

# BITKİLENDİRİLMİŞ ÇATI SİSTEMLERİNDE GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ YAPI MALZEMESİ KULLANIMININ İRDELENMESİ

**Seda Erdem 1<sup>1</sup>**  
**Nihal Arıoğlu 2<sup>2</sup>**

**Konu Başlık No: 1 Çatı ve Cephe Sistemleri ve Bileşenleri**

## ÖZET

Her geçen gün artan nüfusa bağlı olarak kentlerde, yeşile ayrılan alanlar yerlerini, betonarme yapılara bırakmaktadır. Bunun sonucunda ise ekolojik dengeler bozulmaktadır. Bitkilendirilmiş çatı sistemleri, bu sorunun çözümünde sadece yapı ve doğa arasında ekolojik bir geçiş oluşturmasıyla değil, ayrıca, atık yağmur suyu miktarını azaltması, hava kirliliğini önlemesi, ses yalıtımı sağlaması ve enerji verimliliğine katkı sağlaması nedeniyle de önem kazanmıştır. Bununla birlikte bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde geri dönüştürülmüş yapı malzemelerinin tercih edilmesiyle, hammadde kullanımı azaltılmakta ve üretim sürecinde çevreye verilen zararlar en aza indirilmektedir. Böylece hem ekonomik hem de ekolojik yararlar sağlanmaktadır. Bu çalışmada, bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanılan geri dönüştürülmüş yapı malzemeleri literatür taramasıyla belirlenerek, bu malzemelerin özellikleri birbiriyle karşılaştırılmış ve çatıda kullanıma bağlı yarar ve sakıncaları belirli bir ayrıntıda irdelenmiştir.

## ANAHTAR KELİMELER

Bitkilendirilmiş Çatı Sistemleri, Geri Dönüştürülmüş Yapı Malzemesi.

## ABSTRACT

Areas allocated to green, give places to concrete structures due to the increasing population in cities. The ecological balances damages for this reason. Green roof systems became crucial in resolving this issue, not only with constituting an ecological transition between construction and nature, but also with reducing waste rain water, preventing air pollution, providing acoustic insulation and the contribution of energy efficiency. In addition, with the preference of recycled building materials in green roof systems, usage of raw materials and damages to the environment in the production process have been minimized. By this way, both economic and ecologic advantages have been gained. In this study, the recycled building materials used in green roof systems have been determined with reviewing the literature, and the properties of these materials have been compared with each other as their benefits and disadvantages due to their usages in roof.

## KEY WORDS

Green Roof Systems, Recycled Building Materials.

<sup>1</sup> Dr. Seda Erdem, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Taşkışla Kampüsü, 34437, Taksim-Şişli/İstanbul, Tel: +90(212) 293 13 00-2247, Faks: +90(212) 251 48 95, erdensed@itu.edu.tr.

<sup>2</sup> Prof. Dr. Nihal Arıoğlu, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Taşkışla Kampüsü, 34437, Taksim-Şişli/İstanbul, Tel: +90(212) 293 13 00-2249, Faks: +90(212) 251 48 95, arioglu@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Bitkilendirilmiş çatı sistemleri, bitkilendirme için uygun koşullara sahip çatılarda, bitki ve bitkinin yaşamasını sağlayan katmanlar ile alt sistemlerin bütünü olarak veya zemin katında bulunan bitkisel öğelerin ve alt sistemlerin, çatı alanlarına taşınması olarak tanımlanmaktadır [1]. Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin; çatıda toplanıp binadan uzaklaştırılan atık su kontrolünün sağlanması, mekân kazanımının sağlanması, enerji maliyetinin azaltılması, çevre gürültüsünün azaltılması, hayvanlar ve bitkiler için doğal ortamın sağlanması, yenileme maliyetinde düşüş, ısı yalıtımında artış sağlanması, kentin ısısal dengesine katkı sağlanması, geri dönüşümlü ürün kullanımının sağlanması... gibi çevresel ölçekte ve bina ölçeğinde pek çok yararı bulunmaktadır [2]. Günümüzde Japonya ve bazı Avrupa ülkeleri, imar yönetmeliklerinde yaptıkları düzenlemelerle bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin yapımını desteklemektedirler [3]. Bu çalışmada bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanılan geri dönüştürülmüş malzemeler belirlenerek, bu malzemelerin özellikleri, uygulama yöntemleri, çatıda kullanıma bağlı avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir.

