



DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERİN BİNA DIŞ CEPHESİNE OLAN SOĞUTMA ETKİSİ COOLING EFFECT OF VERTICAL GREEN SYSTEMS TO BUILDING EXTERIOR FACADE

Şemiye DOĞAN*
A.Yağmur TOPRAKLI**

Öz

Günümüzde şehirler büyürken, sakinlerine düşen doğal yaşam alanları günden güne azalmaktadır. Yeşil alanların azalması iklim değişikliği, ekosistemde bozulma, kentsel ısı adası etkisi ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi birçok probleme neden olmaktadır. Binaların birbirine yakın inşa edilmesi ve yeşil alanların azlığı sonucu kentsel ısı adası etkisi meydana gelmektedir. Yapılaşmanın yoğun olduğu kentlerde özellikle yaz aylarında fazla hissedilen bu mikro-klimatik oluşum, termal konforu ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Yeşil dokuyu arttırmak ve termal konforu iyileştirmek için düşey yeşil sistemlerin iyi bir alternatif olabileceği çeşitli araştırmalarda gösterilmektedir. Bina zarfının yeşillendirilmesinin hava kalitesini iyileştirmek, kentsel ısı adasını azaltmak, ısı ve ses yalıtımı sağlamak, biyolojik çeşitliliğe katkı sağlamak, yeşil dokuyu arttırmak gibi binaya ve çevreye olumlu katkıları olduğu söylenebilir. Yapılan bu araştırmada daha önce yapılmış çalışmalardan faydalanılarak düşey yeşil sistemlerin cepheye olan soğutma etkisi araştırılmıştır. Yurt dışında 2008-2017 yılları arasında yapılmış deneysel çalışmalar incelenmiş olup, düşey yeşil sistemlerin cephe yüzeyine olan soğutma etkisi üzerinde durulmuştur. Yapılan bu araştırmada Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Csa ve Cfb iklim tipine sahip bölgelerde yapılan deneysel çalışmalar seçilmiştir. Kentsel ısı adası etkisinin çevreyi ve hayat kalitesini yaz aylarında daha üst düzeyde olumsuz etkilemesinden ötürü yaz döneminde yapılmış deneyler incelenmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular karşılaştırıldığında, düşey yeşil sistemlerin dış cephe sıcaklığını düşürdüğü ve enerji tasarrufuna katkı sağladığı sonucuna ulaşılabılır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Cepheler, Soğutma Etkisi, Düşey Yeşil Sistemler.

Abstract

Nowadays while cities get bigger, natural habitats for city dwellers are decreasing day by day. Decreasing green areas causes many problems; like climatical changes, distortions in the ecosystem, urban heat island effect and decreasing the biodiversity. As a result of the closely construct buildings and lack of green areas, urban heat island effect occurs. This microclimatic formation which is felt more ,especially in summer, effects thermal comfort and people's health negatively in dense urban areas. Vertical green systems can be a good alternative to increase green areas and to improve thermal comfort. Greening the building envelope has many benefits to the building and environment; like improved air quality, reduced urban heat island effect, provides heat and sound insulation, contributes to biodiversity. In this study, cooling effects of vertical green systems were investigated by using academic literature. Experimental studies which is done between 2008-2017 years have been investigated and cooling effect of vertical green systems on the facade surface has been emphasized. Experimental studies in Csa and Cfb climatic regions according to the Köppen-Geiger climate classification were selected in this study. Experiments were investigated which were done in summer period because of the more negative impact of urban heat island effect on environment and life quality in summer months. When the findings of experiments compared, it can be concluded that vertical green systems reduce exterior facade temperature and contribute to energy saving.

Keywords: Green Facades, Cooling Effects, Vertical Green Systems.

1. GİRİŞ

1.1.Problemin Tanımı

Kentsel ısı adası etkisi yoğun yapılaşmanın olduğu şehirlerin problemlerinden biridir. Özellikle yaz aylarında sıkıntı yaratan bu durum, binaların birbirine yakın inşa edilmesiyle ve yeşil alanların azlığıyla ortaya çıkar(Davis ve Hirmer,2015,135) . Dış ortam sıcaklığının artmasıyla iç ortam hava kalitesi bozulur. İç ortamın hava kalitesini sağlamak ve ideal sıcaklığa ulaşmak için soğutma ve ısıtma sistemleri kullanılır ve bu da enerji tüketimini artırır. Kentsel ısı adası etkisinin yaz aylarında daha rahatsız edici boyuta ulaşması,

* Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü.

** Dr. Öğr. Üyesi , Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü.

soğutma için harcanan enerjinin de artması anlamına gelmektedir(Djedjig,Bozonnet ve Belarbi,2016,75). İç ortamda hava kalitesinin sağlanması için cephede yalıtım uygulanması gerekir.

1.2.Amaç

Bu araştırmada, cephede bitkilendirmenin yalıtım malzemesi olarak kullanımının tartışılması için cephe yüzeyindeki soğutma etkisi sorgulanmıştır. Soğutma etkisinin düşey yeşil sistem türüne ve iklime bağlı olarak değişimini analiz etmek çalışmanın birincil amacıdır. İncelenen deneysel çalışmalar kendi içinde gruplandırılmış olup, son yıllarda farklı ülkelerde yapılmış olmasına ve farklı cihazlar kullanılarak ölçüme dayalı olmasına dikkat edilmiştir. Literatür araştırması yapılırken ulaşılan kaynakların ağırlıklı olarak yurtdışında yapılmış olması ülkemizde konuya olan ilgi azlığının göstergesi olup, yeterli bilgi bulunamamaktadır. Ulusal literatüre katkı sağlamak ve bilinirliği arttırmak çalışmanın bir diğer hedefi olmuştur.

1.3.Yöntem

Çalışma kapsamında düşey yeşil sistemlerin termal etkisinin daha iyi anlaşılması için yeşil cepheler ve yaşayan cepheler arasında karşılaştırmalı bir çalışma yöntemi tercih edilmiştir. Farklı ülkelerde yapılmış deneysel çalışmaların termal bulguları üzerinden yeşil cephe ve yaşayan cephenin termal etkileri kendi içinde yorumlanmıştır. Araştırma yaz mevsiminde yapılan deneylerle sınırlandırılmış olup; bunun nedeni yapı yoğunluğunun fazla olduğu kentlerde kentsel ısı adası etkisinin özellikle yaz aylarında sorun yaratmasıdır. Düşey yeşil sistemin cepheye olan termal etkisinin yaz mevsimindeki performansını farklı iki iklim bölgesinde, Cfa ve Cfb, incelemek için karşılaştırmalı tablolar oluşturularak bulgular analiz edilmeye çalışılmıştır.

2. DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERDE SOĞUTMAYA ETKİ EDEN BİLEŞENLER

Düşey yeşil sistemlerin enerji korunumuna olan etkisini belirleyen dört temel etmen vardır. Bunlardan ilki düşey yeşil sistemin uygulanma metodudur. Seçilen düşey yeşil sistem türüne göre bitki seçimi, bakım, maliyet, termal etki gibi parametreler değişmektedir. İkincisi düşey yeşil sistemin uygulandığı iklim özellikleridir. İklim sadece binanın termal davranışını değil, kullanılacak olan bitkilerin seçimini de etkiler. Üçüncüsü bitki seçimidir. Bitki seçimi sistemin uzun ömürlülüğü, bakımı ve maksimum düzeyde fayda sağlaması açısından önem taşımaktadır. Son önemli etmen bitkinin düşey yeşil sistemdeki tesiridir(Perez,2014,140).

2.1.Düşey Yeşil Sistemlerin Uygulama Yöntemleri

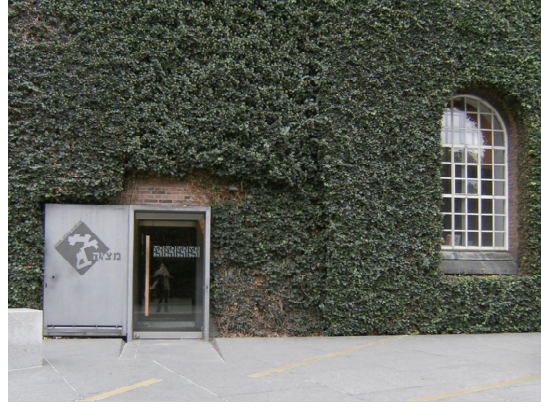
Yeşil cephe; tırmanıcı bitkilerin ya da asılan süs çalılarının özel bir destekleyici sistemle belli doğrultuya yönlendirilerek istenilen alanın kapatıldığı cephe sistemleridir. Bitkiler yapının oturduğu toprağa ekilerek ya da cephenin farklı kotlarına asılarak yetiştirilebilir(Ottele,2011,16). Düşey yeşil cepheler bitki türleri, uygulama şekli, strüktür özellikleri, sulama metotları gibi birçok faktöre göre sınıflandırılmaktadır. Düşey yeşil sistemler uygulama yöntemine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır(Aygençel,2011,21):

Yeşil Cepheler	Yaşayan Cepheler
Geleneksel Yeşil Cephe	Modüler yaşayan cephe
	Hasır cephe
	Peyzaj duvarları
Çift Çeperli Yeşil	Modüler kafes panel
	Kablo ve tel örgü ağ

Çizelge 2.1. Düşey yeşil sistemlerin uygulanma şekline göre sınıflandırılması (Aygençel,2011)

2.1.1. Yeşil cepheler

Geleneksel yeşil cephe: Tırmanıcı bitkilerin, yaprak döken veya dökmeyen, doğrudan bina yüzeyine sarılmasıyla oluşan cephelerdir. Binanın oturma alanına ekilen tırmanıcı bitkiler ucuz bir cephe yeşillendirmesi elde etmemizi sağlar. Geleneksel yeşil cephelerin karmaşık bir strüktürü yoktur. Kaplayıcı bitki zeminden köklenip büyüdüğü için mekanik sulama sistemine ve ekstra besine ihtiyaç duymaz. Besinini ve suyunu topraktan karşılar, bu yüzden uygulaması kolay ve az maliyetlidir(Develi Uyar,2018,22).



Resim 2.1. Portekiz'de müstakil bir evin geleneksel yeşil cephesi (Manso ve Gomes,2015)

Çift çeperli yeşil cephe: Bitki tabakasını cepheden uzak tutmak için uygulanan sistemlerdir. Kendi içinde ikiye ayrılır:

Modüler kafes panel sistemi, üç boyutlu, hafif, paslanmaz çelikten üretilen ızgara formlu panellerdir.(Resim 2.1.) Cepheye kaynaklanarak tutturulur. Toprakta filizlenen bitki panellere sarılarak, duvar panel arasında kalan alanda her yöne yayılarak büyür. Modüler kafes panelleri istifleme, sökülebileme, istenilen formda şekil oluşturma, bitki gelişimini sınırlandırma ve rigid yapısı sayesinde tekil ayakta duran cephe oluşturma imkanı sağlar.

Kablo ve tel örgü ağ sistemi, kablolar hızlı büyüyen tırmanıcı bitkilerden oluşan daha yoğun yeşil cephelerde kullanılır. Tel örgü ağ sistemi ise daha yavaş büyüyen bitkileri desteklemek için kullanılır. Kablo sisteme göre daha esnek ve farklı tasarımlara olanak verir. Her iki sistemde de yüksek gerilimli çelik kablolar, çapalar ve ek donanımlar kullanılır (GRHC,2008,5-7). (Resim 2.2.)



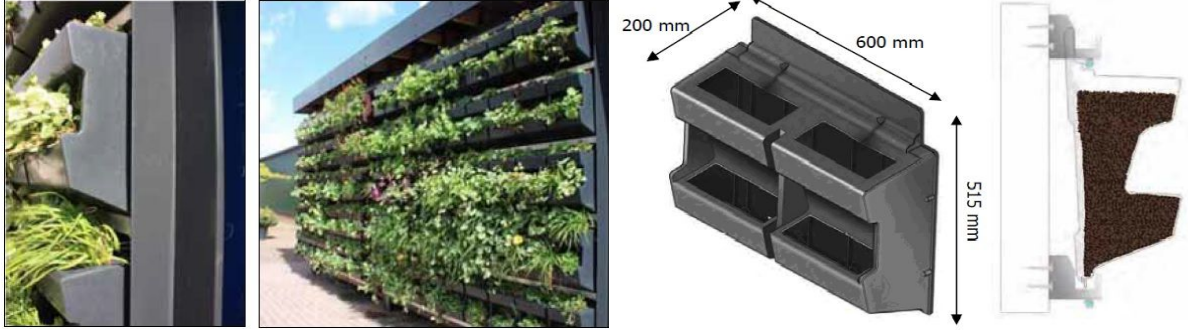
Resim 2.2: Modüler kafes panel(GRHC,2008)



