Bilgiye ulaşılamadı.		
	Cephenin formu	Amorf form		
	Kabuk özellikleri	Bitki	Bölgenin iklimsel yapısına uygun 7 farklı ırkın türleri seçilmiştir.	
		Yetiştirme ortamı	Saksı içine yerleştirilen toprakta bitkilendirilmiştir.	
		Bitki taşıyıcısı	Saksı	
		Sulama sistemi	Çeşitli yönelimlere farklı sulama programları gerektiren damla sulama ve manuel sulama sistemi şeklindedir. Saksılara duvar yönüne doğru eğim verilmiş, böylece suyun toprak yüzeyinden içeri akışı ve toplanması kolaylaştırılmıştır.	
		Taşıyıcı sistem	Bilgiye ulaşılamadı.	
		Su yalıtımı	Bilgiye ulaşılamadı.	
		Isı yalıtımı	Bilgiye ulaşılamadı.	
		Buhar kesici katman	Bilgiye ulaşılamadı.	
Duvar gövdesi		Bilgiye ulaşılamadı.		

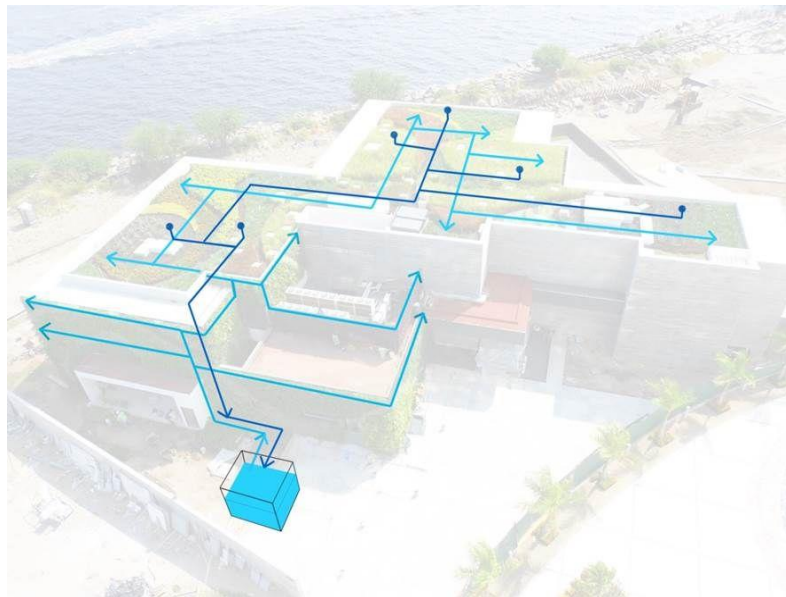
2.7.3 Casa Vallarta Greenwalls, 2012

Konut olarak Meksika’da tasarlanan yapıda ‘keçe katmanlı yaşayan duvar sistemi’ uygulanmıştır (Şekil 2.26). Kuzeydoğu cephesinde uygulanan sistemin yapılış amaçlarından biri görsel etki yaratmaktır. Bu sebeple farklı renklere sahip türler seçilmiştir.



Şekil 2.26 : Casa Vallarta Greenwalls (Url-11, 2013).

Sistemin, yağmur suyunun etkin kullanımına ve yapıdaki ısı yalıtımına katkı sağlaması enerjinin etkin kullanımı açısından önemli faktörlerdir. Sistemde yağmur ve sulama suyu tanklarda toplanır. Gerektiği durumlarda biriktirilen su filtrelenerek sisteme geri verilir (Şekil 2.27). Su yalıtım malzemesi pet şişelerin geri dönüştürülmesiyle üretilmiştir (Çizelge 2.4).



Şekil 2.27 : Casa Vallarta Greenwalls (Url- 11, 2013).

Çizelge 2.4 : Casa Vallarta Greenwalls analizi (Url-11, 2013; Url-12, 2013).

UYGULAMA ÖRNEĞİ 3				
Yapıya ait bilgiler	Adı	Casa Vallarta Greenwalls		
	İşlevi	Müstakil konut		
	Yapım yılı	2012		
	Yapım yeri	Jalisco-Meksika		
	Mimarı	Alejandra Diaz de Leon, Ezequiel Farca		
	Yapım amacı	Görsel etkiyi arttırmak, yağmur suyunun etkin kullanımını ve ısı yalıtımını desteklemek		
İklimsel bilgiler (1990-2012)	Hava sıcaklığı	Haziran ayında ort. en yüksek değer 32 °C, Ocak ayında ort. en düşük değer 5 °C ölçülmüştür.		
	Yağış miktarı ve nem	En yüksek yağış miktarı Temmuz ayında %66, en düşük yağış miktarı Mart ayında %3 ölçülmüştür. Yıl boyunca en sık rastlanan yağış tipi gök gürültülü sağanaktır ve ılıman dönemde sık görülür.Nem oranı %15 ile %93 arasındadır.		
	Rüzgar	0 m/s ile 8m/s arasında ölçülmüştür.		
Düşey yeşil sistemin uygulandığı cepheye ait bilgiler	Cephenin bulunduğu yer	Dış mekan		
	Düşey yeşil sistem tipi	Yaşayan duvar-keçe katmanlı		
	Bina aralıkları	Bilgiye ulaşılamadı.		
	Cephenin yönü	Kuzeydoğu		
	Cephenin formu	Dik açılı		
	Kabuk özellikleri	Bitki	Bitki seçiminde öncelikle rüzgarda hareket edebilecek boyutta ve renk çeşitliliği olan ırklar seçilmiştir.	
		Yetiştirme ortamı	Toprak	
		Bitki taşıyıcısı	Keçe	
		Sulama sistemi	Sistemde yağmur ve sulama suyunun toplandığı tanklar vardır. Gerektiği durumlarda biriken su filtrelenerek sisteme geri verilir.	
		Taşıyıcı sistem	Bilgiye ulaşılamadı.	
		Su yalıtımı	33.500 pet şişenin geri dönüştürülmesiyle üretilmiş geotekstil kullanılmıştır. Bitkilendirme yapılmadan önce su ile test edilmiştir.	
		Isı yalıtımı	Var. Bitkilerden kaynaklanan ilave yalıtım sayesinde klima sayısı ve kapasitesi düşürülmüştür.	
		Buhar kesici katman	Bilgiye ulaşılamadı.	
Duvar gövdesi		Bilgiye ulaşılamadı.		

2.7.4 Havacılık Kültür Merkezi, 2009

Barselona'da Kültür Merkezi olarak inşa edilen yapıda yapı malzemesi olarak bitkilenmeye uygun üretimli beton paneller kullanılmıştır (şekil 2.28). Yapımından yaklaşık bir yıl sonra cephenin bünyesinden bitkileneceği n görülmüştür. Yapının tüm cepheleri aynı sistemle üretilmiştir. Bitki olarak liken ve karayosunları kullanılmıştır (şekil 2.29).



şekil 2.28 : Havacılık Kültür Merkezi (Url-13, 2013).

Beton bloklar elik profillere monte edilmiştir. Bitkilerin yetişebilmesi için gerekli olan su cepheden emilen yağmur suyu ile sağlanmaktadır (izelge 2.5).



şekil 2.29 : Havacılık Kültür Merkezi (Url-13, 2013).

Çizelge 2.5 : Havacılık Kültür Merkezi analizi (Url-13, 2013; Url-14, 2013; Url-15, 2013).

UYGULAMA ÖRNEĞİ 4				
Yapıya ait bilgiler	Adı	Havacılık Kültür Merkezi		
	İşlevi	Kültür merkezi		
	Yapım yılı	2009		
	Yapım yeri	El Prat de Llobregat-Barselona		
	Mimarı	Berta Barrio, Sergi Godia, Eloi Juvilla		
	Yapım amacı	Yeni yapı malzemesi olan beton bloklar ile yapının iskeletine zarar vermeden ve düşük teknoloji ile bitkilenmiş duvarlar yaratmak		
İklimsel bilgiler (1974-2012)	Hava sıcaklığı	En düşük 5 °C, en yüksek 28 °C olarak ölçülmüştür.		
	Yağış miktarı ve nem	En yüksek yağış miktarı ölçümü Nisan ayında %36, en düşük yağış miktarı Temmuz ayında %21 oranında ölçülmüştür. Yağmur tipi orta şiddettedir. Nem oranı ort. en yüksek %92, en düşük %54 ölçülmüştür.		
	Rüzgar	0 m/s ile 7 m/sarasındadır. Hakim rüzgar yönü kuzeydir.		
Düşey yeşil sistemin uygulandığı cepheye ait bilgiler	Cephenin bulunduğu yer	Dış mekan		
	Düşey yeşil sistem tipi	Bitkilenmiş cephe		
	Bina aralıkları	Bilgiye ulaşamadı.		
	Cephenin yönü	Tüm cephelerde kullanılmıştır.		
	Cephenin formu	Dik açılı		
	Kabuk özellikleri	Bitki	Liken ve karayosunu	
		Yetiştirme ortamı	Beton bloklardaki	mikro gözeneklerdeki toprak
		Bitki taşıyıcısı	Ön üretimli beton bloklar	
		Sulama sistemi	Yağmur suyu	
		Taşıyıcı sistem	Yok	
		Su yalıtımı	Var	
		Isı yalıtımı	Yok	
Buhar kesici katman		Bilgiye ulaşamadı.		
Duvar gövdesi	Ön üretimli beton blok+çelik profiller			

2.7.5 MFO Park, 2002

Anlatılan diğ er uygulama örneklerinden farklı olarak, bu örnek rekreatif amaçla kullanılan 24 saat halkın kullanımına açık ve kamusal bir kent parkıdır ( ekil 2.30).



Şekil 2.30 : MFO Park (Url-16, 2013).

Kablo ve tel örgü a  sistemi kullanılarak üretilen yeşil cephe örneğinde değişik boylarda ve farklı renklerde sarılıcı-tırmanıcı bitkiler kullanılmıştır. Bitkiler, tüm cephelerde, iç mekanda ve ara katlarda zemin veya saksı toprağına dikilmi tir ( ekil 2.31).



Şekil 2.31 : MFO Park (Url-16, 2013).

Bitkilerin sarıldığı ve sistemin temel malzemesi olan paslanmaz  elik gergiler dışında, sistemde yalıtım katmanı yoktur ( izelge 2.6).

Çizelge 2.6 : MFO Park analizi (Aygençel, 2011; Url-16, 2013; Url-17, 2013).

UYGULAMA ÖRNEĞİ 5				
Yapıya ait bilgiler	Adı	MFO Park		
	İşlevi	Park-Rekreasyon		
	Yapım yılı	2002		
	Yapım yeri	Zürih, İsviçre		
	Mimarı	Raderschall Landschaftsarchitekten AG, Burckhardt&Partner AG		
	Yapım amacı	Endüstriyel ve çok katlı yapıların olduğu bir bölgede 24 saat halkın kullanımına açık rekreatif bir alan yaratmak		
İklimsel bilgiler (1974-2012)	Hava sıcaklığı	-2 °C ile 25 °C arasında ölçülmüştür.		
	Yağış miktarı ve nem	En yüksek yağış miktarı %66 ile Aralık ayında, en düşük yağış miktarı %48 ile Eylül ayında kaydedilmiştir. Yıllık yağış miktarı orta seviyededir. Nem miktarı en düşük %47 ve en yüksek %98 ölçülmüştür.		
	Rüzgar	0 m/s ile 5 m/s aralığındadır. Hakim rüzgar yönü batıdır.		
Düşey yeşil sistemin uygulandığı cepheye ait bilgiler	Cephenin bulunduğu yer	Dış mekan-İç mekan		
	Düşey yeşil sistem tipi	Yeşil cephe-kablo ve tel örgü ağ sistemi		
	Bina aralıkları	Bilgiye ulaşamadı.		
	Cephenin yönü	Tüm cephelerde kullanılmıştır.		
	Cephenin formu	Dik açılı		
	Kabuk özellikleri	Bitki	Değişik boylarda ve farklı renklerde 104 çeşit sarılcı-tırmanıcı bitki kullanılmıştır.	
		Yetiştirme ortamı	Zemin katta zemin toprağı, üst katlarda metal saksılar içine yerleştirilmiş toprak	
		Bitki taşıyıcısı	Paslanmaz çelik gergi kablolar	
		Sulama sistemi	Yüksek teknoloji su toplama ve uzaklaştırma sistemine sahiptir.	
		Taşıyıcı sistem	Çelik profiller	
		Su yalıtımı	Yok	
		Isı yalıtımı	Yok	
Buhar kesici katman		Yok		
Duvar gövdesi	Yok			

2.8 Bölüm Sonucu

Bu bölümde, düşey yeşil sistemlerin tanımı yapılarak, tarihsel gelişimi, sağladığı faydalar ve neden olduğu zararlar, düşey yeşil sistem tipleri ve bileşenleri açıklanmış, Dünya üzerinde farklı iklim bölgelerinden seçilen uygulama örnekleri incelenmiştir. Bu doğrultuda tez kapsamında, ülkemiz koşulları için en elverişli olduğu düşünülen düşey yeşil sistem tipinin enerji etkinliğinin değerlendirilmesine karar verilmiştir.

3. DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERİN ENERJİ ETKİN TASARIMINDA ETKİLİ PARAMETRELER

Düşey yeşil sistemlerin enerji etkin tasarımında etkili olan parametreler, iklime ve cepheye ilişkin olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır.

3.1 İklima İlişkin Parametreler

İklime ilişkin parametreler; güneş ışıınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve rüzgar olarak gruplanabilir.