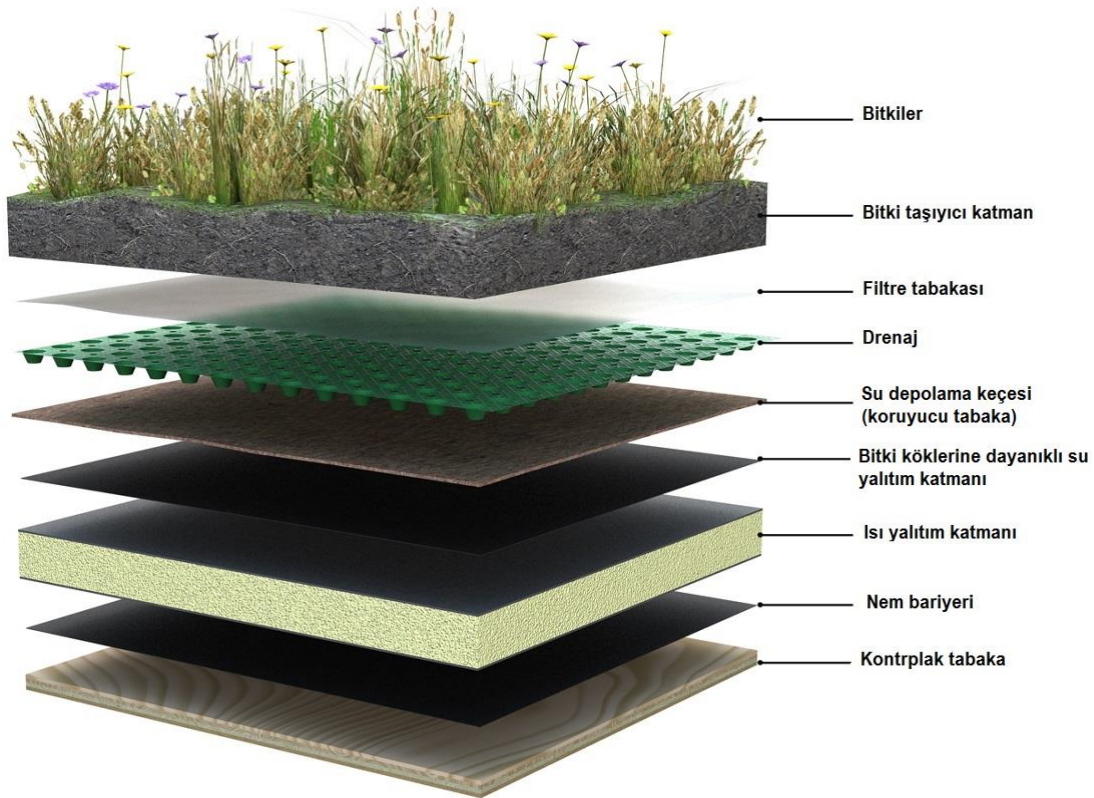
## 2. BİTKİLENDİRİLMİŞ ÇATI SİSTEMLERİ

Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin geçmişi milattan önceki zamanlara dayanmaktadır. Zemin seviyesinden yüksekte yer alan bahçelerin tarihteki ilk örnekleri, M.Ö. 4000’li yıllarda Sümerler, Babiller, Asurlar... gibi eski Mezopotamya uygarlıkları tarafından inşa edilmiş, ziggurat olarak adlandırılan tapınaklardır. Zigguratlar, büyük şehirlerdeki tapınakların içinde yer alan, piramit formunda, taş malzemeye inşa edilmiş, basamaklı yapılardır. Babil’in asma bahçeleri de yine tarihin bilinen en eski çatı bahçeleridir. Viking dönemine ait toprak korunaklı kulübeler, İrlanda ve İskoçya’da bulunmuştur. İzlanda ve İskandinavya’da ise M.S. 1000 yıllarında yapılmış çim kaplı çatıların varlığı belirlenmiştir. Kuzey Amerika ve Kanada’da 19. yüzyılda yeşil çatı uygulamalarının yapıldığı belirlenmiştir [4]. 20.yüzyılın başlarında, Le Corbusier, Frank Lloyd Wright tasarladıkları binaların düz çatılarını, kullanıcılar tarafından yararlanılan yüzeyler olarak tanımlamışlardır [5]. Günümüzde ise bitkilendirilmiş çatı uygulamaları oldukça yaygındır.