Resim 2.3: Tel örgü ağ(GRHC,2008)

2.1.2. Yaşayan cepheler

Yeşil cepheler ve dikey bahçeler olarak da bilinen yaşayan cepheler her biri kendi toprağını veya suni büyüme ortamını (keçe, perlit, köpük, mineral yün gibi) bulunduran modüler panellerden oluşur. Bitki besin ve su ihtiyacını kendi panelinden karşılar. Yeşil cephede olduğu gibi zemin toprağıyla bağlantısı yoktur (Perini,2013,110). Yaşayan cepheler hafif bir strüktüre sahiptirler. Genel olarak metal bir çerçeve, pvc panel ve hava katmanından oluşurlar. Basit yapılarından dolayı hemen hemen her yerde her boyutta tasarlanabilirler. Bu sistem aynı zamanda farklı türde bitkileri bir arada kullanmaya olanak sağlar. Çok yıllık çiçekler, eğrelti otları, bodur çalılar gibi farklı türden bitkiler tasarımda tercih edilerek cephede görsel zenginlik ve farklılık yaratılabilir. Kullanılan bitki çeşitliliği ve yoğunluğu sebebiyle yaşayan cepheler yeşil cephelerden daha fazla bakıma ihtiyaç duyar (Yeh,2012,5). Yaşayan cepheler kendi içinde modüler yaşayan cephe, hasır cephe ve peyzaj duvarları olmak üzere çeşitlere ayrılır.



Resim 2.4: Modüler yaşayan cephe (Mir,2011)



Resim 2.5. Quai Branly Müzesi hasır cephe(Peters,2011)

2.2. İklim Etkisi

Düsey yeşil sistemlerde bitki en önemli birleşendir. Bitki seçimi üzerinde de iklim önemli rol oynamaktadır. Her iklimde her bitki türünün yetişemeyeceği sistem tasarımı yapılırken göz ardı edilmemelidir. İklim koşulları doğrudan bitkinin büyümesine etki eder ve bitki için hayati önem taşır. Dolayısıyla sistemin cephedeki uzun ömürlülüğü doğrudan etkilenir. Ayrıca iklime bağlı olarak düşey yeşil sistemden elde edilmek istenen fayda da değişkenlik gösterebilir. Bu çalışmada iki farklı iklim tipi için düşey sistem karşılaştırması yapılmıştır. Dünya üzerinde en yaygın iklim sınıflandırma sistemi olan Köppen Geiger sınıflandırması baz alınmıştır. Bu sınıflandırmaya göre;

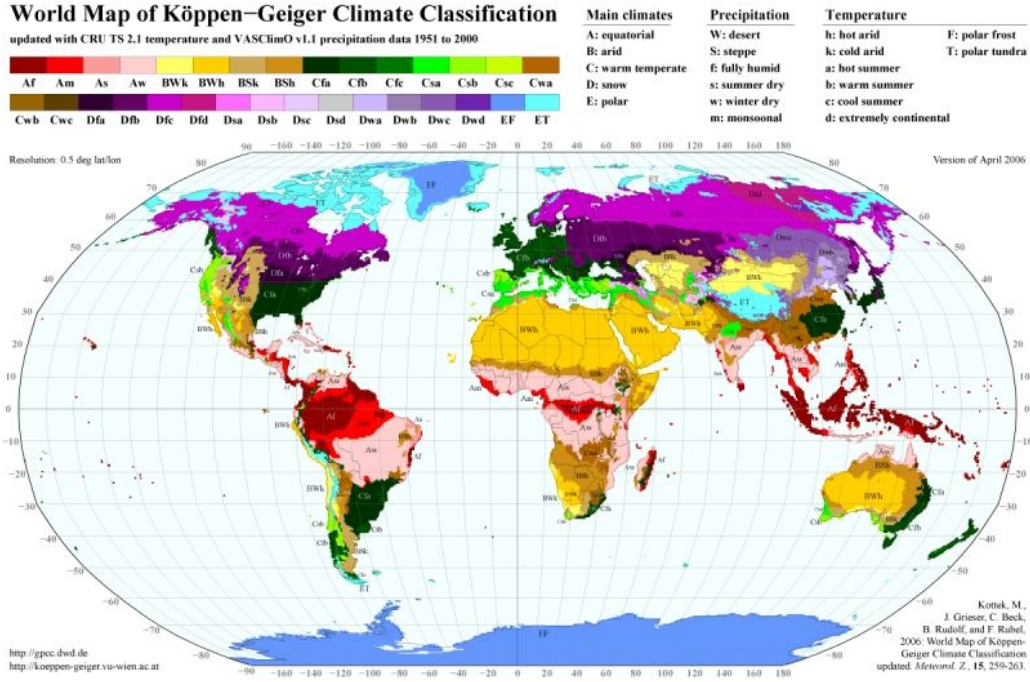
Tropik iklimler -A Soğuk kar iklimleri-D
Kurak iklimler-B Polar iklimler-E
Sıcak-ılıman iklimler-C

harfleriyle ifade edilmektedir. Köppen iklim sınıflandırmasında ikinci harf yağış durumunu, üçüncü harf ise bölge sıcaklığını ifade etmektedir. Yapılan bu çalışmada sıcak ılıman(C) iklimlerden olan Csa ve Cfb tipi iklim kuşağında yer alan ülkelerde yapılmış çalışmalar karşılaştırılmıştır. Köppen iklim tipi sınıflandırma kurallarına göre;(Orman ve Su İşleri Bakanlığı,2016,3-6)

Csa: Kışlar ılık, yazlar çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi)
Tsicak $\geq 22^{\circ}\text{C}$

Cfb: Kışı ılık, yazı sıcak, her mevsim yağışlı ve en az 4 ayın ortalama sıcaklığı $>10^{\circ}\text{C}$

Tsicak $< 22^{\circ}\text{C}$



Harita 2.1. Köppen' göre iklim sınıflandırmasının dünya haritası (Orman ve Su İşleri Bakanlığı,2016)

Bu makale çalışmasında, Csa ve Cfb iklim kuşağında yer alan ülkelerde yaz mevsiminde yapılmış deneysel çalışmalar seçilmiştir. Csa kuşağında yer alan ülkelerden İtalya, Yunanistan, İspanya; Cfb kuşağında yer alan ülkelerden Almanya, İngiltere, Avusturya 'da son yıllarda yapılmış deneysel çalışmalar incelenmiştir.