3.1.1 Güneş ışıınımı

Güneş, ekosferde bulunan tüm ekolojik sistemler için en büyük enerji kaynağıdır. Tüm ekolojik sistemler, güneş enerjisi ile çalışır. Güneş çok yüksek ısıda olan hidrojen küttlesidir. Güneş ışıınlarının yarıya yakın kısmı, atmosferden geçerken çeşitli gazlar tarafından tutulur. Geriye kalan kısmı ancak yeryüzüne ulaşır (Kışlalıoğlu ve Berkes, 1994). Kısa dalga boylu ve çok yüksek enerjiye sahip olan mor ötesi ışıınlarının %99'u atmosferdeki ozon tabakası tarafından tutulur. Sadece ozon tarafından filtre edilen ve canlılar için yararlı olan %1'i yeryüzüne ulaşır (Özdemir, 1997).

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıınım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıınım şiddetinin 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 3.1'de Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aylara göre verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (Url-18, 2013).

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi Saat/ay
	Kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -ay	
Ocak	4.45	51.75	103
Şubat	5.44	63.27	115
Mart	8.31	96.65	165
Nisan	10.51	122.23	197
Mayıs	13.23	153.86	273
Haziran	14.51	168.75	325
Temmuz	15.08	175.38	365
Ağustos	13.62	158.40	343
Eylül	10.60	123.28	280
Ekim	7.73	89.90	214
Kasım	5.23	60.82	157
Aralık	4.03	46.87	103
Toplam	112.74	1311	2640
Ortalama	308.0 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Şekil 3.1' de verilmiştir.

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

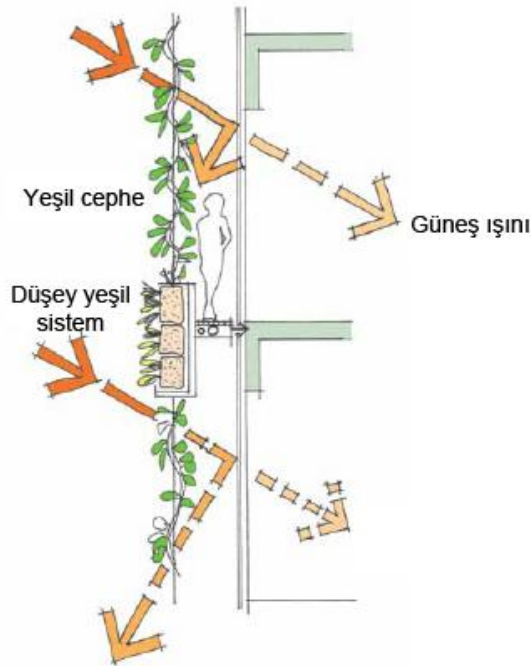
Şekil 3.1 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (Url-19, 2013).

Yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınlamına bağlı olarak, gerçek atmosfer koşullarında düşey yüzeyi etkileyen aylık ortalama saatlik doğrudan güneş ışınlamı şiddeti (ID, $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$) değerleri hesaplanmaktadır. Doğrudan güneş ışınlamı şiddeti; yöreye, zamana ve yönle göre değişim göstermektedir (Berköz ve diğerleri, 1995).

Bütün bitkiler büyüme, gelişme ve üremelerini tamamlayabilmek için ışığa mutlak gereksinim duyarlar. Normal büyüme ve gelişmelerini tamamlayabilmek için bol ışığa gereksinim duyan bitkilere gün bitkileri; az ışığa gereksinim duyan bitkilere gölge bitkileri denir.

Güneşlenme süresi bitkilerin vejetatif büyümeden generatif (üretken) gelişmeye geçmelerinde etkilidir. Gün uzunluğu bitkileri, çiçek oluşumu için günlük 10-12 saatten fazla aydınlanma süresine ihtiyaç duyarlar. Kısa gün bitkileri çiçeklenebilmeleri için günlük 10-12 saatten daha az aydınlanma süresi isterler. Nötr gün bitkileri, çiçek oluşumu için belirgin bir ışıklanma süresine gerek duymayan bitkilerdir (Url-20, 2013).

Düşey yeşil sistemlerde, tasarımcının kararına, mekanın ihtiyaçlarına ve bitki seçimine bağlı olarak, iç mekandaki aydınlanma düzeylerini ayarlama imkanı vardır. Güneşe dayanıklı ve bol miktarda yapraklanabilen bitki tercih edildiğinde, iç mekana güneş ışınlarının girmesi engellenir; az yapraklanan bitki tercih edildiğinde ise ışınların içeri girmesine ve mekanların daha aydınlık olmasına izin verilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Bitki seçimi - güneş ışını ilişkisi (Hopkins, G. ve diğerleri, 2010).

3.1.2 Dış hava sıcaklığı

Canlıları yakından ilgilendiren iklime ilişkin parametrelerden biri de sıcaklıktır. Güneş ışınlarının yeryüzüne çarpması ile ışın enerjisi ısı enerjisine dönüşür ve sıcaklık meydana gelir. Dış hava sıcaklığı değerleri, yer yüzeyinin, güneş hareketi ve gök koşullarının etkisi ile, ısınma ve soğumasına bağlı olarak değişmekte ve 24 saatlik periyotlarla tekrarlanmaktadır (Altun, 1997).

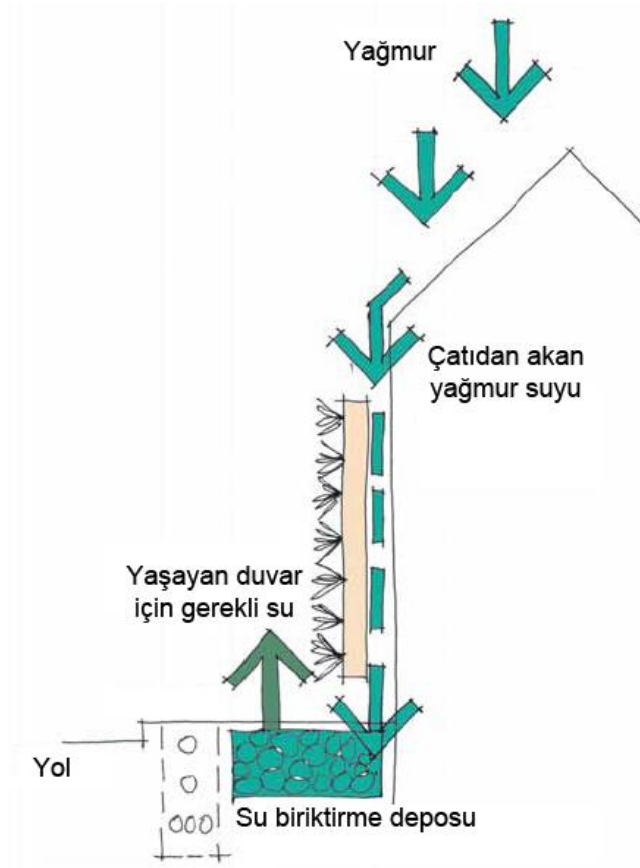
Kentler, açık arazi ve ormanlara göre daha sıcaktır. Çünkü binalara ait duvarlar ve çatılar ile asfalt yollar açık alana göre daha büyük bir ısınlanma yüzeyine sahiptir. Dolayısıyla daha fazla güneş enerjisi emmektedir. Ayrıca kente düşen yağış suları asfalt yol ve meydanlardan hızla kanalizasyona aktığından, güneş bu yüzeylerde, açık alandaki nemli bir toprağa göre daha fazla etkili olmakta ve bu yüzeyleri daha çok ısıtmaktadır. Aynı zamanda kent içi yapılarda ısı kaybı daha yavaş olacağından ortalama sıcaklık yüksektir. Kentlerde minimum sıcaklıklar kırsal alana oranla 0.8-1.5 °C daha yüksek olabilmektedir.

Kent içineki beton, taş, asfalt gibi katı cisimler ısıyı, yeşil alanlara göre 10 kez daha çok iletmediğinden kent gündüzleri çok ısınır, geceleri de yapı yoğunluğuna bağlı olarak ısı kaybı o derece az olur. Ayrıca konutlardan ve endüstri kuruluşlarından, havaya güneşin verdiği sıcaklığın %40'ı kadar sıcaklık verilir (Çepel, 1994).

3.1.3 Yağış miktarı ve nem

Havanın nemi, bir ekosistemin yağış miktarı ve su kaybı (buharlaştırma) üzerinde etkilidir. Yağışlar ise su faktörü olarak bütün canlılar için son derece önemlidir. Tüm canlılar için gerekli suyun kaynağı olan yağışların miktarı, mevsimlere dağılışı, kar ve yağmur şeklinde oluşu bölgelere göre farklılık gösterir. Su miktarını, sıcaklık, hava hareketleri gibi diğer iklim parametreleri ile toprak ve bitki rölyef özellikleri de önemli ölçüde etkiler. Nem, yüzey kaplamalarının özelliğine göre değişmektedir. Beton kaplı zeminin 1km uzağında %60, hemen yakınında ise %80-90 nemlilik gözlenmektedir (Çepel, 1994).

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi bölgedeki yağış miktarına göre, bitki katmanı yoluyla yetiştirme ortamına alınamayan fazla su, su tanklarında biriktirilerek ve daha sonra filtrelenip yeniden kullanılarak sisteme geri kazandırılır. Yağmur suyunun düşey yüzeylerden akıp gitmemesi yani korunumu ve geri kullanımı açısından düşey yeşil sistemlerin yarar sağladığı görülmektedir.



Şekil 3.3 : Yağmur suyu biriktirme diyagramı (Hopkins, G. ve diğerleri, 2010).

3.1.4 Rüzgar

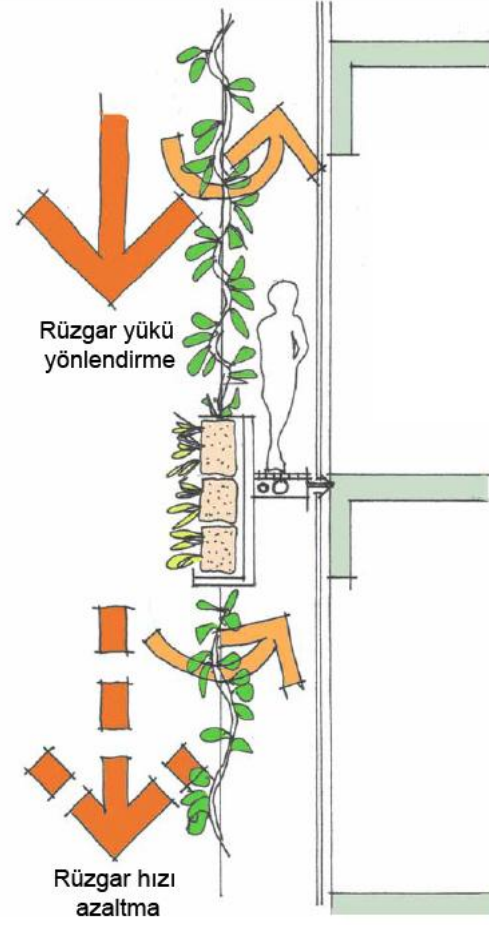
Atmosferdeki rüzgarın oluşum süreci şu şekilde olmaktadır: Güneş dünyayı ısıtır, bazı bölgeler diğerlerinden daha çok ısınır, farklı sıcaklıklar basınç farklarını meydana getirir, basınç farkları rüzgarın oluşmasını sağlar (Aronin, 1953).

Rüzgar, hava içindeki gazların dengeli bir biçimde yayılmasını sağlarken, bitkilerin tozlaşması, tohumların yayılması, terleme şiddeti, bitkilerin morfolojisi, toprağın nem ekonomisi, orman ölü örtüsünün ayrışması, karların savrulması, kirli havanın bir yerden başka bir yere taşınması gibi birçok olayda da etkilidir. Rüzgarın bu fonksiyonları esiş yönüne, hızına ve miktarına göre değişir. Hakim rüzgar esiş yönü bir peyzajın nem ve sıcaklık ekonomisini etkiler.

Karşılaştırmalı rüzgar profillerine göre, kent içindeki rüzgar hızı, %20-30 oranında daha azdır. Ayrıca kent ne kadar geniş alana yayılmışsa, rüzgar bakımından sakin günlerin sayısı da o kadar artar (Çepel, 1994).

Bitki elemanı ile cephenin birlikte tasarlanıp çözüldüğü durumlarda hakim rüzgar yönü ve hızı dikkate alınmalı, bitki ve taşıyıcı sistem seçimleri ona göre yapılmalıdır.

Düşey yeşil sistemler, Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, rüzgar hızını ve yükünü azaltma eğilimindedirler.



Şekil 3.4 : Düşey yeşil sistemler ve rüzgar ilişkisi (Hopkins, G. ve diğerleri, 2010).

3.2 Cepheye İlişkin Parametreler

Düşey yeşil sistemlerin enerji etkin tasarımında etkili parametrelerden bir diğeri ise cepheye ilişkin parametrelerdir. Bu parametreler aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1 Cephenin bulunduğu yer

Yer, iklim kontrolünde ve çevre kirliliğini önlemede etkili olan bir tasarım parametresidir. Bu parametre, yeryüzü parçasının baktığı yön, yeryüzü parçasının eğimi, yeryüzü parçasının konumu ve yeryüzü parçasının örtüsü (veya güneş ısınımı yansıtma özelliği) gibi bir grup alt parametreler bütünüdür. Bu parametrelere ilişkin uygun değerler, yörelerde geçerli olan iklimsel koşullar ve insanın iklimsel ihtiyaçlarına bağlı olarak belirlenirler ve yerleşmeler için en uygun olan bölgeleri tanımlarlar. Topografik düzene bağlı olarak iklimsel parametrelerin etkinlik dereceleri değişim göstermektedir. İklimle dengeli tasarım sürecinde öncelikle iklim bölgeleri

için, iklimsel karakterlere göre iklimsel etkilerden optimum yararlanacak biçimde iklimsel gereksinmeye cevap verebilecek yeryüzü parçaları seçilmelidir (Zeren ve diğerleri, 1987). Düşey yeşil sistemlerde, cephenin bulunduğu yeryüzü parçasının iklimsel özellikleri, bitki bileşeni katmanının seçiminde büyük öneme sahiptir. Farklı iklim bölgelerinin karakteristik özelliklerine uyum gösterebilen farklı bitkiler vardır.