Çatıdaki yeşil uygulamalar; eko-çatı, yaşayan çatı, çatı bahçesi ve yeşil çatı kavramlarıyla tanımlanmakta olup, bütün bu kavramlar bitkilendirilmiş çatı sistemleri kapsamında incelenmektedir. *Eko-çatı* ve *yaşayan çatı sistemleri*, dinlenmesi, mevsimsel bir döngü ile ilişkilendirilmiş, yaşayan ve ekolojik bir durumun ifadesi olarak tanımlanmış, genellikle Amerika’da kullanılan sistemlerdir. *Çatı bahçesi*, genellikle rekreasyon, eğlence ve bina sakinleri için açık hava yaşam alanı olarak kullanılan, saksılar, bitkiler, yemek ve oturma grubu, pergola, ve çardak gibi dış mekân yapıları ve otomatik sulama ve aydınlatma sistemleri içeren mekânlardır. *Yeşil çatı* genel ifadeyle çatı yüzeyindeki her türlü yeşillendirmeyi ifade etmektedir [4]. *Yeşil çatı* önceden inşa edilmiş binanın üzerinde, hafif modüler sistemler kullanılarak uygulanan, doğal toprak ile direkt temas etmeyen, insan yapısı bahçe olarak tanımlanmaktadır [6]. Yeşil çatılar sık bitki dokulu veya seyrek bitki dokulu yeşillendirme şeklinde oluşturulurlar. *Sık bitki dokulu yeşillendirme sistemi*, bol toprak kullanılarak, bir veya daha fazla toprak katmanını içerecek şekilde tasarlanır. *Seyrek bitki dokulu yeşillendirmeler* ile ise hafif çatı bahçeleri elde edilir. Bu bahçe sistemlerinde çatıya verilen yük 100 kg/m<sup>2</sup>’yi geçmez [2].

Doğal alanlar, nüfus artışına bağlı olarak gelişen çarpık yapılaşmayla tahrip olmaktadır. İklim değişiklikleri; doğal bitki örtüsünün yerini beton kaplı yüzeylere bırakmasıyla, şehir geometrisinin bozularak yüzeylerin rüzgâr etkisinden yoksun kalmasıyla ve nüfus artışıyla birlikte fosil yakıt kullanımının artmasıyla oluşmaktadır. Bununla birlikte karanlık çatı üstleri ve kaldırımların, gün

içinde güneşten gelen enerjiyi yutup, gece yansıtmasıyla, kentsel alanlar ve açık alanlar arasında sıcaklık farkları oluşmaktadır. Kent alanlarındaki doğal vejetasyonun, kaldırımlar, binalar ve diğer yapılar ile yer değiştirmesi sonucu oluşan sıcaklık artışı olarak tanımlanan *kent ısı adası etkisi*, yaşamı olumsuz etkilemektedir. Bitkilendirilmiş çatıların bu bağlamda ekolojik, sosyal ve ekonomik pek çok faydaları bulunmaktadır. Bitkilendirilmiş çatılarda, bitkilerin yaptığı evapotransiyon (bitkinin terleme yoluyla atmosfere su buharı vermesi), gölgeleme ve bitki taşıyıcı katmanın ısı depolaması, ortamın sıcaklık artışını engellemektedir. Bitkilendirilmiş çatılar, kentsel alanda yok edilmiş bitki örtüsünün yerini alıp, farklı bitki türlerinin kentlere tekrar kazandırılmasını sağlayarak, habitat ve biyolojik çeşitliliğin korunmasını sağlar [4]. Düşük frekanslı seslerde, kusursuz bir ses yalıtımına sahip bitkilendirilmiş çatılar, klasik çatı sistemleriyle karşılaştırıldığında yüksek ses emicilik özelliğine sahiptir. Hava limanı, otoyol... gibi gürültü kirliliğinin yoğun olduğu alanlarda gürültü sorununun çözümünde avantaj sağlayan bitkilendirilmiş çatılar ayrıca ortamdaki toz partiküllerinin filtre edilmesiyle ve bitkilerin oksijen üretmesiyle ortamın hava kalitesinin artırılmasında çözüm teşkil etmektedir [7]. Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde, seçilen sistemin özelliklerine bağlı olarak, çatıdaki atık su miktarında, %90'a kadar tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca bitkilendirilmiş çatı sistemleri, ısı yalıtımında ve çatının ultraviyole ışınlarından korunmasında, klasik çatılardan daha etkili olup, hem ekonomik kazanç sağlarlar, hem de çatının ömrünü uzatırlar [2]. Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde, geri dönüşüm ürünlerinin kullanılmasıyla, yenilenemeyen fosil yakıt kaynakları korunmakta, enerji tüketimi, üretim maliyetleri ve toprağa gömülen atık malzeme miktarı, CO<sub>2</sub>, NO ve SO<sub>2</sub> gibi zehirli gazların emisyonları azaltılmakta, böylece ekonomik fayda sağlanmaktadır [8]. Bitkilendirilmiş çatı sistemleri yukarıda tanımlanmış yararların yanında bazı dezavantajlara da sahiptir. Diğer çatı sistemleriyle kıyaslandığında, bitkilendirilmiş çatıların ilk yatırım, bakım ve onarım maliyetleri yüksektir. Ayrıca bitkilendirilmiş çatılar tasarımcıya, iklimsel ve hava koşullarına bağlı bazı kısıtlamalar getirmektedir. Drenaj sistemlerinin yapımının zorluğu, bitkilendirilmiş çatıların yapıya getirdiği ek yapı yükleri ve kullanıcıların bitkilendirilmiş çatılarla ilgili bazı olumsuz görüşleri de bu olumsuzluklar içerisinde açıklanmaktadır [5]. Geri dönüşüm yapı malzemelerinin bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanılmaları, bu sorunların çözümünde kısmen başarı sağlamaktadır.