2.3. Bitki Seçimi

Düsey yeşil sistemlerde bitki seçimi sistem ömrünün uzunluğu ve tasarımın devamlılığı açısından önem teşkil etmektedir. Cephe için bitki seçilirken bölgenin iklim özelliklerine, düsey yeşil sistem tipine ve yaratılmak istenen görsel etkiye göre tercih yapılması gerekmektedir. Bunun sebebi rüzgâr ve sıcaklık gibi faktörler bitkiyi doğrudan etkilemesidir. Örneğin, rüzgâr hareketlerindeki artış yapraklardaki nemi azaltarak bitkinin kurumasına neden olabilir ya da 40°C ulaşan sıcaklıklarda bitki hayatta kalabilmek için yaşamsal faaliyetlerini durdurur. Dolayısıyla sıcak bölgelerde kuraklığa dayanıklı bitkiler seçmek yerinde bir karar olacaktır(Erdoğan,2014,28). Her daim yeşil bitkiler kuzey cepheler için yerinde bir seçimdir; cepheyi rüzgâr etkisinden, yağmurdan koruyan yalıtım özelliği görür(Develi Uyar,2018,37).

Sarılcı trımanıcı bitkiler, sarmaşık gibi geleneksel yeşil cephelerde kullanıma uygundur. Hedera helix ve Boston ivy geleneksel yeşil cephelerde en sık tercih edilen sarmaşık türleridir. Çift çeperli sistemlerde ise bu iki sarmaşık türünün yanısıra Wisteria sp., Clematis sp., gibi desteğe ihtiyaç duyan bitkiler tercih edilir. Yaşayan cephelerde kullanılacak bitki çeşidi yeşil cepheye göre daha zengindir. Çalılar, sukulent türleri, Zoysia japonica gibi sürünücü bitkiler, russelia equisetiformis, nephrolepis exaltata, sedum gibi çiçekli - çiçeksiz farklı kök ve yaprak yapısına sahip bitkiler tercih edilebilir(Perez,2014,143-147).

2.4. Bitkilerin Sistemdeki Etkisi

Bitkilerin düsey yeşil sistem içerisinde dört temel etkisi vardır. Bunlar; gölgeleme, serinletme, yalıtım ve rüzgâr bariyeri görevi görme etkisidir.

Tablo 2.1.Bitkilerin düsey yeşil sistemdeki etkisi (Perez,2014)

Etki	Yöntem
Gölgeleme	Güneş ışınımının bitkiler tarafından önlenmesi
Serinletme	Bitkilerden ve bitki yetiştirme tabakasından buharlaşma
İzolasyon	Sistemde kullanılan katmanların yalıtıcı özelliği
Rüzgâr bariyeri	Bitkiler ve sistem iskeletinin rüzgâr hızını düşürmesi



Gölgeleme etkisi pasif bir güneş kontrol yöntemidir. Yapraklar gelen güneş ışığını belli oranda engeller. Yaprak yoğunluğu ve büyüklüğü gölgelemeye etki eden faktörlerdir. Bitki seçimi yapılırken bu etmenin göz önünde bulundurulması elde edilecek yarar açısından fayda sağlayabilir(Papadakis,2001,831).

Serinletme etkisi, evapotranspirasyon yoluyla gerçekleşir. Bitki yapraklarında gerçekleşen terleme sonucu oluşan buharlaşmada atmosfere önemli oranda su buharı transferi olur ve bina çevresinde sıcaklık düşüşü gözlemlenir(Papadakis, 2001, 831-836).

İzolasyon etkisi, bitki tabakasıyla cephe arasında bulunan durgun hava tabakası ve sistemde kullanılan çeşitli katmanların(keçe, taş yünü, plastik modül gibi) yalıtım malzemesi görevi görmesi sonucu meydana gelir. Sistemdeki hava tabakası iç ortamla dış ortam arasındaki ısı kayıplarını önler. Aynı zamanda direk gelen güneş ışığı bitki tabakası tarafından dağıtılır. Yapraklar sayesinde güneş ışığının direk cepheye ulaşması engellenmiş olur. Bu sayede yaz aylarında iç mekanın fazla ısınması engellenmiş olur. Kış aylarında ise tam tersi olup iç ortamdaki sıcak hava muhafaza edilir. İç ortam sıcaklığındaki 0.5 derecelik düşüş bile elektrik tüketimini %8 oranında düşürmeye yardımcı olur ve bu da tasarruf ve enerji korunumu sağlar (Ottele,2011,38).

Rüzgâr bariyeri etkisi bitki örtüsünün pürüzlülüğünün rüzgâr hızını azaltmasıdır. İç mekanda termal konforu sağlamanın yöntemlerinden birisi de rüzgarı kesmektir. Özellikle kış aylarındaki soğuk rüzgârlar iç mekan ısını düşürür. Yeşil cephe rüzgârı kırmak için çok yoğun bir bitki katmanından oluşması gerekir(Peck,1999,21).

3. DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLERİN SOĞUTMA ETKİSİ

Düşey yeşil sistemlerin soğutma etkisinin anlaşılabilmesi için son yıllarda yapılmış deneysel çalışmalar incelenmiştir. Derlenen bu çalışmalar sistem tipine göre ayrılarak, değerlendirilmiştir.

3.1.Yeşil Cepheler

3.1.1.Geleneksel yeşil cepheler

Geleneksel yeşil cepheler, düşey yeşil sistemlerin bilinen en eski formudur. Sarılıcı-tırmanıcı, sarmaşık türü bitkilerin bina cephesine doğrudan sarılmasıyla oluşan cephe formudur. Geleneksel yeşil cephelerle ilgili yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir:

Hoyano, Tokyo'da geleneksel yeşil cepheyle solar kontrolü ve termal etkiyi ölçmek için çalışma yapmıştır. Konut cephesinin batı cephesi Japanese ivy bitkisiyle kaplanarak, yaz mevsiminde deney yapılmıştır. Deney sonunda bina cephesinin iç ve dış yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. Dış yüzey sıcaklığında 13°C, iç yüzey sıcaklığında 11°C düşüş gözlemlenmiştir(Perez,2014,151).