Bununla birlikte, bina ölçeğinde bakıldığında, cephenin iç veya dış mekanda uygulanması önemlidir. İç mekan veya dış mekan uygulamalarında bitki bileşeninin seçimi ışık ve sıcaklık isteklerine göre değişkenlik göstermektedir.

3.2.2 Bina aralıkları

Cepheler; binalar arasındaki mesafelere, yüksekliklerine ve birbirlerine göre olan konumlarına bağlı olarak, birbirleri için güneş ısıtımı ve rüzgar engelleri olarak işlev görebilirler. Bu nedenle güneş ısıtımının ısıtıcı etkisinden ısıtma ve iklimlendirme amaçlı yararlanma veya kaçınma, binalar arasındaki açık mekanların ölçülerinin bir fonksiyonudur. Güneşin gün boyunca cephelere göre açısal konumu yönlerine bağlı olarak değişim gösterdiğinden, uygun bina aralıklarının da bina dizilerinin yönlendirilişlerine göre değişim göstereceği açıktır. Ayrıca, istenen iç rüzgar hızının sağlanabilmesi açısından gerekli olan dış tasarım rüzgar hızı, bina aralıklarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bina aralıkları azaldıkça dış tasarım rüzgar hızı etkisi de azalmaktadır (Zeren ve diğerleri, 1987).

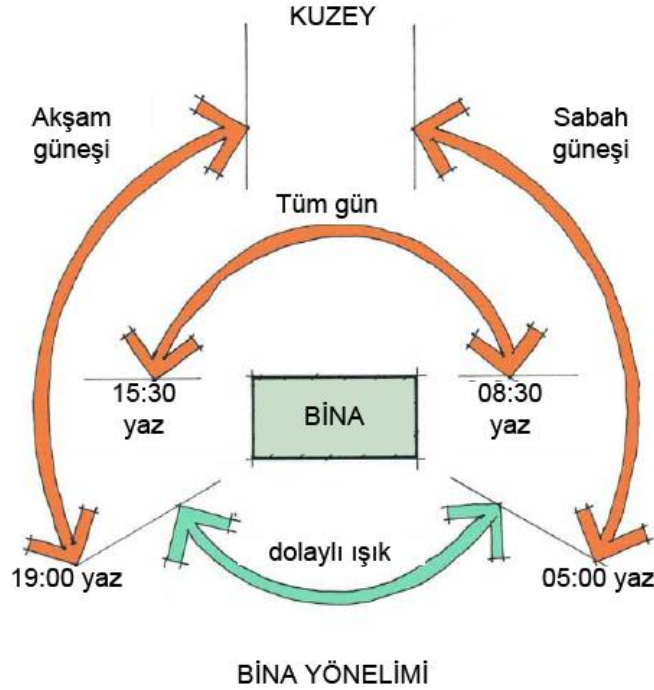
Rüzgar ve güneşten yararlanma ve korunma isteklerine bağlı olarak yerleşme yoğunluğu iklim bölgelerine göre değişkenlik göstermektedir. Binalar arasındaki uzaklıklar, cephelerin birbirlerinin güneş ısıtımı kazançlarını ve yararlı rüzgar etkilerini engellemeyecek şekilde belirlenmelidir (Oral ve Manioğlu, 2005).

3.2.3 Cephenin yönlendiriliş durumu

Cephe yönü, bina aralıkları gibi cephe üzerine düşen güneş ısıtımı miktarını doğrudan belirleyen değişkenlerden biridir. Ayrıca binanın rüzgar alma durumunu dolayısıyla doğal havalandırma ve ısı kaybı miktarını etkilemektedir. Bu nedenle binanın içinde bulunduğu çevresel koşullara ve iklim bölgesine göre bina gerektiğinde güneş ışığı alacak ve rüzgardan faydalananak, gerektiğindeyse korunacak şekilde yönlendirilmelidir (Yılmaz, 2006).

Şekil 3.5'te anlatıldığı gibi, binanın kuzey cephesi yaz aylarında sabah saatlerinden öğleden sonraki saatlere kadar güneşe maruz kalmakta, doğu cephesi sabah güneşi, batı cephesi akşam güneşi almakta, güney cephesi ise dolaylı ışık görmektedir.

Bu bağlamda, düşey yeşil sistemlerdeki bitki seçimleri ısı ve ışık ihtiyaçları, yönler ve ona ilişkili olarak ortaya çıkan iklimsel değişiklikler göz önüne alınarak yapılmalıdır.



Şekil 3.5 : Cephenin yöneltiliş durumu ve güneş ışıınımı ilişkisi (Hopkins, G. ve diğerleri, 2010).

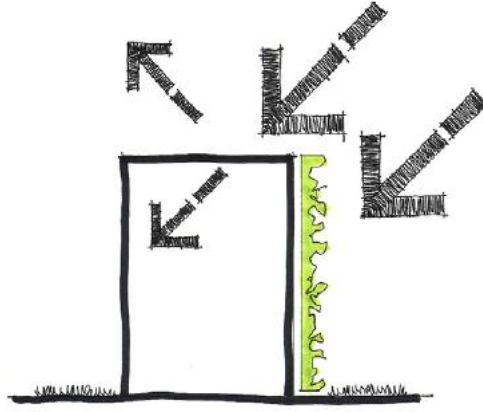
3.2.4 Cephe formu

Herhangi bir yaşama alanını örten ve dış çevreden ayıran bina kabuğunun formuna bağlı olarak,

- Binanın toplam dış yüzey alanı
- Farklı yönlere bakan ve farklı eğimlerdeki cephe ve çatı yüzeyleri alanları ve
- Cephe ve çatı yüzeyleri arasındaki oranlar

değişim gösterir.

Bina kabuğu iç yüzey sıcaklığı diğer yüzeylerin sıcaklıklarından farklı olduğu için, kabuk alanını ve ortalama ışıınımsal sıcaklık değişimi, kabuk elemanlarından geçen ısı miktarının ve dolayısı ile iç hava sıcaklığının farklılaşmasına yol açar. Bu nedenle dış yüzey kabuk alanının belirleyicisi olan cephe formu, cepheye ilişkin parametrelerin en önemlilerinden biri olarak ele alınabilir (Berköz ve diğerleri, 1995). Şekil 3.6'daki gibi dik açılı cephe formları ile eğik açılı ya da amorf formlu yüzeylere gelen güneş ışıınlarının geliş açısı birbirinden farklı olmaktadır. Bu farklılık düşey yeşil sistemlerin uygulandığı yüzeyde ısınma farkı yaratarak, bitki seçiminde dikkat edilmesi gereken bir unsur haline gelmektedir.



Şekil 3.6 : Dik açılı cephe formu ve güneş ışını geliş açısı diyagramı (Hopkins, G. ve diğerleri, 2010).

3.2.5 Kabuk özellikleri

Tanım olarak bina kabuğu; iç ve dış çevreyi birbirinden ayıran, yatay, düşey ve eğimli tüm bina bileşenlerinden oluşan bina ögesidir (Green, 2007). Pasif ısıtma işlevi açısından bakıldığında bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri önem kazanır.

Bina kabuğunun optik özellikleri;

- kabuk iç ve dış yüzeyinin yutuculuğu
- kabuk iç ve dış yüzeyinin geçirgenliği
- kabuk iç ve dış yüzeyinin yansıtıcılığıdır.

Bina kabuğunun termofiziksel özellikleri ise;

- toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U),
- saydamlık oranı,
- genlik küçültme faktörü ve
- zaman geciktirmesidir (Parlak, 2013).

Bitki ve toprak katmanının ilave edildiği cephe sistemlerinde yutuculuk özelliği artmakta, yansıtıcılık özelliği azalmaktadır. Ayrıca bir sonraki bölümde yapılan hesaplamalarda, bitkilendirilen cephenin U değerinin çıplak cepheye oranla azaldığı görülmektedir.

3.3 Bölüm Sonucu

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri kabuğun opak ve saydam bileşenlerinden geçen ısı miktarının ve hacimde gerçekleşen iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklıklarının belirlenmesinde etkili olurlar. İç çevre iklimsel koşulları ve enerji tüketimi, bina kabuğundan kaybedilen ve kazanılan toplam ısı miktarlarına bağlı olarak değişim gösterir (Berköz ve diğerleri, 1995).

Bölüm kapsamında düşey yeşil sistemlerin enerji etkin tasarlanması için ekili olan tüm parametreler ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır. İklimle ilişkin ve cepheye ilişkin olmak üzere iki ana başlıkta toplanan parametrelerde cepheye doğrudan veya dolaylı olarak etki eden yapma ve doğal çevre etmenleri göz önünde bulundurulmuştur.

İklimle ilişkin parametrelere dayalı olarak cephenin önemi; ısı depolama, pasif güneş ısıtması sağlama, yağmur suyundan faydalanma ve rüzgar kontrolü sağlama şeklinde sıralanabilir.

Cepheye ilişkin parametrelerde ise hem binanın içinde bulunduğu yapma çevre hem de kendi form ve kabuğuna dair tercihlerin öneminden bahsedilmiştir.

Çizelge 3.2’de enerji etkin tasarım ile düşey yeşil sistemler arasındaki ilişki, iklimle ve cepheye ilişkin parametrelerin uygulama ilkelerine bağlı olarak açıklanmıştır.

Çizelge 3.2 : Düşey yeşil sistemlerin enerji etkin tasarımında etkili parametrelerin uygulama ilkeleri.

	Düşey Yeşil Sistemlerin Enerji Etkinlik Parametresi	Uygulama İlkeleri
İklima İlişkin Parametreler	Güneş Işınımı	Pasif güneş ısıtması sağlamak için özellikle güney cephesinde güneş ışınımından faydalanmak
	Hava Sıcaklığı	Toprak tabakasında ve özellikle koyu renk bitki tercih etme yoluyla yaprak yüzeyinde ısı depolama özelliğinden faydalanmak
	Yağış Miktarı ve Nem	Yağmur suyunu, duvar yüzeyinden doğrudan akışına engel olacak biçimde bünyede toplamak veya sistemde biriktirerek yeniden kullanmak
	Rüzgar	Hakim rüzgar yönü dikkate alınarak bitki seçimi yapmak ve yoğun yapraklanma gösteren bitki tercihi ile rüzgar kontrolü sağlamak
Cepheye İlişkin Parametreler	Cephenin Bulunduğu Yer	Bitki tercihinde endemik türleri kullanmak, bitkinin büyüebilmesi için uygun ortamı sağlamak
	Bina Aralıkları	Çevredeki binaların gölgeleme alanlarını hesaba katarak gölgeye veya güneşe dayanıklı bitki tercih etmek
	Cephenin Yönlendiriliş Durumu	Yönlere bağlı iklimsel özelliklere uygun bitkilendirme sağlayarak, enerji korunumu açısından en etkili cephelerde uygulamalar yapmak
	Cephe Formu	Bitkilendirilmiş cephelerde yüzey açılarına bağlı olarak cephe formunun güneş ışınımından faydalanmadaki etkisini arttırmak
	Kabuk Özellikleri	Seçilen bitki bileşeninin yaprak yoğunluğu ile dokusu, yaprak dökme ya da dökmeyen türlerden olması ve yaprak rengi konusunda dikkatli davranmak

4. DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERDE ENERJİ ETKİNLİK DEĞERLENDİRMESİ

Uygulama çalışmasının yapılacağı dördüncü bölüm kapsamında; ikinci bölümde detaylı bir şekilde anlatılan düşey yeşil sistemlerden Dünya çapında en sık uygulanan ve en gelişmiş sistem olduğu için seçilen yaşayan duvar tipinin, İstanbul, Ankara ve İzmir’de olduğu varsayılan bir ofis binasının farklı cephelerine uygulandığı seçenekler, benzetim programı kullanılarak modellenmekte ve sonuçlar değerlendirilmektedir.

Bu doğrultuda, enerji etkinlik değerlendirmesinde benzetim programı kullanımı ve uygulama çalışmasında kullanılan EnergyPlus programı ile ilgili bilgi verildikten sonra uygulama çalışmasının adımları detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

4.1 Enerji Etkinlik Değerlendirmesinde Benzetim Programı Kullanımı

Binaların yaşam döngüsü boyunca enerji performanslarının ve ısıl konforlarının değerlendirilmesi için, enerji yükü analizi yapan çeşitli benzetim programları mevcuttur. Günümüzde, sözü edilen programlar; termodinamik modellerine, grafik arayüzlerine, kullanım amaçlarına, yaşam döngüsü konusunda uygulanabilirliklerine ve diğer yazılım uygulamalarıyla bilgi değişimi yapabilirliklerine göre çeşitlenmektedir. Isıl benzetim programlarının pek çoğu basit metin tabanlı girdi ve çıktı dosyalarına bağlı olarak detaylı benzetimler yaparlar (Maile ve diğerleri, 2007).

İlk olarak 1960’larda kullanılmaya başlanan bu programlar, 1970’lerde giderek yaygınlaşarak enerji performansının araştırılmasında vazgeçilmez duruma gelmişlerdir. Bu dönemde gerçekleştirilen benzetim çalışmaları, binaların enerji tüketimlerini analiz etmekten çok, onları enerji etkin binalar olarak tasarlamakta anahtar olarak görülmüştür. 1990’lara gelindiğinde küresel endişelerin başlamasıyla çevreyi korumaya dair ilgi artmıştır. Fosil kaynaklı yakıtların bilinçsizce tüketilmesi ve zararlı florokarbon gazlarının kullanılması nedeniyle, küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi çevresel sorunlar ortaya çıkmıştır. Yapı sektöründe, profesyoneller için amaç az enerji tüketimi ve çevreye verilen zararı azaltarak, sağlıklı ve konforlu bir yapma çevre üretmektir. Böylelikle, yeşil binalara olan talep, benzetim programları kullanımını bir ihtiyaçtan ziyade bir zorunluluk haline getirmiştir (Tunalı, 2012).