Şekil 1: Yeşil çatılardaki sistem katmanları [9]

Yeşil çatı sistemlerinde, sistemi oluşturan katmanlar; çatı konstrüksiyonu, nem tutucu, su yalıtımı ve kök tutucu tabaka (bitüm esaslı kök tutucu malzemeler aynı zamanda su yalıtım işlevi de görmektedir), mekanik etkilere koruyucu tabaka, drenaj ve filtre tabakası, bitki taşıyıcı tabaka ve bitkilerdir [7]. Şekil 1’de yeşil çatı sistem kesiti görülmektedir [9].

### **3. BİTKİLENDİRİLMİŞ ÇATI SİSTEMLERİNDE GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ YAPI MALZEMESİ KULLANIMININ İRDELENMESİ**

Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanılan yapı ürünlerinin, mekanik, fiziksel, kimyasal dayanım, yalıtım...gibi performans gereksinimlerini sağlarken, çevreye duyarlı olmaları da beklenmektedir. Malzemenin üretim ve kullanım süreçlerinde, enerji tüketiminin olabildiğince az olması, geri dönüştürülmüş veya yeniden kullanılabilir olması, uzun ömürlü olması, kullanım sürecinde onarılabilir olması da önemlidir [2]. Bitkilendirilmiş çatı sistemleri, çevresel faydaları sebebiyle günümüzde tercih edilen çatı sistemlerinden olmalarına rağmen, bu sistemlerin yüksek işçilik maliyetleri ve yüksek malzeme fiyatları diğer çatı sistemleriyle kıyaslandığında dezavantajları olarak görülmektedir [10]. Geri dönüşüm ürünleri, hammaddeden üretilmiş yapı ürünlerine kıyasla, ucuzluğu ve çeşitliliği ile alternatif olmaktadır. Ayrıca geri dönüşüm yapı malzemeleri, bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin yüksek maliyetlerinin azaltılmasında da etkili olmaktadır.

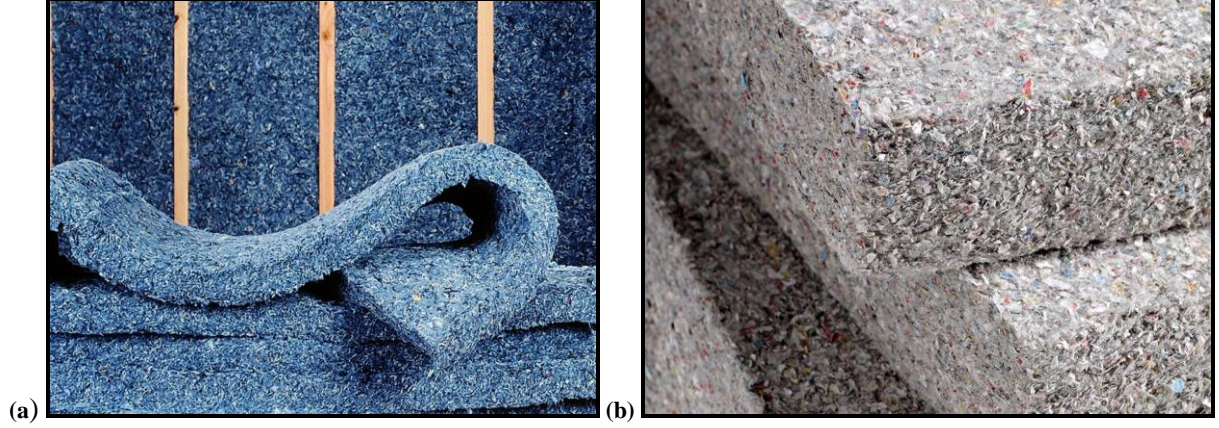
#### **3.1 Çatı Sisteminde Agregata Olarak Kullanılan Geri Dönüştürülmüş Yapı Malzemeleri**