Köhler'in Berlin'de geleneksel yeşil cephe üzerinde yaptığı çalışmada sarmaşık kaplı yüzeyde yaz ayında gölgeleme etkisiyle 3°C sıcaklık düşüşü olduğu sonucuna ulaşılmıştır(Köhler,2008,431).

Eumorfopoulou and Kontoleon bitki kaplı cephe bina zarfının ısıl davranışlarına katkısını ölçmek için deney yapmıştır. Deney lokasyonu Yunanistan'dır. Isı yalıtımlı tuğla cephe bir binanın 25cm kalınlığındaki doğu cephesine Boston ivy kullanılarak oluşturulmuş geleneksel yeşil cephede ölçüm yapılmıştır. Dış ve iç yüzey sıcaklığı, yaprak sıcaklığı, iç ve dış ortam sıcaklıkları ölçülmüştür. Yapılan deney sonucunda dış cephe yüzey sıcaklığında 5.7°C, iç cephe yüzey sıcaklığında 0.9°C düşüş görülmüştür(Eumorfopoulou,2009, 1027-1038).

Susorova ve arkadaşları ise Şikago'da 29 ağustos-1 ağustos 2012 tarihleri arasında bir dizi deney yürütmüşlerdir. Binanın güney cephesinin bir bölümü deney için Boston ivy ile kaplanmıştır. Bitki kaplı cephe ve kaplı olmayan cephede ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda bitkilendirilmiş cephe ve çıplak cephe arasındaki maksimum sıcaklık farkının saat 14:00 civarında ve 7.9°C olduğu görülmüştür (Susorova,2013,6-13).

Bir diğer çalışma ise Sternberg ve arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Bir yıl boyunca İngiltere'nin beş farklı kentinde uygulanan sarmaşık kaplı geleneksel yeşil cepheler üzerinde deney yapılmıştır. Bitkilendirme yoğunluğunun farklı olmasına ve beş deney duvarının aynı yönde olmamasına dikkat edilmiştir. Bitki kalınlığının fazla olduğu duvarda 9.5°C'lik sıcaklık düşüşü ölçülürken, bitkilendirmenin az olduğu cephede 0.64°C sıcaklık düşüşü ölçülmüştür(Sternberg,2011,294-297).

3.1.2.Çift çeperli yeşil cepheler

Çift çeperli yeşil cephelerle ilgili yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir:

Perez ve arkadaşları, nisan-eylül 2009 periyodunda İspanya'da çift çeperli yeşil cepheyle deney yapmışlardır. Yeşil cephelerin enerji korunumundaki rolünü ölçmek amaçlanmıştır. Wisteria sinensis bitkisi kuzeybatı, güneybatı ve güneydoğu cephelerinde kullanılarak düşey yeşil sistem oluşturulmuştur. Fotometre, termo hidrometre, kızılötesi termometre kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Yapılan deney



sonucunda bitki kaplı cephenin yüzey sıcaklığı 5.5°C daha düşük ölçülmüş olup, kuzeybatı cephede fark maksimum 17.62 °C ölçülmüştür(Perez,2011,4857-4859).

Koyama ve arkadaşları, yeşil cephelerin soğutma etkilerine olan katkısını saptamak için bir dizi deney yapmışlardır. Çalışma Japonya'da yaz döneminde serbest duvarlar üzerinde yapılmış olup; bitter lemon, morning glory, sword bean, kudzu ve apios türleri tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda dış cephe sıcaklığında 11.3°C'lik düşüş tespit edilmiştir(Koyama,2013,97-103).

Jim, betonarme tank yüzeyinde ficus pumila, campsis grand flora, bauhinia corymbosa, pyrostegia venusta kullanarak Hong Kong da deney yapmıştır. Tankın tüm yüzeyinde bitkilendirme yapılmıştır. Yapılan deney sonucu çeper sıcaklığının 1-2 °C daha düşük olduğu gözlemlenmiştir(Jim,2015,632-647).

Hoelscher ve arkadaşları, Berlin de yaptıkları deney çalışmasında üç farklı bina üzerinde yaz döneminde deney yapmışlardır. Çift çeperli düşey yeşil sistemde boston ivy ve hedera helix kullanmayı tercih etmişlerdir. Sensörlerle yapılan ölçümler sonucu cephe sıcaklığında 15.5°C'lik sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir(Hoelscher,2016,284-290).

3.2. Yaşayan Cepheler

Yaşayan cephelerle ilgili yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir:

Scharf ve arkadaşları Avusturya'da farklı bitkiler kullanarak bina cephesinde yaşayan cephe üzerinde deney yapmışlardır. Güney, doğu, batı, güney batı cepheye kurulan yaşayan cephenin termal etkisi sensörler aracılığıyla saptanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda cephe sıcaklığında 10-15 °C düşüş tespit edilmiştir(Scharf,2012,4-9).

Chen, Li ve Liu Wuhan'da bir dizi deney yapmışlardır. Yaz döneminde yapılan deneyde 6 farklı bitki kullanılmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda dış cephe sıcaklığının 20.8°C, iç mekan sıcaklığının ise 1.1°C azaldığı tespit edilmiştir(Chen,2013,299-307).

Victorero ve arkadaşları Santiago, Şili'de yaz döneminde bina cephesine sedum vb bitkiler uygulanarak yaşayan cephe üzerinde deney yapmışlardır.12 gün boyunca yapılan ölçümler sonucunda cephe yüzey sıcaklığında 30°C düşüş tespit edilmiştir(Victorero,2015,3417-3420).

Vaezizadeh ve arkadaşları, İran'ın Yazd şehrinde yaz döneminde üç tip yaşayan cephe protitipi oluşturup, DesignBuilder programıyla ölçüm yapmışlardır. Yapılan ölçümler sonucunda yaşayan cephe ve sıradan cephe arasında 21°C sıcaklık farkı ölçülmüştür(Vaezizadeh,2016,30-39).

Razzaghmanesh ,Avustralya'da yaptığı deney çalışmasında farklı bitki türleri kullanmıştır. Yaz döneminde yapılan deneyde sensörlerle ölçüm yapılmış olup, yaşayan cephe yüzeyinin sıcaklığının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çıplak cephe yüzeyi 14-61°C'yken, yaşayan cephe yüzeyi 12.5-46°C ölçülmüştür(Razzaghmanesh,2017,46-62).