4.1.1 Enerji modelleme benzetim programları

Son 50 yıldır, literatürden elde edilen bilgiye göre 100 kadar bina enerji benzetim programı geliştirildi ve bina enerji çevrelerinde kullanılmaya başlandı. Bina enerji tüketimini hesaplamadaki esas araçlar, tüm binaya dair enerji benzetimi yapabilenlerdir. Bu programlardan, üzerinde en fazla araştırma yapılan, bilimsel deneylerde kullanılmış ve sonuç verilerinin doğruluğu saptanmış yaklaşık 20 tanesi şöyle listelenebilir: BLAST, BSim, DeST, DOE-2, ECOTECT, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, eQUEST, ESR-r, IDA ICE, IES <VE>, HAP, HEED, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE ve TRNSYS (Crawley ve diğerleri, 2008).

Tezde amaçlanan enerji etkinlik değerlendirmesi için, detaylı modelleme yapılabilmesi ve günümüzde pek çok araştırmacı tarafından kullanılıyor olması nedeniyle, yük hesaplamaları EnergyPlus programı yardımı ile yapılmıştır. Programın seçilmesinde yukarıda sayılan özelliklerinin yanı sıra, benzetimde kullanılacak bitki ve toprak gibi katmanların özelliklerinin de programa tanıtılmasının mümkün olması etkili olmuştur. Aşağıda programa ilişkin daha detaylı bilgi verilmiştir.

4.1.2 EnergyPlus

EnergyPlus programının oluşturulmasında kullanılan iki farklı program vardır. Bunlar; BLAST ve DOE-2 programlarıdır. Her iki program da 1980'lerin başında enerji ve yük benzetim aracı olarak geliştirilmişler ve piyasaya sürülmüşlerdir. Uygun HVAC ekipmanlarını hesaplamak, yaşam döngüsü maliyet analizi için çalışmalar yapmak, enerji performansını optimize etmek gibi sebeplerle mühendis ve mimarlar tarafından kullanılacağı öngörülmüştür. 1970'lerin başlarındaki enerji krizinin ortaya çıkması ile birlikte binaların enerji tüketimi, Amerikan enerji kullanım istatistiklerinde önemli bir bileşen olmuştur. Bu amaçla, her iki program da aynı sorunu farklı bakış açılarıyla çözmeyi hedeflemiştir. Programların olumlu özelliklerinin yanı sıra eksik kalmış kısımları da mevcuttur (Getting Started with EnergyPlus, 2013).

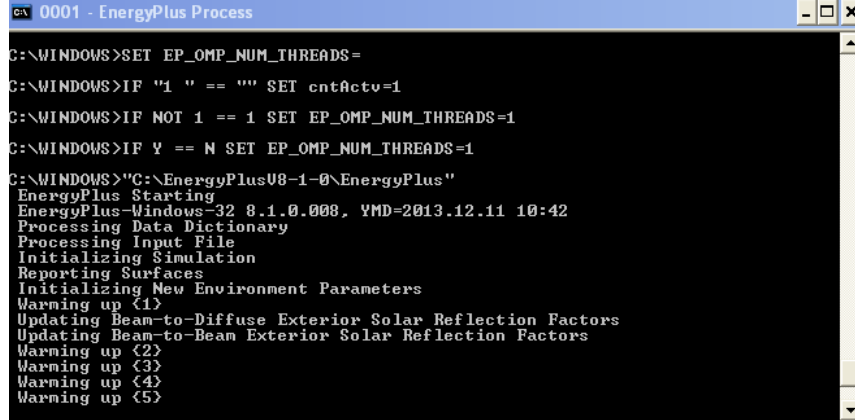
BLAST ve DOE-2 gibi EnergyPlus da bir enerji analiz ve ısısal yük benzetim programıdır. Binalardaki ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek üzere geliştirilmiştir. Binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimleri; saatlik, aylık veya yıllık detaylı bir veri girişi ile (bina ve çevresine ilişkin veriler, iklim verileri, malzeme/bileşen ve katmanlaşma özellikleri, kullanıcı profili, aydınlatma, elektrik ve mekanik gibi servis sistemi verileri, vb.) hesaplanmaktadır (Getting Started with EnergyPlus, 2013).

Benzetim biçimlerinin çoğu BLAST ve DOE-2 programından alınmıştır ve iyileştirilmiştir (Şekil 4.1).

Genel Özellikler	DOE-2	BLAST	IBLAST	EnergyPlus
Bütünleşik, eşzamanlı çözüm	Yok	Yok	Var	Var
Çoklu, adım adım yaklaşım	Yok	Yok	Var	Var
Girdi işlevleri	Var	Yok	Yok	Var
Kullanıcı tarafından belirlenen raporlama	Var	Yok	Yok	Var

Şekil 4.1 : DOE-2, BLAST, IBLAST, EnergyPlus programlarının genel özelliklerinin karşılaştırılması (Getting Started with EnergyPlus, 2013).

EnergyPlus programı metin dosyalarından oluşan girdilerle benzetim yapan bir programdır. (Şekil 4.2). Bugün, program kullanımında en kısıtlayıcı durum grafiksel kullanıcı arayüzüne sahip olmamasıdır. Bununla birlikte; DesignBuilder ve ona benzer başka programlar, bu amaca hizmet etmek için geliştirilmektedir (Maile ve diğerleri, 2007).



```

0001 - EnergyPlus Process
C:\WINDOWS>SET EP_OMP_NUM_THREADS=
C:\WINDOWS>IF "1" == "" SET cntActv=1
C:\WINDOWS>IF NOT 1 == 1 SET EP_OMP_NUM_THREADS=1
C:\WINDOWS>IF Y == N SET EP_OMP_NUM_THREADS=1
C:\WINDOWS>"C:\EnergyPlusV8-1-0\EnergyPlus"
EnergyPlus Starting
EnergyPlus-Windows-32 8.1.0.008, YMD=2013.12.11 10:42
Processing Data Dictionary
Processing Input File
Initializing Simulation
Reporting Surfaces
Initializing New Environment Parameters
Warning up <1>
Updating Beam-to-Diffuse Exterior Solar Reflection Factors
Updating Beam-to-Beam Exterior Solar Reflection Factors
Warning up <2>
Warning up <3>
Warning up <4>
Warning up <5>

```

Şekil 4.2 : Simülasyon işlemi gerçekleştirirken EnergyPlus arayüzü.

Programın temel özellikleri aşağıdaki gibi listelenir:

- Bütünleşik ve eşzamanlı çözüm
- Kullanıcı tarafından tanımlanan zamanlama
- ASCII metin tabanlı hava, girdi ve çıktı dosyaları
- Isı dengesi tabanlı çözüm
- Zamana bağlı ısı iletimi

- Geliştirilmiş toprak ısı transferi modellemeleri
- Birleşik ısı ve kütle transferi
- Termal konfor modelleri
- Anizoptronik gökyüzü modeli
- Gelişmiş pencere hesaplamaları
- Güneş ışığı kontrolleri
- Döngü tabanlı ayarlanabilir HVAC sistemleri
- Atmosferik kirlilik hesapları
- Diğer yaygın benzetim bileşen ve ortamlarına bağlantı (Getting Started with EnergyPlus, 2013).

4.2 Uygulama

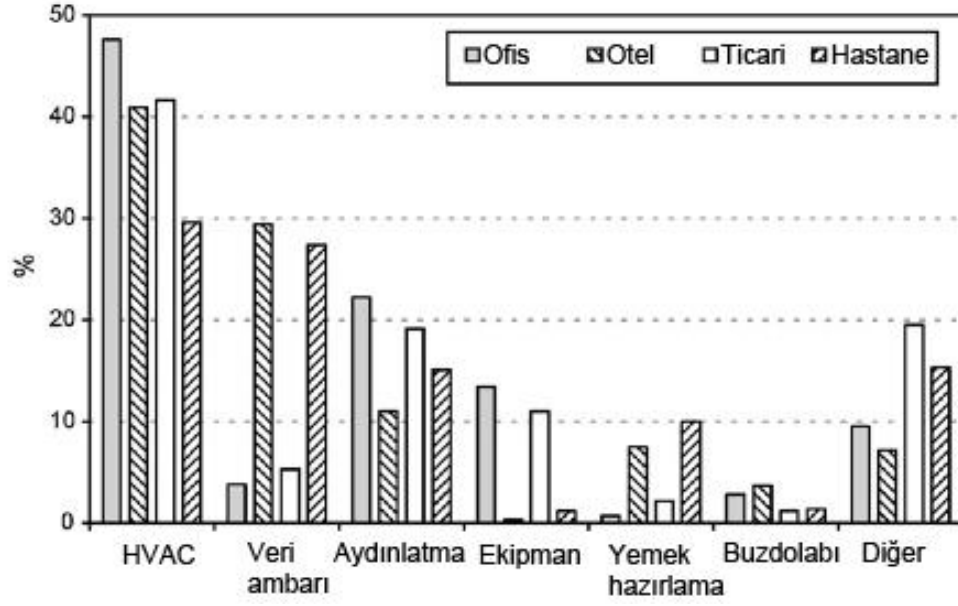
Uygulama çalışması 4 adımdan oluşmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Benzetim yapılacak bina modelinin belirlenmesi
- Seçeneklerin oluşturulması ve programda tanıtılması
- Seçenekler için toplam enerji yüklerinin hesaplanması
- Sonuçların enerji etkinlik açısından değerlendirilmesi

4.2.1 Benzetim yapılacak bina modelinin belirlenmesi

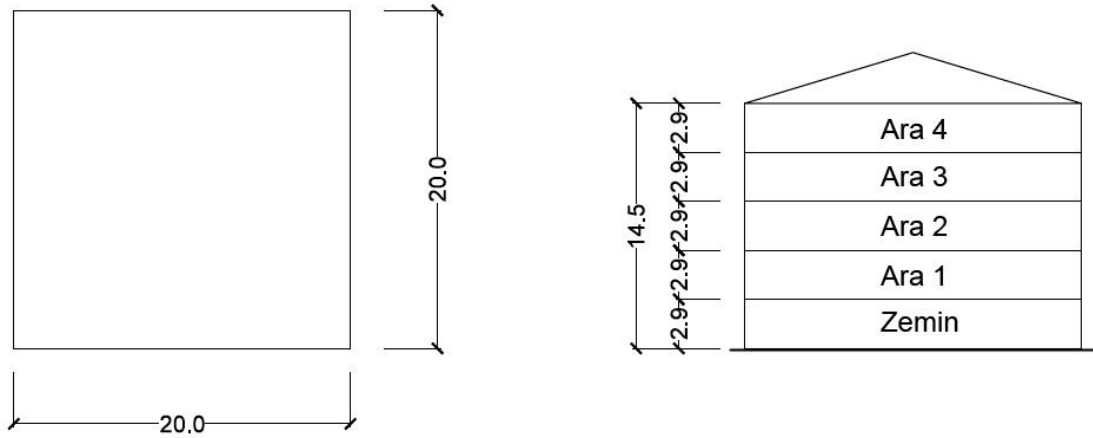
Uygulama çalışmasının ilk aşaması, benzetim yapılan binaya ilişkin genel kararların alınmasıdır. Bu amaçla, binanın işlevi, boyutsal özellikleri, bulunduğu yer, çevresindeki binalar ile mesafesi, yönlendiriliş durumu, formu, saydamlık oranı, eleman katmanlaşma modelleri, malzeme özellikleri, kullanıcı sayısı ve ekipmanlar gibi değişkenler belirlenmiştir.

Şekil 4.3'te, Lombard ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmanın sonucunda, farklı bina tiplerinde yıllık enerji tüketimlerin oranları görülmektedir. Buna göre, ofis binaları; HVAC, aydınlatma ve ekipman için harcan enerji açısından birinci sırada yer almaktadır (Lombard ve diğerleri, 2008). Ofis binalarının toplam enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olması, bina işlevinin ofis olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Ayrıca son yıllarda yabancı yatırımcıların inşaat sektörüne girmesiyle ofis binalarına olan talebin giderek artması ve Dünya genelinde düşey yeşil sistem uygulamalarının sıklıkla ofis binalarında gerçekleştirilmesi de etkili olan diğer sebeplerdendir.



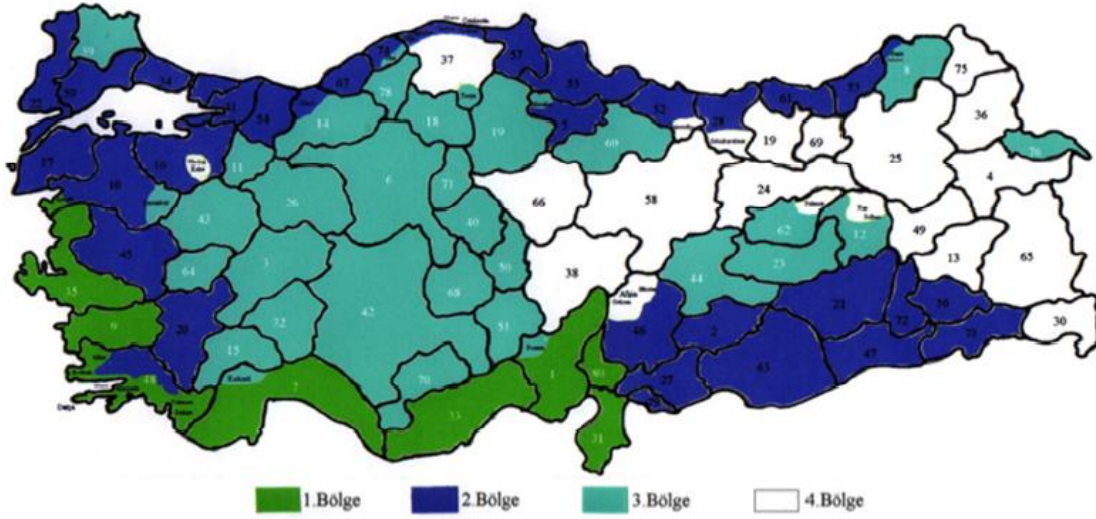
Şekil 4.3 : Bina tipine göre enerji tüketimi dağılımları (Lombard ve diğerleri, 2008).