Çevre ve Orman Bakanlığı, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği’ne göre yapısal atıklar; hafriyat toprağı, yol yıkıntı atıkları, yıkıntı atıkları ve karışık yıkıntı atıklarından oluşmaktadır. Bu atıkların bileşenlerini ise kum, çakıl, beton, kırılmış kiremit, alçı, ahşap, beton, plastik, seramik... vb. oluşturmaktadır. Yıkım atıklarının yarısından fazlasını ise beton, beton blok ve tuğla gibi betonarme atıklar oluşturmaktadır [11]. Döküm fazlası veya yapısal anlamda kullanılmayacak şekilde prizini almış beton, çatı bahçesi yer döşemesi uygulamaları için adım taşı üretiminde kullanılabilir. Yıkım sürecinde ortaya çıkan beton ve kiremit benzeri yapı malzemeleri ezilip, elekten geçirilerek mıcır ve agregata olarak yeniden beton imalatında kullanılabilir. Bu agregatlar, diğer taze agregalara kıyasla daha boşluklu yapıda olduklarından, beton karışımına katılmadan önce su ile iyice doyurulmalıdırlar. Donmaya karşı mukavemetleri ve doğal agregata olan ihtiyacı azaltmaları sebebiyle, bu agregatların bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanımları önerilmektedir [12].

Choi ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat (kısaca PET) şişelerinden ve fırın cürufundan agregata üretilmiş ve bu agreganın beton içinde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Doğal agreganın yoğunluğunun yaklaşık yarısı kadar olan geri dönüştürülmüş agregaların su emme değerlerinin de %0 olduğunu belirlemişlerdir. Bu agregatlarla üretilmiş betonun basınç dayanımının ise, doğal agregayla üretilmiş betonun basınç dayanımından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu agregatlar, hafif olmaları ve daha düşük maliyetli olmaları nedeniyle beton içinde diğer agregalara alternatif olarak önerilmiştir [13], [14].

### 3.2 Yalıtım Katmanında Kullanılan Geri Dönüştürülmüş Yapı Malzemeleri

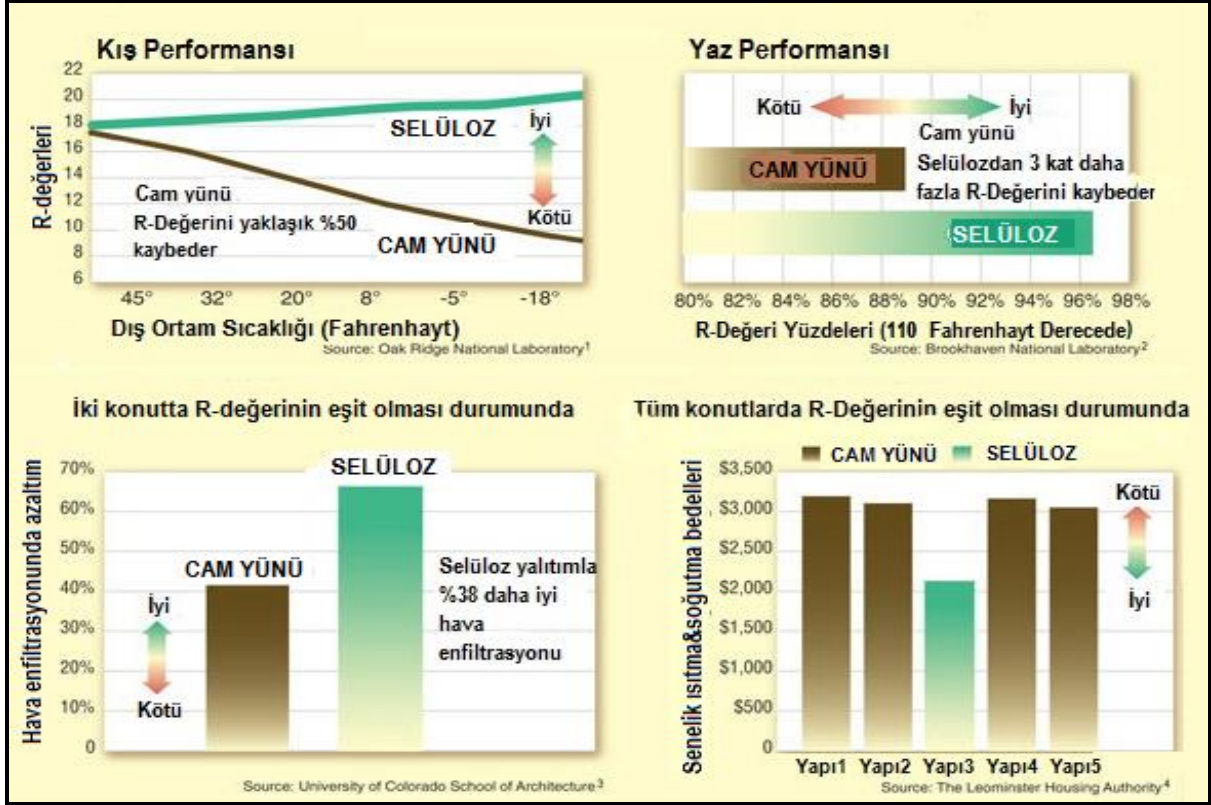
Mevsim şartlarına göre binanın ısı konforunu sağlamak, yapının zararlı boyutlarda ısı hareketlerini ve optimum şartlarda sıcaklık dengesini korumak amacıyla kullanılan ısı yalıtım malzemelerinden beklenen performans özellikleri; düşük ısı iletkenlik değerine sahip olması, yoğunluğunun az olması, yeterli çekme ve darbe dayanımına sahip olması, boyutsal kararlılık, kimyasal etmenlere dayanıklılık, yüksek ısı tutuculuk, su ve nemden etkilenmezlik ve düşük fiyatlı olmasıdır [15].