4. YEŞİL CEPHELER İLE YAŞAYAN CEPHELERİN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1. Csa İkliminde Düşey Yeşil Sistemler

Csa ikliminde kışlar ılık, yazlar çok sıcak ve kurak geçer.(Akdeniz iklimi) Yapılan bu çalışmada Akdeniz iklimine sahip üç ülke seçilerek karşılaştırma yapılmıştır. İtalya, İspanya ve Yunanistan'da yapılmış deneysel çalışmalar tablo 4.1.'de görüldüğü gibidir:

Tablo 4.1.Csa ikliminde yapılmış deneysel çalışmalar



İklim	Düşey Yeşil Sistem Tipi	Konum	Çalışma Periyodu	Kullanılan Bitkiler	Cephenin Konumu	Çalışma alanı	Termal Bulgu	Ölçüm Aracı	Referans
Csa	Yeşil cephe	Yunanistan	Yaz dönemi	Boston ivy	Doğu cephe	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 1.5°C düşüş tespit edilmiştir	Sensör	Eumorfopoulou ve Kontoleon,2009
Csa	Yeşil cephe	İspanya	Yaz dönemi	Wisteria sinensis	Kuzeybatı, güneybatı, güneydoğu	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 5.5°C düşüş tespit edilmiştir	Fotometre, termo hidrometre, kızılötesi termometre	Perez, Rincon,Vila, Cabeza ve Gonzalez,2011
Csa	Yeşil cephe	İspanya	Yaz dönemi	Boston ivy	Güney ,doğu ve batı yönü	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 16,4° düşüş tespit edilmiştir.	Sensör	Perez , Coma,Sol ve Cabeza,2017
Csa	Yaşayan cephe	Yunanistan	Yaz dönemi	Boston ivy	Doğu yönü	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 5.7°C düşüş tespit edilmiştir	Sensör	Eumorfopoulou ve Kontoleon,2009
Csa	Yaşayan cephe	İspanya	Yaz dönemi	x	x	Gözlem cephesi	Cephe sıcaklığında 20-25°C düşüş tespit edilmiştir	Sensör	Olivieri, Redondas ,Olivieri ve Neila, 2014
Csa	Yaşayan cephe	İspanya	Yaz dönemi	Rosmarinus officinalis, Helichrysum thianschanicum	Doğu, batı ve güney yönü	Test modülleri	Cephe sıcaklığında 16.5°C düşüş tespit edilmiştir	Termokupl ve sensörler	Coma, Perez, Gracia, Bures,Urrestarazu, Cabeza,2017
Csa	Yaşayan cephe	İtalya	Yaz dönemi	15 çeşit bitki kullanılmıştır *	Güneybatı yönü	Test duvarları	Cephe sıcaklığında 20°C düşüş tespit edilmiştir.	Sensör	Mazzali, Peron, Romagnoni,Pulselli, Bastianoni, 2013

*Juniperus communis sedum spurium, geranium sanguineum, geranium Johnson's blue, anemone sp., viva minör, parthenocissus tricuspidata, heuchera micrantha palace purple, salvia nemorosa, lonicera pileata, pittosporum tobira, rosmarinus officinalis,alchemilla mollis, bergenia cordifolia, oenothera missouriensis, plumbago capensis

Tablo 4.1. incelendiğinde 2 Yunanistan'da, 4 İspanya'da ve 1 İtalya'da yapılmış deneysel çalışmaya yer verildiği görülmektedir. Bu üç farklı ülkenin ortak özelliği Csa iklim kuşağında yer almasıdır. Yapılan deneylerin ortak paydası yaz mevsiminde uygulanmış olmalarıdır. Yapılan deneyler incelendiğinde 1 geleneksel yeşil cephe, 2 çift çeperli yeşil cephe olmak üzere toplamda 3 yeşil cephe; 6 yaşayan cephe uygulamasına yer verildiği görülmektedir. Elde edilen bulgulara bakıldığında, yaşayan cephede daha fazla sıcaklık düşüşü olduğu görülmektedir. Bu sebeple yaşayan cephenin yeşil cepheden daha çok termal yarar sağladığı söylenebilir. Yeşil cephe kendi içinde değerlendirilecek olur ise, çift çeperli yeşil cephede daha fazla sıcaklık düşüşü olduğu görülmektedir. Bunun sebebi cephe ve bitki katmanları arasındaki hava tabakasıdır.

4.2. Cfb İkliminde Düşey Yeşil Sistemler

Cfb iklimi kışları ılık, yazları sıcak ve her mevsim yağış alan iklimdir. En az 4 ayın ortalama sıcaklığı 10°C'nin üzerindedir. Yapılan bu çalışmada Cfb iklimine sahip üç ülke seçilerek karşılaştırma yapılmıştır. Almanya, İngiltere ve Avusturya'da yapılmış deneysel çalışmalar tablo 4.2.'de görüldüğü gibidir:

Tablo 4.2.Cfb ikliminde yapılmış deneysel çalışmalar



İklim	Düsey Yeşil Sistem Tipi	Konum	Çalışma Periyodu	Kullanılan Bitkiler	Cephenin Konumu	Çalışma alanı	Termal Bulgu	Ölçüm Aracı	Referans
Cfb	Yeşil cephe	Almanya	Yaz dönemi	Boston ivy	x	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 3°C düşüş tespit edilmiştir	x	Köhler,2008
Cfb	Yeşil cephe	Almanya	Yaz dönemi	Boston ivy, Hedera helix	Güney, güneybatı, doğu	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 15.5°C düşüş tespit edilmiştir	Sensör	Hoelscher ,Nehls , Janicke ve Wessolek,2016
Cfb	Yeşil cephe	Almanya	Yaz dönemi	Fallopia baldschuanice	Batı yönü	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 15,5° düşüş tespit edilmiştir.	Sensör	Hoelscher ,Nehls , Janicke ve Wessolek,2016
Cfb	Yeşil cephe	İngiltere	Yaz dönemi	Hedera helix, stachys byzantina	Kuzey ve güney yönü	Deney duvarları	Cephe sıcaklığında 7-7.3°C düşüş tespit edilmiştir	Sensör	Cameron , Taylor ve Emmett.,2014
Cfb	Yeşil cephe	İngiltere	Yaz dönemi	Hedera helix	x	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 4°C düşüş tespit edilmiştir	Termokupl,nem ölçer,Ecotect yazılımı	Cüce,2017
Cfb	Yaşayan cephe	İngiltere	İlkbahar dönemi	Samaşık türü bitkiler	x	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 1.7 °C düşüş tespit edilmiştir	EnergyPlus yazılımı	Gupta, Hall, Hopfe ve Rezgui,2011
Cfb	Yaşayan cephe	Avusturya	Yaz dönemi	7 farklı bitki kullanılmıştır *	Güney,doğu,batı ve güneybatı yönü	Bina cephesi	Cephe sıcaklığında 10-15°C düşüş tespit edilmiştir.	Sensör ve termal kamera	Scharf,Pitha ve Oberarzbacher , 2012