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi, referans alınan ofis binası, 20x20m boyutlarında 5 katlı ve kat yüksekliği 2,9 m olan bir binadır. Her kat bir zon olarak düşünülmüştür. Açık ofis düzeninde tasarlanmış olup iç mekanda bölücü duvarlar mevcut değildir. Binanın çatısı kırma çatıdır, eğiminin %30 olduğu varsayılmıştır.



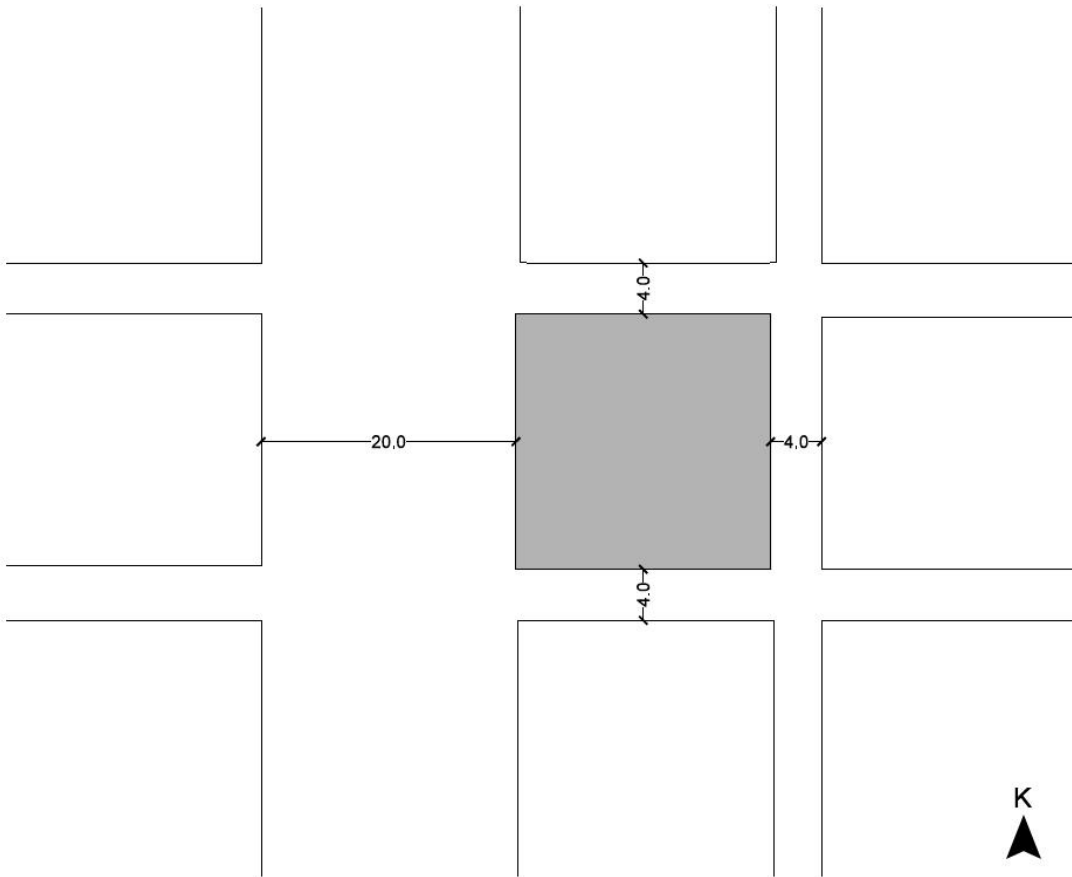
Şekil 4.4 : Bina modeli (şematik plan ve kesit).

Binanın bulunduğu yerin, Şekil 4.5'te görülen TS 825'deki derece gün bölgeleri tablosu dikkate alınarak 3 farklı bölgede olduğu varsayılmıştır. Bunlar; 1. bölgede olan İzmir ili, 2. bölgede olan İstanbul ili ve 3. bölgede olan Ankara ilidir. Sözü edilen illere ilişkin iklimsel veriler, Uluslararası Hava Verileri Dosyası'ndan alınarak EnergyPlus programına tanıtılmıştır.



Şekil 4.5 : Türkiye'deki derece gün bölgelerine göre illerimiz (TS 825, 2008).

Referans binanın, çevre binalara olan mesafesinin Şekil 4.6'da verildiği gibi, kuzey, doğu, güney yönlerinde 4m; batı yönünde 20m olduğu varsayılmıştır.



Şekil 4.6 : Şematik vaziyet planı.

Bina saydamlık oranı %10 olarak seçilmiştir. Pencere boyutları bu orana bağlı olarak 3,87m uzunluğunda ve 1,5m yüksekliğindedir. Her katta birer adet, her cephede 5 adet olmak üzere, toplamda 20 adet pencere boşluğu oluşturulmuştur.

Kullanıcı sayısı, her kullanıcıya brüt 20 m² alan düşecek şekilde, kat başına 20 kişi olarak belirlenmiştir. Isıtma, soğutma ve aydınlatma ve ekipmanlara ilişkin sayısal değerler, ofis binası için gerekli optimum düzeyler dikkate alınarak ve TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları incelenerek belirlenmiş, tüm seçeneklerde sabit tutulmuştur. Bina doğal olarak havalandırılmakta, bunun yanı sıra klima sistemi ile ısıtılıp, soğutulmakta; termostat ile zonların sıcaklık seviyeleri, sabah saat 06:00 ile akşam saat 22:00 arasında 23°C'ye ayarlanmaktadır, çalışma zamanı dışındaki diğer saatlerde sıcaklık seviyesi 13 °C'dir. HVAC, tüm gün ve saatlerde çalışır durumdadır.

Her bir elemana ait katmanlaşma modelleri ve malzeme bilgileri Çizelge 4.1'de bir arada verilmiştir. Buna göre dış duvar; bitkilendirilmiş ve çıplak olarak iki tipte, döşeme; yalıtımsız ara kat döşemesi, yalıtımlı çatı döşemesi ve zemine oturan döşeme olarak üç tipte tasarlanmıştır. Bitkilendirilmiş duvar katmanlaşmasında, mevcut dış duvar katmanlaşmasına ek olarak dıştan içe doğru 10cm bitki, 10cm toprak, 0,5cm yün keçe, 1cm PVC levha, 5cm havalandırılmadığı varsayılan boşluk ve su yalıtımı vardır.

Her şehir için katmanlaşma modelinde tanımlanan ısı yalıtım katmanı kalınlıklarının belirlenmesinde; Şekil 4.7'de görülen TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardında verilmiş U değerleri esas alınmıştır.

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_t (W/m ² K)	U_P^* (W/m ² K)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

U_D : Dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı

U_T : Tavanın ısı geçirgenlik katsayısı

U_t : Zemine oturan tabanın/döşemenin ısı geçirgenlik katsayısı

U_P : Pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı

Şekil 4.7 : Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri (TS 825, 2008).

Çizelge 4.1 : Bina elemanlarına ait katmanlaşma modelleri ve malzeme özellikleri.

		Katmanlaşma	Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m K)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (J/kg-K)
Dış Duvar	Çiplak Dış Duvar		1. Dış sıva	0.03	1.4	2000	840
			2. Su yalıtımı	0.004	0.19	1121	1673
			3. XPS	0.03	0.035	25	1500
				0.04			
				0.05			
			4. Tuğla duvar	0.19	0.45	1000	880
			5. İç sıva	0.02	0.87	1800	840
	Bitkilendirilmiş Dış Duvar		1. Bitki	0.1	0.14	110	1880
			2. Islak toprak	0.1	1.5	900	2400
			3. Yün keçe	0.005	0.035	48	710
			4. PVC levha	0.01	0.19	1200	1470
			5. Hava boşluğu	0.05	0.02	-	1006,1
			6. Su yalıtımı	0.004	0.19	1121	1673
			7. XPS	0.03	0.035	25	1500
				0.04			
				0.05			
			8. Tuğla duvar	0.19	0.45	1000	880
			9. İç sıva	0.02	0.87	1800	840
Döşeme	Yalıtımsız Ara Kat Döşemesi		1. Ahşap parke	0.02	0.12	540	1210
			2. Şap	0.03	1.4	2000	840
			3. B.A. döşeme	0.1	0.7	2400	1000
			4. İç sıva	0.02	0.87	1800	840
	Yalıtımlı Çatı Döşemesi		1. XPS	0.07	0.035	25	1500
				0.08			
				0.1			
			2. B.A. Döşeme	0.1	2.1	2400	1000
			3. İç sıva	0.02	0.87	1800	840
	Zemine Oturan Döşeme		1. Ahşap parke	0.02	0.12	540	1210
			2. XPS	0.01	0.035	25	1500
				0.02			
				0.04			
			3. Su yalıtımı	0.004	0.19	1121	1673
			4. Su yalıtımı	0.004	0.19	1121	1673
			5. Şap	0.03	1.4	2000	840
			6. B.A. Temel	0.4	0.7	2400	1000
			7. Şap	0.1	1.4	2000	840
			8. Çakıl	0.1	0.7	1800	831
Çatı	Kırma Çatı		1. Kiremit	0.03	0.81	1800	880
			2. Su yalıtımı	0.004	0.19	1121	1673
			3. Su yalıtımı	0.004	0.19	1121	1673
			4. Ahşap Kapl.	0.03	1.13	600	1630
Pencere	PVC Doğrama		1. Temiz cam	0.006	0.9	-	-
			2. Hava boşluğu	0.012	0.02	-	1006.1
			3. Temiz cam	0.006	0.9	-	-

Sonuç olarak; yalıtım katmanı kalınlıkları dış kabuk yapı elemanı türüne göre Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi belirlenmiştir. Isı yalıtım malzemesi olarak extrude polistren köpük (XPS) kullanılmıştır.

Çizelge 4.2 : Hesaplanan yalıtım malzemesi kalınlıkları.

	Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı (XPS, cm)		
	Dış duvarda	Zemine oturan döşemede	Çatı döşemesinde
İzmir	3	1	7
İstanbul	4	2	8
Ankara	5	4	10

Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilen katmanlaşma modeli ve malzeme özellikleri ile ısı yalıtım katmanı kalınlıklarına bağlı olarak hesaplanan bina dış kabuk elemanlarına ait U değerleri ise Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Bina elemanlarına ait ısı geçirgenlik katsayıları (U)

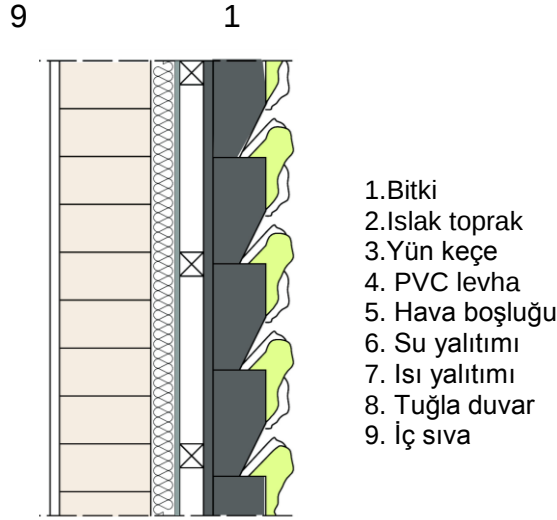
	Isıl geçirgenlik katsayısı (U, W/m ² K)			
	Dış duvar (çıplak)	Dış Duvar (bitkilendirilmiş)	Zemine oturan döşeme	Çatı döşemesi
İzmir	0.66	0.40	0.67	0.45
İstanbul	0.55	0.36	0.56	0.39
Ankara	0.48	0.33	0.43	0.30

4.2.2 Seçeneklerin oluşturulması ve programda tanıtılması

Binaya ilişkin kararların alınmasından sonra, karşılaştırma yoluyla bir değerlendirme yapmak üzere seçeneklerin oluşturulması gerekmektedir. Doğru sonuçlar alabilmek için, değişkenlerin ve sabit verilerin ne olması gerektiğine karar verilmiştir. Yaşayan duvar sisteminin binanın farklı cephelerinde kullanılması halinde gerçekleşen enerji akışlarındaki değişimin karşılaştırılabilmesi için, yukarıda anlatılan bina modeline ilişkin verilerden işlev, boyutsal özellikler, çevre binalar ile mesafeler, bina yönlendiriliş durumu, cephe boşluk oranları, kabukta kullanılan malzeme türleri, kullanıcı sayısı ve ekipmanlar sabit tutulan verilerdir.

Düşey yeşil sistemlerden, modellenecek bina cephesinde kullanılmak üzere “Yaşayan Duvar (yerinde yapım-keçe katmanlı)” tipi seçilmiştir (Şekil 4.8). Bunun nedenleri, dünya genelinde binalarda sıklıkla uygulanan yeşil sistem tipi olması, uygulandığı yapıya fiziksel zarar vermemesi, katmanlaşmasında kullanılan malzemelerin ve özellikle bitki türlerinin kolaylıkla bulunabilmesi, uzun dönemler

boyunca yaşamını sürdürebilmesi olarak sıralanabilir. Seçilen düşey yeşil sistem tipi, tüm seçeneklerde aynı tutulmuştur.