**Şekil 2-a:** Geri dönüştürülmüş denim ısı yalıtımı [16] **b:** Geri dönüştürülmüş kâğıt ısı yalıtımı [17].

Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin ekonomik açıdan sağladığı bir diğer yarar ise su yalıtım malzemesini oluşabilecek zararlardan, diğer çatı sistemlerine nazaran daha iyi koruması, böylece daha uzun süreli kullanıma imkân vermesidir. Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde, gölgeleme etkisi ve toprak katmanı, yalıtım malzemesini, UV ışınlarından ve sıcaklık değişimlerinden korumaktadır [3]. Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde ısı yalıtımında kullanılan, geri dönüşüm ürünlerinden bazıları; atık kotların geri dönüştürülmesiyle elde edilen yalıtım malzemeleri, atık kâğıtlardan elde edilen selülozik ısı yalıtım malzemeleri ve geri dönüştürülmüş cam yünü ısı yalıtım malzemeleridir. Şekil 2’de geri dönüştürülmüş denim ve selüloz ısı yalıtım malzemeleri görülmektedir [16], [17].

Geri dönüştürülmüş denim ısı yalıtım malzemeleri yaklaşık %85 oranında geri dönüştürülmüş ürün içermektedir. Ayrıca geri dönüştürülmüş denim ısı yalıtım malzemesi ömrünü tamamladığı zaman %100 yeniden geri dönüştürülebilmektedir [18]. Isı yalıtım konusunda oldukça iyi performans gösteren geri dönüştürülmüş denim ısı yalıtım malzemeleri, geri dönüştürülmüş cam yünü ısı yalıtım malzemelerinden daha yüksek R-değerine sahiptir (yaklaşık 4). Gürültü azaltım katsayısı değerleri de (kısaca NRC) geri dönüştürülmüş cam yünü ısı yalıtım malzemelerinden daha yüksektir. Örneğin 8,9 cm geri dönüştürülmüş cam yünü ısı yalıtım malzemesi için NRC değeri 0,90-0,95 iken geri dönüştürülmüş denim yalıtımı için NRC değeri 1,15’dir. Geri dönüştürülmüş denim, sadece ısı yalıtımı için değil aynı zamanda ses yalıtımı için de tercih edilmektedir [17], [18], [19]. Geri dönüştürülmüş denim ısı yalıtım malzemelerinin en önemli özellikleri; uçucu organik bileşikler (VOC) ve formaldehit içermemesidir. Bu nedenle bu yalıtım malzemelerinin, iç mekân hava kalitesine katkıları oldukça fazladır [18], [20]. Ayrıca yangın dayanımı olarak A sınıfında bulunan geri dönüştürülmüş denim ısı yalıtım malzemelerinin fiyatları, geri dönüştürülmüş selüloz ve cam yünü ısı yalıtım malzemelerinin fiyatlarından daha yüksektir [19], [20].



Şekil 3: Geri dönüştürülmüş selüloz ve geri dönüştürülmüş cam yünü ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerinin karşılaştırılması [21].