* Sesleria heufferiana, sesleria caerulea, iberis sempervirens, nepeta faassenii, dianthus plumarius, thymus vulgaris, achillea millefolium

Tablo 4.2. incelendiğinde 3 tane Almanya, 2 tane İngiltere ve 2 tane Avusturya'da yapılmış deneysel çalışmaya yer verildiği görülmektedir. Bu üç farklı ülkenin ortak özelliği Cfb iklim kuşağında yer almasıdır. Yapılan deneylerin ortak paydası yaz mevsiminde uygulanmış olmalarıdır. Yapılan deneyler incelendiğinde 4 geleneksel yeşil cephe, 1 çift çeperli yeşil cephe ve 2 yaşayan cephe uygulamasına yer verildiği görülmektedir. Elde edilen bulgulara bakıldığında, yaşayan cephedeki sıcaklık düşüşü kadar geleneksel yeşil cephede de sıcaklık düşüşü olduğu görülmektedir.

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada, binalarda enerji tasarrufu için pasif bir araç olarak düşey yeşil sistemler hakkındaki literatür özetlenmektedir. İki farklı iklim kuşağında yer alan 6 farklı ülkede yapılmış deneysel çalışmalar karşılaştırılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Tablo 5.1. Düşey yeşil sistemler deney sonuç tablosu

	CSA - Tsıcak≥22°C	CFB - Tsıcak<22°C
YEŞİL CEPHE	<ul style="list-style-type: none"> Yunanistan'da yapılan deneyde cephe yüzey sıcaklığında 1.5°C sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir. İspanya'da yapılan deneylerde cephe yüzey sıcaklığında 5.5°C ve 16.4°C sıcaklık düşüşleri tespit edilmiştir İspanya'da 16.4°C'lik sıcaklık düşüşünün görüldüğü deneyde çift çeperli yeşil cephe tercih edilmiştir. Yapılan deneylerde sensör, termo hidrometre, termokupl gibi ölçüm cihazları tercih edilmiştir. Yeşil cephe üzerinde yapılan deneylerde ağırlıklı olarak Boston ivy ve Hedera helix kullanılmıştır. İncelenen deneyler arasında en fazla sıcaklık düşüşü 16.4°C'dir. 	<ul style="list-style-type: none"> Almanya'da yapılan deneylerde cephe yüzey sıcaklığında 1.7°C, 3°C ve 15.5°C sıcaklık düşüşleri tespit edilmiştir. 15.5°C'lik sıcaklık düşüşünün olduğu cephe çift çeperli yeşil cephedir. İngiltere'de yapılan deneylerde 4°C ve 7.3°C 'lik sıcaklık düşüşleri tespit edilmiştir. İngiltere'de yapılan deneylerde geleneksel yeşil cephe tercih edilmiştir. İncelenen deneyler arasında en fazla sıcaklık düşüşü 15.5°C'dir.



YAŞAYAN CEPHE	<ul style="list-style-type: none">• Yunanistan'da yapılan deneyde cephe yüzey sıcaklığında 5.7°C sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir.• İspanya'da yapılan deneylerde cephe yüzey sıcaklığında 6°C,16.5°C ve 25°C sıcaklık düşüşleri tespit edilmiştir.• İtalya'da yapılan deneyde 20°C sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir.• Yaşayan duvarlarla ilgili yapılan deneylerde çeşitli bitki türleri kullanılmıştır.• İncelenen deneyler arasında en fazla sıcaklık düşüşü 25°C'dir.	<ul style="list-style-type: none">• Avusturya'da yapılan deneyde cephe yüzey sıcaklığında 15°C düşüş tespit edilmiştir.• İngiltere'de mart ayında yapılmış deneyde cephe yüzey sıcaklığında 1.7°C'lik sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir.• İncelenen deneyler arasında en fazla sıcaklık düşüşü 15°C'dir.
---------------	---	--

- Csa iklim kuşağında yer alan ülkelerde yapılmış çalışma sonuçlarına bakılacak olur ise; yaşayan duvarın yeşil cepheye nazaran daha fazla soğutma etkisi sağladığı görülmektedir.
- Cfb iklim kuşağında yer alan ülkelerde yapılmış çalışma sonuçlarına bakılacak olur ise; yeşil cepheyle yaşayan duvarın birbirine yakın oranda soğutma etkisi sağladığı söylenebilir.
- Yaşayan cephenin Csa iklimi gibi sıcak ve kurak iklimlerde soğutma yükünü hafifleteceği sonucuna ulaşılabilir.
- Yapılan literatür taraması göz önüne alınacak olur ise, düşey yeşil sistemlerin termal etkilerinin araştırıldığı deneylerden sıcak iklimlerde ağırlıklı olarak yaşayan cephe; daha soğuk iklimlerde ise yeşil cephe deneylerinin yapıldığı göze çarpmaktadır.
- Ilık ve serin iklimlerde yaz aylarındaki soğutma yükü fazla olmayacağı için daha az maliyetli, çok bakım istemeyen ve kurulumu kolay olan yeşil cephe sistemleri tercih edilebilir.
- Sıcak ve kurak iklimlerde maliyeti ve bakım gereksinimi fazla olan fakat serinletici etkisi yüksek olan yaşayan duvar sistemleri yaz aylarındaki soğutma yükünü düşürmek için tercih edilebilir.
- Düşey yeşil sistemler, özellikle sıcak iklimlerde binanın soğutma yükünü azaltmak için düşünülebilecek bir seçenek olarak düşünülebilir.