Şekil 4.8 : Yaşayan duvar (yerinde yapım-keçe katmanlı) tipi duvar kesiti.

Bitkilendirilen cephenin yönü ve adedi ile binanın bulunduğu iklim bölgesi, seçenek oluşturmada etkili olan değişkenlerdir. Bu doğrultuda, üç farklı il için, kuzey, doğu, güney ve batı cephelerinin tek tek ve hepsinin birden bitkilendirildiği durumlar ile hiçbir cephenin bitkilendirilmediği durumlar seçenekleri oluşturmaktadır. Yukarıda sıralanan kabuller doğrultusunda ortaya çıkan ve binanın toplam enerji yüküne etkilerinin araştırıldığı 18 adet seçenek Şekil 4.9'da görülmektedir.

		Dış Duvar Katmanlaşması		
		Çıplak Dış Duvar	Bitkilendirilmiş Dış Duvar + Çıplak Dış Duvar	Bitkilendirilmiş Dış Duvar
Yer	İstanbul			
	İzmir			
	Ankara			
Lejant		: Plan : Bitki Katmanı		

Şekil 4.9 : Benzetim programında kullanılan seçenekler.

Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sırasında seçenekler arasında meydana gelebilecek karışıklıkları önlemek ve seçeneklerin daha rahat ifade edilmelerini sağlamak için, Çizelge 4.4'te verilen kodlama sistemi geliştirilmiştir.

Çizelge 4.4 : Seçeneklerin kodları.

	1	K	*
S1	İSTANBUL	KUZEY	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	2	K	*
S7	İZMİR	KUZEY	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	3	K	*
S13	ANKARA	KUZEY	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	1	D	*
S2	İSTANBUL	DOĞU	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	2	D	*
S8	İZMİR	DOĞU	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	3	D	*
S14	ANKARA	DOĞU	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	1	G	*
S3	İSTANBUL	GÜNEY	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	2	G	*
S9	İZMİR	GÜNEY	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	3	G	*
S15	ANKARA	GÜNEY	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	1	B	*
S4	İSTANBUL	BATI	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	2	B	*
S10	İZMİR	BATI	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	3	B	*
S16	ANKARA	BATI	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	1	T	*
S5	İSTANBUL	TÜM	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	2	T	*
S11	İZMİR	TÜM	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	3	T	*
S17	ANKARA	TÜM	BİTKİLENDİRİLMİŞ
	1	T	O
S6	İSTANBUL	TÜM	ÇIPLAK
	2	T	O
S12	İZMİR	TÜM	ÇIPLAK
	3	T	O
S18	ANKARA	TÜM	ÇIPLAK

4.2.3 Seçenekler için toplam enerji tüketiminin hesaplanması

Bir önceki aşamada oluşturulan 18 seçenek için gerçekleştirilen benzetimler sonucunda, yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri, opak dış duvar dış yüzey sıcaklıkları ve ortalama iç ortam sıcaklıkları belirlenmiştir. Opak dış duvar dış yüzey sıcaklıklarına ait aylık değerler seçilen iller için Çizelge 4.5'te, iç ortam sıcaklıklarına ait aylık değerler ise Çizelge 4.6'da verilmiştir. Ardından zonlara göre ısıtma, soğutma enerjisi tüketimleri ve toplanarak bulunan toplam enerji tüketimleri kWh cinsinden Çizelge 4.7'de görüldüğü gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.5 : Opak dış duvar dış yüzey sıcaklıkları.

Şehir	Seçenekler	Dış Yüzey Sıcaklıkları Yıllık Ortalaması (°C)			
		Kuzey cephesi	Doğu cephesi	Güney cephesi	Batı cephesi
İstanbul	1-T-o	14.28	14.84	15.3	14.88
	1-K-*	14.94	14.84	15.3	14.89
	1-D-*	14.28	16.18	15.3	14.89
	1-G-*	14.28	14.84	17.22	14.89
	1-B-*	14.28	14.84	15.3	16.78
	1-T-*	14.94	16.19	17.23	16.78
İzmir	2-T-o	16.44	17.37	17.93	17.21
	2-K-*	17.13	17.37	17.93	17.21
	2-D-*	16.44	19.16	17.93	17.21
	2-G-*	16.44	17.37	20.47	17.21
	2-B-*	16.44	17.37	17.93	19.41
	2-T-*	17.13	19.17	20.48	19.42
Ankara	3-T-o	9.53	10.49	10.87	10.15
	3-K-*	10.46	10.5	10.88	10.15
	3-D-*	9.54	12.51	10.88	10.15
	3-G-*	9.54	10.5	13.43	10.15
	3-B-*	9.54	10.5	10.88	12.53
	3-T-*	10.47	12.52	13.44	12.54

Çizelge 4.5'te görülen değerler son katta yer alan Ara-4 zonuna ait değerlerdir. Diğer zonlara ait değerlerin de seçilmesi mümkün olabileceği gibi, bu zonun seçilmesinin sebebi, ısıtma ve soğutma yüklerinin diğer zonlara göre daha fazla ölçülmüş olmasıdır. Buna göre, her üç ilde de bitki ve toprak katmanı eklenen cephenin dış yüzey sıcaklıklarında yaklaşık 1-2 °C'lik artış olduğu görülmüştür. Tez çalışmasının sonraki adımında, zonlara göre yıllık ortalama iç mekan sıcaklıklarının, bitkilendirilmiş cephenin olduğu modellerde bir miktar arttığı tespit edilmiştir. (Çizelge 4.6). En fazla fark bütün cephelerin çıplak olduğu T-o kodlu durumlar ile tüm cephelerin bitkilendirildiği T-* durumlar arasında oluşmaktadır ve 0.2 °C kadardır.

Çizelge 4.6 : Cephelere göre zonların iç ortam sıcaklıkları.

Şehir	Seçenekler	Zonlara Göre Yıllık Ortalama İç Mekan Sıcaklıkları (°C)				
		Zemin	Ara 1	Ara 2	Ara 3	Ara 4
İstanbul	1-T-o	21.9	22.3	22.43	22.48	22.43
	1-K-*	21.94	22.33	22.47	22.52	22.47
	1-D-*	21.94	22.33	22.47	22.52	22.47
	1-G-*	21.94	22.34	22.47	22.53	22.48
	1-B-*	21.95	22.34	22.48	22.53	22.48
	1-T-*	22.06	22.46	22.61	22.67	22.62
İzmir	2-T-o	22.04	22.48	22.65	22.76	22.83
	2-K-*	22.07	22.52	22.69	22.8	22.87
	2-D-*	22.07	22.52	22.69	22.8	22.88
	2-G-*	22.07	22.52	22.7	22.8	22.88
	2-B-*	22.08	22.53	22.7	22.81	22.88
	2-T-*	22.18	22.65	22.84	22.95	23.04
Ankara	3-T-o	21.6	21.95	22.06	22.09	21.99
	3-K-*	21.64	21.99	22.1	22.14	22.04
	3-D-*	21.64	21.99	22.1	22.14	22.04
	3-G-*	21.64	21.99	22.1	22.15	22.05
	3-B-*	21.65	22	22.11	22.15	22.05
	3-T-*	21.79	22.14	22.26	22.31	22.21

Sonuç olarak, Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi, referans duruma (1-T-o) göre tüm seçeneklerde ısıtma yükleri azalırken, soğutma yükleri artmıştır. Yıllık enerji tüketimleri açısından bakıldığında ise, bitkilendirilmiş cephelere ait değerlerde ciddi bir azalma olduğu görülmektedir.

Daha detaylı anlatılacak olursa, İstanbul ili için, referans binadaki (1-T-o) yıllık toplam enerji tüketimi 67913 kWh iken, kuzey cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (1-K-*) 66400 kWh, doğu cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (1-D-*) 66447 kWh, güney cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (1-G-*) 66522 kWh, batı cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (1-B-*) 66623 kWh ve tüm cephelerin bitkilendirildiği seçenekte (1-T-*) ise 62673 kWh ölçülmüştür.

Çizelge 4.7 : Cephelere göre yıllık ısıtma, soğutma enerjisi tüketimi ve yıllık toplam enerji tüketim miktarları.

Şehir	Seçenekler	Yıllık Isıtma Enerjisi Tüketimi (kWh)	Yıllık Soğutma Enerjisi Tüketimi (kWh)	Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh)
İstanbul	1-T-o	34125.95	33787.75	67913.70
	1-K-*	31892.54	34507.84	66400.38
	1-D-*	31878.69	34568.83	66447.52
	1-G-*	31824.01	34698.45	66522.46
	1-B-*	31614.16	35009.69	66623.85
	1-T-*	24855.57	37818.24	62673.81
İzmir	2-T-o	26669.15	42928.75	69597.90
	2-K-*	24291.72	43621.86	67913.58
	2-D-*	24269.45	43714.38	67983.83
	2-G-*	24190.60	43872.88	68063.48
	2-B-*	23950.02	44221.68	68171.70
	2-T-*	16960.34	47228.93	64189.27
Ankara	3-T-o	49383.88	23744.50	73128.38
	3-K-*	46566.16	24565	71131.16
	3-D-*	46531.22	24649.43	71180.65
	3-G-*	46436.64	24764.32	71200.96
	3-B-*	46143.91	25033.31	71177.22
	3-T-*	37598.94	28136.78	65735.72

İzmir ili için, referans binadaki (2-T-o) yıllık toplam enerji tüketimi 69597 kWh iken, kuzey cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (2-K-*) 67913 kWh, doğu cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (2-D-*) 67983 kWh, güney cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (2-G-*) 68063 kWh, batı cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (2-B-*) 68171 ve tüm cephelerin bitkilendirildiği seçenekte (2-T-*) ise 64189 kWh ölçülmüştür.

Ankara ili için, referans binadaki (3-T-o) yıllık toplam enerji tüketimi 73128 kWh iken, kuzey cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (3-K-*) 71131 kWh, doğu cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (3-D-*) 71180 kWh, güney cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (3-G-*) 71200 kWh, batı cephesinin bitkilendirildiği seçenekte (3-B-*) 71177 kWh ve tüm cephelerin bitkilendirildiği seçenekte (3-T-*) ise 65735 kWh hesaplanmıştır. Buna göre en faydalı seçenek üç il için de, tüm cephelerin bitkilendirildiği tip iken, onu kuzey cephesinin bitkilendirildiği tip takip etmektedir. Fayda oranlarıyla ilgili detaylı açıklama ve değerlendirmelere bir sonraki bölümde devam edilmiştir.

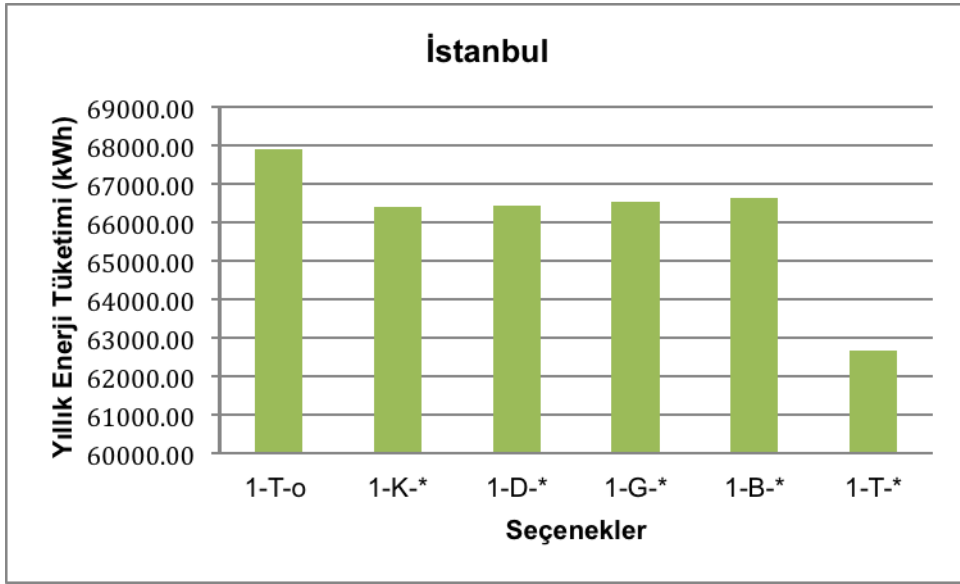
4.2.4 Sonuçların enerji etkinlik açısından değerlendirilmesi

Bu adımda, çıplak dış duvar ile yönler göre bitkilendirilmiş dış duvar ve tüm dış duvarların bitkilendirildiği durumlara ait enerji tüketim miktarları, iç ortam sıcaklıkları ve fayda oranları, illere göre ve iller arasında karşılaştırılmaktadır.

2012 yılında Kolokotroni ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada; ısı kazançlarının enerji tüketimini etkileyen en belirleyici parametrelerden biri olduğundan söz edilmektedir. Benzetim programı yardımıyla elde edilen sonuçlara göre, 2050 yılında; ısı kazançlarını yüksek seviyeden orta seviyeye çekmek, çevresel etkiyi kırsal alanda %230'dan %87'ye, kentsel alanda %480'den %140'a düşürmektedir. Yüksek miktarlardaki ısı kazançları ısıtmadan kaybedilecek enerjiyi azaltmak açısından büyük önem taşımaktadır (Kolokotroni ve diğerleri,2012).