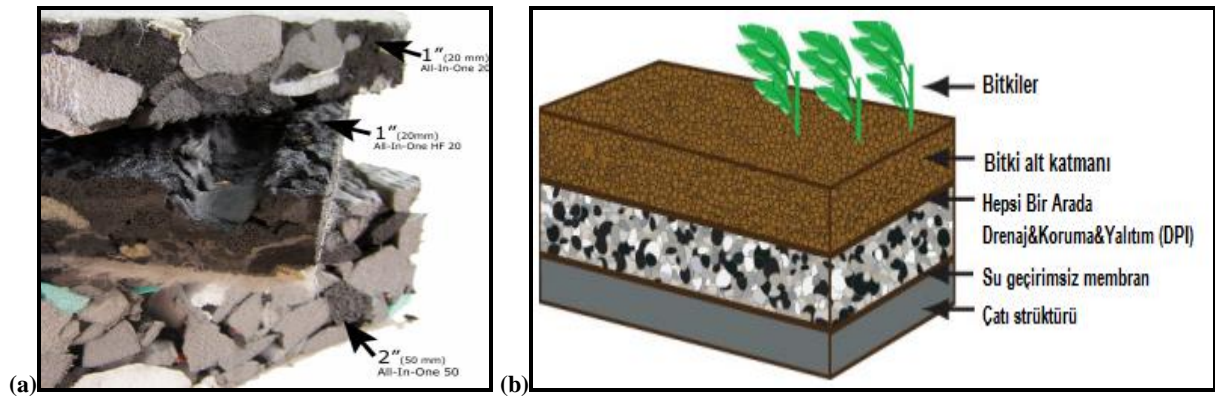
Geride dönüştürülmüş cam yünü ısı yalıtım malzemeleri hafif ve diğer yalıtım ürünlerine kıyasla daha ucuzdur. Paslanmaz, iyi bir ses yalıtıcı, yangın ve suya karşı dirençlidir. Geride dönüştürülmüş cam yünü ısı yalıtım malzemelerinin dezavantajları ise; oldukça zehirli olan formaldehit içermeleri ve montajının zor olmasıdır. Montaj sırasında, cam yünü parçacıklarının solunum yoluyla vücuda alınması, insan sağlığına zararlı olduğu için, cam yünü malzemeler ile çalışmak, dikkat gerektirmektedir [22]. Şekil 3'te geride dönüştürülmüş selüloz ve cam yünü kökenli ısı yalıtım malzemelerinin karşılaştırıldığı tablolar görülmektedir [21]. Atık kâğıtlardan geride dönüşüm ile elde edilmiş selülozik ısı yalıtım malzemeleri, yaz ve kış, ısı yalıtımında cam yünü yalıtım malzemelerinden daha iyi performans sergilemektedir. Ses yalıtımı konusunda da selülozik yalıtım malzemeleri, cam yünü yalıtım malzemelerinden, yaklaşık %10 daha iyi performans sergilemektedir [21]. Geride dönüştürülmüş selülozik yalıtımlar ile aynı ebatlarda ve aynı R-değerine sahip cam yününden üretilmiş yalıtımlar 7 kat, polistren yalıtım malzemeleri ise 30 kat daha fazla üretim enerjisi harcamakta ve neredeyse sıfır gaz emisyonu yapmaktadırlar [23]. Yangın dayanımı da oldukça iyi olan geride dönüştürülmüş selülozik ısı yalıtımları, bitkilendirilmiş çatılarda tercih edilmektedir. Ayrıca hem geride dönüştürülmüş denim, hem de geride dönüştürülmüş selülozik yalıtım malzemelerinin montajı kolaydır.

### 3.1 Filtre ve Drenaj Katmanlarında Kullanılan Geride Dönüştürülmüş Yapı Malzemeleri

Üst katmanlardan gelen ve filtre katmanı tarafından süzülen suyun bir kısmının bitkilerin su ihtiyacını karşılamak üzere depolanması, fazlasının ise binadan uzaklaştırılması için drenaj katmanının bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanılması gerekmektedir [1], [2]. Drenaj malzeme seçiminde,

ulaşım ve montaj kolaylığı, yüksek dayanım, durabilite ve düşük maliyetler önem kazanmaktadır. Drenaj malzemelerinin biçimleri, seçilen bitkilendirilmiş çatı sistemine ve iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Geri dönüştürülmüş polietilen (PE), polipropilen (PP), kauçuk... gibi polimer esaslı, kiremit kırıkları, mıcır, çakıl, puzolan... gibi agrega esaslı, dokulu, non-woven kumaş altlık, kabartmalı levhalar (PE, kauçuk) ve köpük (PE... vs.) drenaj malzemeleri bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanılmaktadır [1], [24].