KAYNAKÇA

- Aygençel, M.(2011). *Dikey Yeşil Sistemler*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, s.21.
- Cameron, R.W.F., Taylor, J.E. ve Emmett,M.R.(2014). What's cool in the world of green facades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*, S.73,s.198-207.
- Chen,Q., Li,B., Liu,X.(2013). An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and Buildings*, S.61, s.298-307.
- Coma,J., Perez,G., Gracia,A., Bures,S.,Urrestarazu,M. ve Cabeza,L.(2017).Vertical greenery systems for energy savings in buildings:A comparative study between green walls and green facades. *Building and Environment*, S.111,s.228-237.
- Cuce,E. (2017).Thermal regulation impact of green walls:An experimental and numerical investigation. *Applied Energy*, S.194, s.247-254.
- Davis, M.M. ve Hirmer, S.(2015).The potential for vertical gardens as evaporative coolers: An adaptation of the 'Penman Monteith Equation'. *Building and Environment*, S.92,s.135-141.
- Develi Uyar, G.(2018). *Dikey Yeşil Sistemler ve Uygulama Örnekleri*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, s.22.
- Djedjig, R.,Bozonnet,E. ve Belarbi,R.(2016).Modeling green wall interactions with street canyons for building energy simulation in urban context.*Urban Climate*, S.16,s.75-85.
- Erdoğan, E.(2014). *Düşey Yeşil Sistemlerin Enerji Etkinliklerinin Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s.10-46.
- Eumorfopoulou, E.A. , Kontoleon,K.J.(2009). Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes.*Building and Environment*,S.44,s.1024-1038.
- Gupta, A., Hall, M.R.,Hopfe,C.J. ve Rezgui,Y.(2011). Building integrated vegetation as an energy conservation measure applied to on-domestic building typology in the UK.*12th Conference of International Building Performance Simulation Association*,Sydney,14-16 November, s.949-956.
- GRHC (Eylül 2008). *Introduction to Green Walls Technology, Benefits &Design*. s.5-24.
- Hoelscher, M.T., Nehls,T., Janicke,B.,Wessolek,G.(2016). Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings*, S.114, s.283-290.
- Jim, C.Y.(2015).Thermal performance of climber greenwalls: Effects of solar irradiance and orientation. *Applied Energy*, S.154, s.631-643.
- Koyama, T., Yoshinaga, M., Hayashi,H.,Maeda, K.,Yamauchi, A.(2013). Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green facades using freestanding walls. *Building and Environment*, S.66, s.96-103.
- Köhler, M.(2008).Green Facades-a view back and some visions.*Urban Ecosystems*, 11(4),s.423-436.
- Mazzali,U.,Peron, F., Romagnoni,P.,Pulselli,R. ve Bastianoni,S.(2013).Experimental investigation on the energy performance of living walls in a temperate climate.*Building and Environment*, S.64,s.57-66.
- Mir, M. A. (2011). Green Façades and Building Structures. Yüksek Lisans Tezi, Delft Teknik Üniversitesi, Hollanda.



- Olivieri,F.,Redondas,D., Olivieri,L. ve Neila,J.(2014).Experimental characterization and implementation of an integrated autoregressive model to predict the thermal performance of vegetal facades. *Energy and Buildings*, S.72,s.309-321.
- Ottele, M.(2011). *The Green Building Envelope Vertical Greening*. Delft Teknik Üniversitesi, Hollanda.
- Ottele, M., Perini,K., Fraaij,A.L.A., Haas, E.M. ve Raiteri, R.(2011). Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems.*Energy and Buildings* ,S.43, s.3419-3429.
- Papadakis,G.,Tsamis,P., Kyritsis,S.(2001).An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings*, S.33, s.831-836.
- Peck, S.W.,Callaghan, C., Kuhn, M.E. ve Bass,B.(1999).Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada. *CMHC*, s.11-32.
- Perez, G.,Rincon,L.,Vila,A.,Gonzalez,J.M.; Cabeza,L.F.(2011). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings, *Applied Energy*, S.88, s.4854-4859.
- Perez, G., Coma, J., Martorell,L, Cabeza, L.F.(2014). Vertical greenery systems(VGS) for energy saving in buildings:A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, S.39, s.139-165.
- Perez, G.,Coma,J.,Sol,S. ve Cabeza, L.F.(2017).Green facade for energy savings in buildings:The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect.*Applied Energy*,S.187,s.424-437.
- Perini, K.(2013). Cost -benefit analysis for green facades and living wall systems. *Building and Environment*, S.70, s.110-121.
- Peters, B. A. (2011). Groene gevels: Onderzoek naar de bouwfysische en bouwtechnische eigenschappen van verticaal groen,56.
- Razzaghmanesh, M. ve Razzaghmanesh, M.(2017). Thermal performance investigation of a living wall in a dry climate of Australi.*Building and Environment*, S.112,s. 45-62.
- Scharf, B., Pitha, U., & Oberarzbacher, S. (2016). Living walls: more than scenic beauties. In *IFLA World Congress Cape Town*. http://www.academia.edu/6649534/Living_Walls_more_than_scenic_beauties. Accessed (Vol. 24)
- Sternberg, T., Viles, H., Cathersides,A. (2011). Evaluating the role of ivy (*Hedera helix*) in moderating wall surface microclimates and contributing to the bioprotection of historic buildings. *Building and Environment*, S.46, s.293-297.
- Susorova, I., Angulo, M.,Bahrami,P., Stephens,B.(2013). A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance.*Building and Environment*, S.67, s.1-13.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü(2016).Köppen iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi. *Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü*, s.3-5.
- Vaezizadeh,F., Rashidisharifabad, S., ve Afhami,R.(2016). Investigating the cooling effect of living walls in the sunken courtyards of traditional houses in Yazd. *European Journal of Sustainable Development*, s.27-40.
- Victorero,F., Vera, S.,Waldo,B.,Tori,F.,Bonilla,C., Gironas,J.,Rojas,V.(2015). Experimental study of the thermal performance of living walls under semiarid climatic conditions. *6th International Building Physics Conference*, IBPC 2015, Energy Procedia 78, s.3416-3421.
- Yeh, Y.P.(2012).Green Wall-The Creative Solution in Response to the Urban Heat Island Effect. *National Chung-Hsing University*, s.5.