Tezde elde edilen sonuçlara göre, bitkilendirilmiş cephe sistemlerinde, %10'luk saydamlık oranında, üç farklı şehir için, iç ortam sıcaklığı tüm aylarda yükselmiş, elde edilen ısı kazancına bağlı olarak kışın ısıtma enerjisi yükü azalmıştır. Hiçbir cephenin bitkilendirilmediği ve referans bina olarak kabul edilen çıplak durumla kıyaslandığında, bitkilendirilmiş seçenekler toplamda daha düşük enerji tüketimine sebep olmuştur. Böylece, bitkilendirilmiş cephe uygulamasıyla binanın ısıtma enerjisi ile toplam enerji tüketiminde azalma olduğu ve Kolokotroni ve arkadaşlarının yaptığı araştırmada öneminden bahsedilen çevresel etkinin azaltılmasının, bir yapı elemanı olarak bitkilendirilmiş cephe ile sağlanacağını ortaya koyulmaktadır.

İstanbul ili için seçeneklerin karşılaştırıldığı, bitkilendirilmiş yönlerin değişimine bağlı toplam enerji tüketimi ve fayda oranını gösteren grafikler Şekil 4.10'da görülmektedir. Buna göre; toplam enerji tüketiminde en çok fayda tüm cephelerin bitkilendirildiği tipte %7.72 ile sağlanırken onu sırasıyla kuzey cephesinin bitkilendirildiği tipte %2.23 ile, doğu cephesinin bitkilendirildiği tipte %2.16 ile, güney cephesinin bitkilendirildiği tipte % 2.05 ile ve batı cephesinin bitkilendirildiği tipte %1.9 ile takip etmektedir.

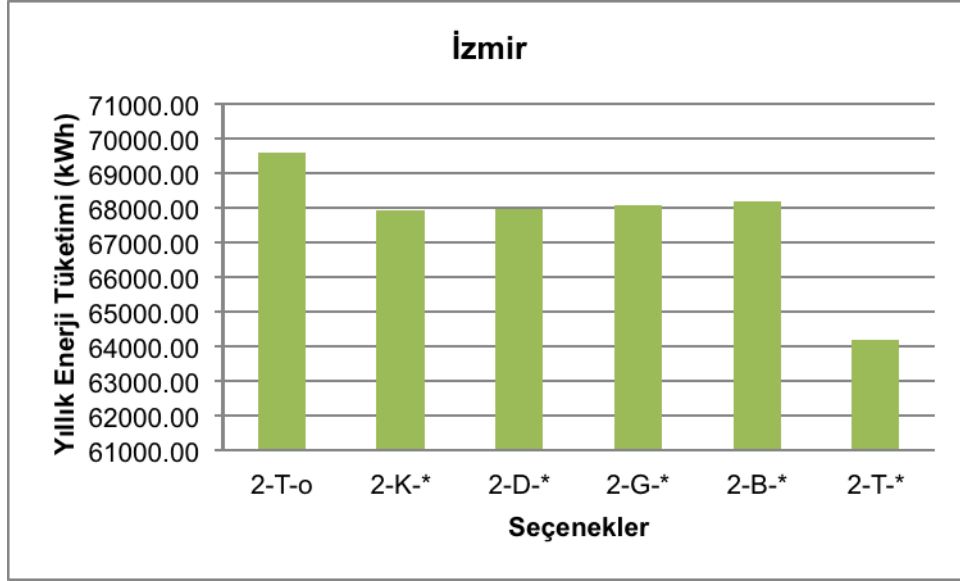


Seçenekler	Toplam Fayda Oranı (%)	Isıtma Yüğü Fayda Oranı (%)	Soğutma Yüğü Fayda Oranı (%)
1-K-*	2.23	6.54	-2.13
1-D-*	2.16	6.59	-2.31
1-G-*	2.05	6.75	-2.70
1-B-*	1.90	7.36	-3.62
1-T-*	7.72	27.17	-11.93

Tüm	Kuzey	Doğü	Güney	Batı
-----	-------	------	-------	------

Şekil 4.10 : İstanbul ili seçeneklerinin toplam enerji tüketimleri ve fayda oranları.

İzmir ili için seçeneklerin karşılaştırıldığı bitkilendirilmiş yönlerin değişimine bağı toplam enerji tüketimi ve fayda oranını gösteren grafikler Şekil 4.11’de görölmektedir. Buna göre toplam enerji tüketiminde en çok fayda tüm cephelerin bitkilendirildiğı tipte %7.77 ile sağlanırken onu sırasıyla kuzey cephesinin bitkilendirildiğı tip %2.42 ile, doğü cephesinin bitkilendirildiğı tip %2.32 ile, güney cephesinin bitkilendirildiğı tip % 2.20 ile ve batı cephesinin bitkilendirildiğı tip %2.05 ile takip etmektedir.

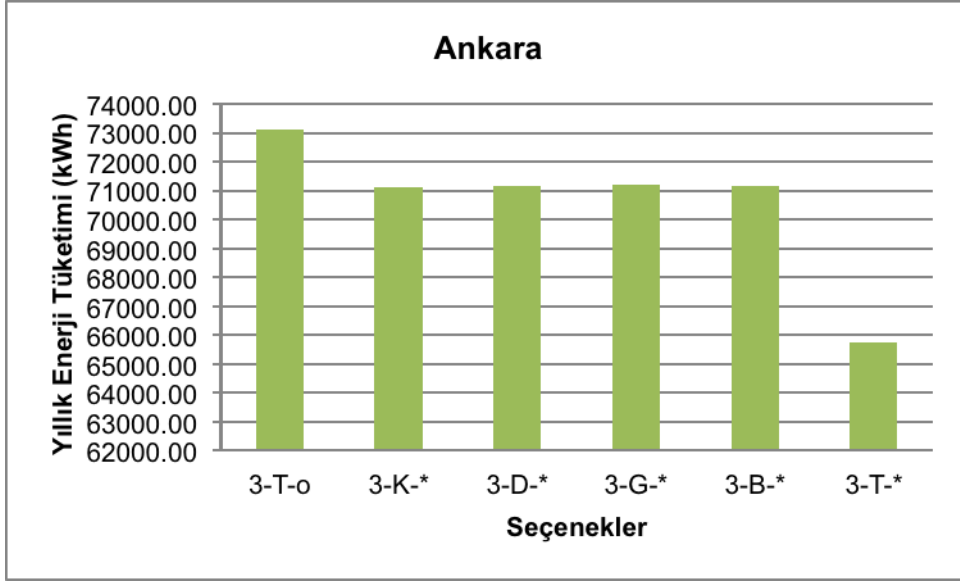


Seçenekler	Toplam Fayda Oranı	Isıtma Yüğü Fayda Oranı	Soğutma Yüğü Fayda Oranı
2-K-*	2.42	8.91	-1.61
2-D-*	2.32	9.00	-1.83
2-G-*	2.20	9.29	-2.20
2-B-*	2.05	10.20	-3.01
2-T-*	7.77	36.40	-10.02

Tüm	Kuzey	Doğu	Güney	Batı
-----	-------	------	-------	------

Şekil 4.11 : İzmir ili seçeneklerinin toplam enerji tüketimleri ve fayda oranları.

Ankara ili için seçeneklerin karşılaştırıldığı bitkilendirilmiş yönlerin değişimine bağlı toplam enerji tüketimi ve fayda oranını gösteren grafikler Şekil 4.12’de görülmektedir. Buna göre toplam enerji tüketiminde en çok fayda tüm cephelerin bitkilendirildiği tipte %10.11 ile sağlanırken onu sırasıyla kuzey cephesinin bitkilendirildiği tipte %2.73 ile, batı cephesinin bitkilendirildiği tip %2.67 ile, doğu cephesinin bitkilendirildiği tip %2.66 ile, güney cephesinin bitkilendirildiği tip % 2.64 ile ve takip etmektedir.



Seçenekler	Toplam Fayda Oranı	Isıtma Yüğü Fayda Oranı	Soğutma Yüğü Fayda Oranı
3-K-*	2.73	5.71	-3.46
3-D-*	2.66	5.78	-3.81
3-G-*	2.64	5.97	-4.29
3-B-*	2.67	6.56	-5.43
3-T-*	10.11	23.86	-18.50

Tüm	Kuzey	Batı	Doğu	Güney
-----	-------	------	------	-------

Şekil 4.12 : Ankara ili seçeneklerinin toplam enerji tüketimleri ve fayda oranları.

Üç il için elde edilen fayda oranlarına bakıldığında, bitkilendirilmiş duvarın ısıtma yükünü azaltmasına bağlı olarak en büyük fayda %10.11 ile yıllık ortalama hava sıcaklığı değerleri en düşük olan Ankara ilinde sağlanmıştır. Onu sırasıyla %7.77 ile İzmir ve %7.72 ile İstanbul takip etmektedir. Üç farklı derece gün bölgesinden seçilen İstanbul, İzmir ve Ankara illerinin kendi aralarındaki fayda oranları grafiği Çizelge 4.8’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.8 : İllerin toplam enerji tüketimi açısından fayda oranları (%)

	İstanbul	İzmir	Ankara
Kuzey cephesi	2.23	2.42	2.73
Doğu cephesi	2.16	2.32	2.66
Güney cephesi	2.05	2.20	2.64
Batı cephesi	1.90	2.05	2.67
Tüm cepheler	7.72	7.77	10.11

4.3 Bölüm Sonucu

Düşey yeşil sistemlerin enerji etkinlik değerlendirmesinin yapıldığı dördüncü ve son bölüm kapsamında, farklı derece-gün bölgelerinde yer alan üç şehir için bir uygulama çalışması yapılmıştır. Uygulama bölümünde detaylı bir biçimde anlatılan bina modeline ilişkin bilgiler Çizelge 4.9'da yer almaktadır.

Çizelge 4.9 : Bina modeline ilişkin bilgiler.

Binanın bulunduğu yer	İstanbul
	Ankara
	İzmir
Taban alanı	20x20m=400m ²
Yükseklik	5kat / 2,9m kat yüksekliği
Saydımlık oranı	%10
Düşey yeşil sistem tipi	Yaşayan duvar-keçe katmanlı
Uygulandığı cephe	Hiçbir cephe
	Tüm cepheler
	Kuzey cephesi
	Doğu cephesi
	Güney cephesi
	Batı cephesi

EnergyPlus programı ile yapılan benzetimler sonucu elde edilen enerji tüketimi değerleri karşılaştırılmış ve grafiklerle anlatılmıştır. Buna göre, illerin ve bitkilendirilmiş cephelerin değişimine bağlı olarak ortaya çıkan 18 seçeneğin hepsinde düşey yeşil sistemlerin enerji korunumu açısından fayda sağladığı görülmüştür. Bitkilendirilen cephe yönü açısından bakıldığında, en büyük faydayı tüm cephelerin bitkilendirildiği seçenek sağlamakta, bunu kuzey cephesinin bitkilendirildiği seçenek takip etmektedir. Düşey yeşil sistemin uygulandığı il açısından bakıldığında ise; en büyük faydayı Ankara sağlarken bunu İzmir ve İstanbul illeri takip etmektedir.

Ankara ilinde, tüm cephelerin bitkilendirildiği durum en faydalı olan durumdur. Onu, binanın yine Ankara'da konumlandığı, ancak yalnızca kuzey cephesinin bitkilendirildiği durum takip etmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bugün modern kentlerde yaşanan sorunların ana kaynaklardan birisi, çevre kirlenmesi ve kirlenmenin yaşama yaptığı olumsuz etkilerdir. Nitekim kentlere yakından bakıldığında, hava, su, toprak gibi yaşam için birinci derecede önemli olan kaynakların aşırı ve yaygın biçimde kirlendiği görülmektedir. Diğer taraftan, CO₂ artışı ile ortaya çıkan küresel iklim değişikliği modern kentlerin geleceğini tehlikeye sürüklemektedir. Sonuç olarak, “kentlerin kirli yaşam çevrelerine” dönüştüğü, yaşamın olumsuz etkilendiği, insanların kirli çevrelerde adeta zehir soluyarak yaşadığı, zehirli gıdalar ve içeceklerle, daha çok hastalandığı ve daha çabuk öldüğü görülmektedir. Kentlerdeki yaşamı “sürdürebilir” kılabilmek ve gelecek nesillere yaşanabilir kentler bırakmak için, yukarıda bahsedilen sorunlar birlikte ve eşzamanlı olarak çözülmek zorundadır (Kentleşme Şurası, 2009). Bu doğrultuda, yaşanabilir kent ve sağlıklı çevreler için yeni anlayışlar geliştirilmelidir.

Tez kapsamında; detaylı bir şekilde anlatılan sorunların çözümüne belli bir oranda katkıda bulunduğu düşünülen düşey yeşil sistemler, detaylı olarak incelenmiş ve enerji etkinlik açısından sağladığı yararlar nicel olarak ortaya konmuştur.

İlk bölümde tezin yazılmasında etkili olan sorunlar, tezin amacı, kapsamı ve yöntemi anlatılmaktadır.

Tezin ikinci bölümünde, düşey yeşil sistemler ile ilgili genel bir bilgilendirme ve tanıtım yapılmıştır. Örnekler ile farklı iklim ve coğrafyalarda uygulanabilirliğinin mümkün olduğu ortaya koyulmuştur. Üçüncü bölüm düşey yeşil sistemlerin enerji etkin olarak nasıl tasarlanabileceğini konu almıştır.

Son bölümde düşey yeşil sistemlerin binanın enerji tüketimine olan etkisi incelenmektedir. Uygulama bölümünde detaylı bir şekilde anlatılan bina modeli ve seçenekler EnergyPlus benzetim programına tanıtılarak hesaplamalar yapılmış, sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre, düşey yeşil sistemler, 3 farklı ilde ve farklı yönlerde kullanıma bağlı olarak oluşturulan tüm seçeneklerde, uygulandığı binanın ısıtma ve toplam enerji tüketimini azaltmakta, soğutma tüketimini arttırmaktadır.

Uygulama çalışmasında bina modeli oluşturulurken belirlenen sabit verilerin değiştirilmesi ile farklı sonuçlar almak mümkündür. Vaziyet planının, şehir içindeki bina yerleşim durumları göz önüne alınarak oluşturulması ısıtma, soğutma ve

toplam enerji yüklerini etkileyerek farklı sonuçlar alınmasında etkili olabilecek nedenlerden biridir. Bu konu ile ilgili olarak yapılan duyarlılık analizleri göstermiştir ki; tüm cephelerin bitkilendirildiği seçenekte, çevre binalar kaldırıldığında sonuçlarda, soğutma yükü açısından %31 kayıp, ısıtma yükü açısından %28 kazanç oluşmaktadır. Buna göre uygulama yapılacak binanın şehir içinde olması daha faydalı sonuçlar doğurmaktadır.

Sonuçların değişmesinde etkili olabilecek bir diğer neden benzetim yapılacak bina modelinde seçilen düşey yeşil sistem tipinin değiştirilmesidir. Keçe katmanlı yaşayan duvar olarak seçilen tipte mevcut duvar katmanlaşmasına 10cm bitki ve 10cm toprak katmanları eklenmiştir. Bu durum duvarın yalıtım ve sızdırmazlık özelliği arttırmış, ısıtma yüklerinin azalmasına, soğutma yüklerinin artmasına neden olmuştur. Düşey yeşil sistem tipinde yeşil cephe seçilmesi halinde, katmanlaşmasında toprak katmanının olmayışı ve bitki katmanındaki yaprak dokusunun daha seyrek oluşu nedeniyle sonuçların soğutma yükü açısından da faydalı çıkabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, uygulama çalışmasında ortaya çıkan en faydalı durumun soğuk iklim bölgesinde yer alan Ankara ili olmasının yanısıra, sıcak iklim bölgeleri için seçilecek düşey yeşil sistem tipinin yeşil cephe olması daha uygun görülmektedir.

Ancak, farklı havalandırma stratejileri geliştirilerek, binanın soğutma yüklerinin azaltılması yoluyla düşey yeşil sistemlerin enerji etkinliği daha da artırılabilir.

Düşey yeşil sistemler, mimaride yeni ve çevreye duyarlı anlayışlar geliştirmek ve daha yaşanabilir kentler meydana getirmek için önemi göz ardı edilemeyecek çözümlerdir. Tez kapsamında enerji ile ilgili sağladığı yararların kanıtlandığı bu sistemlerin ülkemizde daha çok tanıtımı yapılmalı ve kullanımı teşvik edilmelidir.

Daha ileride yapılacak çalışmalarda, gelişime çok açık olan ve yurtdışında pek çok örneğine rastlamamıza rağmen ülkemizde hala uygulama örneklerine rastlamadığımız düşey yeşil sistemler çevresel ve ekonomik etkinlikleri açısından değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akabari, H., Pomerantz, M., Taha, H.** (2001). Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas, *Solar Energy*, Vol.70, No.3, pp.295-310.
- Altun, C.** (1997). Buhar Difüzyonunun Dış Duvarların Nemle İlgili ve Isıl Performansa Etkilerinin Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul, ss.12-18.
- Aronin, J. E.** (1953). *Climate&Architecture*, p.179, ABD.
- Aygencel, M.** (2011). Dikey Yeşil Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon.
- Berköz, E., Küçükdoğu, M., Yılmaz, Z., Kocaaslan, G., ve diğerleri.** (1995). Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, TÜBİTAK-İNTAG 201, Araştırma Raporu, İstanbul.
- Berköz, E., Yılmaz, Z., Yıldız E., Koçaslan, G. ve Altun, C.** (1989). Türkiye'nin Çeşitli İklim Bölgeleri İçin Isıtma Açısından Optimum Kabuk Seçeneklerinin Belirlenmesi, İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Uygulama-Araştırma Merkezi, İstanbul.
- Chang, K., Chou, P.** (2010). Measuring the Influence of the Greening Design of the Building Environment on the Urban Real Estate in Taiwan, *Building and Environment*, Vol.45, pp. 2057-2067.
- Climate Booklet for Urban Development** (2008). Ministry of Economy Baden-Wurttemberg In Cooperation with Environmental Protection Department of Stuttgart.
- Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., Griffith B. T.** (2008). Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs, *Building and Environment*, Vol.43, No.4, pp.661-673.
- Çepel, N.** (2003). Ekolojik Sorunlar ve Çözümleri, Tübitak Popüler Bilim Kitapları, Ankara.
- Çetiner, İ. ve Edis, E.** (2011). İstanbul'daki Mevcut Konut Stoğunun Bina Elemanları Ölçeğinde Kullanım Süreci Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi ve Katkı Sağlayacak İyileştirme Önerileri Geliştirilmesi, Tübitak 108K418, Araştırma Raporu, İstanbul.
- ÇOB** (2007). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kapsamında Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi, Ankara.
- Detail** (2005). *Fassaden+Materialien*, Vol.11, p.1298, Münih, Almanya.
- Dunnet, N. ve Kingsbury, N.** (2008). *Planting Green Roofs and Living Walls*, Timber Press, Londra.
- ELT EasyGreen Specification**, (2011). *Living Wall System, Part V-Detail*, p.10, Brantford, ON.

- Francis, R. A. ve Lorimer, J.** (2011). Urban Reconciliation Ecology: The Potential of Living Roofs and Walls, *Journal of Environmental Management*, Vol.92, pp. 1429-1437.
- Getting Started with EnergyPlus.** (2013). Basic Concepts Manual- Essential Information You Need about Running EnergyPlus, US Department of Energy, ABD.
- Gilbert, O. L.** (1991). The Ecology of Urban Habitats, Chapman&Hall, Londra, İngiltere.
- Gray, K. A. ve Finster, M. E.** (1999). The Urban Heat Island, Photochemical Smog, and Chicago: Local Features of the Problem and Solution, Northwestern University, Evanston, IL.
- Green Roofs for Healthy Cities: Introduction to Green Walls** (2008). Technology, Benefits&Design.
- Gupta, A. ve Hall, M. R., Hopfe, C. J., Rezgui, Y.** (2011). Building Integrated Vegetation As An Energy Conservation Measure Applied to Non-Domestic Building Typology in the UK, 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney.
- Gür, N. V.** (2007). Mimaride Sürdürülebilirlik Kapsamında Değişken Yapı Kabukları İçin Bir Tasarım Destek Sistemi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Hopkins, G., Goodwin, C., Milutinovic, M., Andrew, M.** (2010). Feasibility Study: Living Wall System for Multi-storey Buildings in the Adelaide Climate, South Australia.
- İpekçi, C. A., Yüksel, E.** (2012). Bitkilendirilmiş Yapı Kabuğu Sistemleri, 6. Ulusal Çatı&Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Görele Kampüsü, Bursa.
- Kaya, A., F.** (2010). Binalarda Isı Yalıtım Kurallarına Uygun Yapı Üretiminde Duvar Malzemesi Seçimine Yönelik Öneriler, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Isparta.
- Kaya, U.** (2010). Sürdürülebilir Dış Duvar Sistemi İçin Tasarım Seçeneklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kentleşme Şurası** (2009). İklim Değişikliği, Doğal Kaynaklar, Ekolojik Denge, Enerji Verimliliği ve Kentleşme Komisyonu Raporu, No:6, Ankara.
- Kışlalıoğlu, M. ve Berkes, F.** (1994). Ekoloji ve Çevre Bilimleri, Remzi Kitabevi, İstanbul.
- Kolokotroni, M., Ren, X., Davies, M., Mavrogianni, A.** (2001). London's Urban Heat Island: Impact on Current and Future Energy Consumption in Office Buildings, *Energy and Buildings*, Vol.47, pp.302-311.
- Köhler, M.** (2008). Urban Ecosystems, Green Facades-a view back and somevisions, Vol.11, pp.423-436.
- Lombard, L. P., Ortiz, J., Pout, C.** (2008). A Review on Buildings Energy Consumption Information, *Energy and Buildings*, Vol.40, pp.394-398.

- Maile, T., Fischer, M., Bazjanac, V.** (2007). Building Energy Performance Simulation Tools- a Life-Cycle and Interoperable Perspective, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, ABD.
- Mir, M. A.** (2011). Green Façades and Building Structures, Yüksek Lisans Tezi, Delft Teknik Üniversitesi, Hollanda.
- Onar, İ.** (2010). Enerji Etkin Duvar Sistemlerinin Çok Katlı Yapılara Uygulama Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Oral, K. G. ve Manioğlu, G.** (2005). İklimle Dengeli Tasarım: Mardin, Antakya, *Tasarım*, 157, ss.136-142.
- Ottele, M.** (2011). The Green Building Envelope Vertical Greening, Delft Teknik Üniversitesi, Hollanda
- Özdemir, Ş.** (1997). Temel Ekoloji Bilgisi ve Çevre Sorunları, Hatiboğlu Yayınları, Ankara.
- Parlak, H. H.** (2013). Mobil Binaların Enerji Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Peck, W. S.** (1999). Greenbacks From Green Roofs: Forging a New Industry in Canada, Benefits, Status Report on Barriers and Opportunities for Green Roof and Vertical garden Technology Diffusion, Toronto, ON, Kanada.
- Perez, G., Rincon L., Vila, A., Gonzalez, J. M. ve Cabeza F. L.** (2011). Green Vertical Systems for Buildings as Passive Systems for Energy Savings, *Applied Energy*, Vol:88, pp. 4854-4859.
- Rath, J. ve Kiessl, K.** (1989). Auswirkungen von Fassadenbegrünungen auf den Waerme- und Feuchtehaushalt von Aussenwaenden und schadensrisiko, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Almany.
- Rutgers, R.** (2011). Living façades-A Study on the Sustainable Features of Vegetated Façade Cladding, Delft Teknik Üniversitesi, Hollanda.
- Sheweka, S. M., Mohamed, N. M.** (2012). Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Changes, *Energy Procedia*, Vol.18, pp.507-520.
- Tokaç, T.** (2009). Bitkilendirilmiş Çatı Sistemleri İçin Tasarım Seçeneklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Toydemir, N., Gürdal, E. ve Tanaçan, L.** (2000). Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayınları, İstanbul.
- TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları** (2008). Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Tunalı, S.** (2012). Enerji Simülasyon Metodlarının Bina Tasarım Sürecinde Destek Sistemi Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Türkeş, M., Sümer, M. U., Çetiner, G.** (2000). Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, Ankara
- Yapı ve Yapı Malzemeleri Sektör Raporu.** (2012). Doğu Marmara ABİGEM.

- Yılmaz, Z.** (2006). Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, ss.387-398, İzmir.
- Yu-Peng Yeh** (2010). Green Wall; The Creative Solution in Response to the Urban Heat Island Effect, National Chung-Hsing University.
- Yüksel, D. Ü.** (2005). Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 2005, Ankara.
- Zeren, L. ve diğerleri.** (1987). Türkiye’de Yeni Yerleşmeler ve Binalarda Enerji Tasarrufu Amacıyla Bir Mevzuat Modeline İlişkin Çalışma, Çevre ve Şehircilik Uygulama ve Araştırma Merkezi, İ.T.Ü, İstanbul.
- Url-1** <<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2320086/The-Hanging-Gardens--Nineveh-Lost-Wonder-Ancient-World-actually-300-miles-Babylon.html>>, alındığı tarih 10.12.2013.
- Url-2** < http://commons.wikimedia.org/wiki/File:MFO-Park_Oerlikon_2010-10-03_14-05-08_ShiftN.jpg >, alındığı tarih 10.12.2013.
- Url-3** < <http://www.cityartsmagazine.com/issues/tacoma/2009/11/if-wall-could-talk/>>, alındığı tarih 10.12.2013.
- Url-4** < <http://www.lushe.com.au/living-map-on-copenhagen-wall/>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-5**< <http://www.worldweatheronline.com/Copenhagen-weather-averages/Hovedstaden/DK.aspx>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-6**< <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/living-map-of-europe-grows-on-copenhagen-wall.html>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-7**< <http://weatherspark.com/averages/28823/Kastrup-near-Copenhagen-Capital-Region-of-Denmark>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-8**< <http://inhabitat.com/urbanarbolismo-unveils-gorgeous-vertical-garden-set-within-a-sweeping-ceramic-facade/>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-9**< <http://weatherspark.com/averages/32036/Eivissa-Island-Ibiza-Balearic-Islands-Spain>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-10**< <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1302>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-11**< <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1585>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-12**< <http://weatherspark.com/averages/32552/Guadalajara-Jalisco-Mexico>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-13**< <http://architizer.com/projects/aeronautical-cultural-center/>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-14**< <http://weatherspark.com/averages/32026/Barcelona-El-Prat-de-Llobregat-Cataluna-Spain>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-15**< <http://theriskexchange.wordpress.com/2013/08/08/a-living-building-facade/>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- Url-16**< <https://courses.washington.edu/gehlstud/gehl-studio/wp-content/themes/gehl-studio/downloads/Winter2010/MFOpark.pdf>>, alındığı tarih 18.11.2013.

Url-17< <http://weatherspark.com/averages/32414/Zurich-Kloten-Zurich-Switzerland>>, alındığı tarih 18.11.2013.

Url-18< <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>>, alındığı tarih 18.11.2013.

Url-19< <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>>, alındığı tarih 18.11.2013.

Url-20< <http://www.mgm.gov.tr/tarim/guneslenme.aspx>>, alındığı tarih 18.11.2013.

Url-21<<http://toprakvesu.com/pages/Hidroponik-Nedir%3F.html>>, alındığı tarih 09.12.2013.

Url-22<<http://www.epa.gov/hiri/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf>>, alındığı tarih 13.01.2013.

ÖZGEÇMİŞ

VESİKALIK
FOTO

Ad Soyad: Elif ERDOĞDU

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 1986

Adres: Beşiktaş, İSTANBUL

E-posta: elif_erdogdu@yahoo.com.tr

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