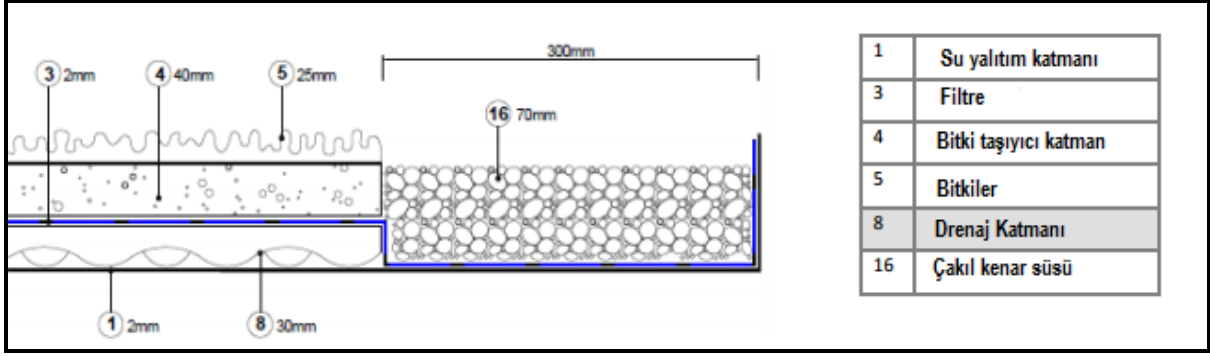
Filtre, drenaj ve yalıtım katmanlarının bir arada olduğu çapraz bağlı, gözenekli, geri dönüştürülmüş PE köpükler kirlenmemiş, sanayi atıklarından üretilmiş, bitkilendirilmiş çatı sistemleri için alternatif yapı malzemelerindendir. Şekil 4-a'da geri dönüştürülmüş PE köpük ve geri dönüştürülmüş poliüretan (PUR) köpük drenaj malzemeleri, Şekil 4-b'de ise bu sistemlere ait sistem kesiti görülmektedir.



Şekil 4-a: Geri dönüştürülmüş PE köpük ve b: sistem kesiti [25].

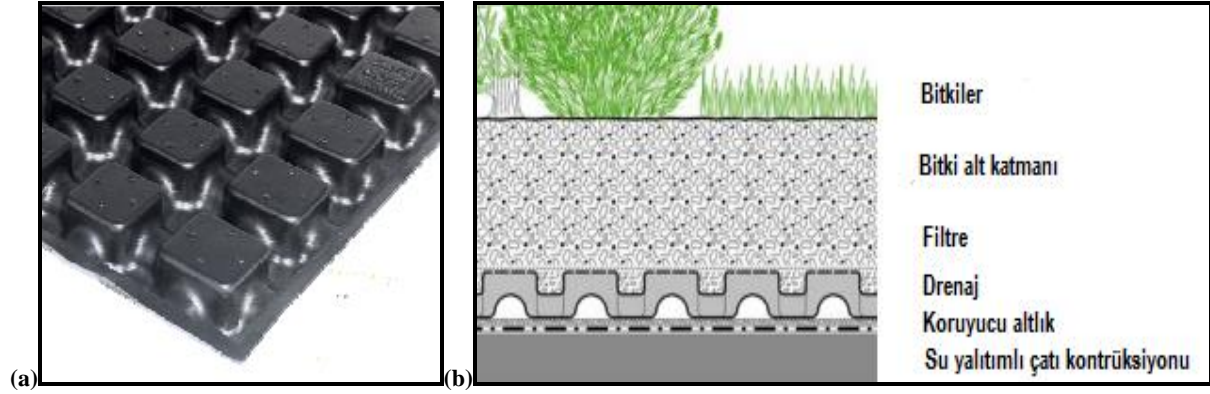
Hepsi-bir-arada sistemlerin bitkilendirilmiş çatı sistemlerine sağladığı pek çok fayda bulunmaktadır. %95 geri dönüşüm ürünlerinden üretilen, hafif ve kullanımı kolay PE köpükler, mükemmel drenaj malzemeleri olmalarının yanı sıra, yalıtım için gerekli R-değerini, oldukça uygun fiyatla sağlamakta, sistemi vibrasyon ve darbelere karşı korumaktadır. Ezilmelere ve kimyasallara karşı dayanıklılık, 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda özelliklerini muhafaza etmek, bir miktar suyu bünyesinde tutarak, bitki gelişimini sağlamak, gaz emisyonu yapmamak, su ve kimyasallar karşısında bozulma, küflenme ve çürüme görülmemesi, geri dönüştürülmüş PE köpük drenaj malzemelerinin diğer özelliklerindendir [25]. Bitkilendirilmiş çatılarda, bitki taşıyıcı katmanı ve drenaj katmanı malzemeleri, yağış miktarına bağlı olarak çatıda tutulacak su miktarını, dolayısıyla çatı sistemine gelecek yük miktarını belirlemektedir. Bu nedenle, özellikle yoğun bitkilendirilmiş çatılarda, drenaj ve bitki taşıyıcı katmanların çatı sistemine ek yük getirmemeleri adına, bu katmandaki malzemelerin daha hafif malzemelerden seçilmesi önerilmektedir [26].

Geri dönüştürülmüş PE köpüklerin yerine poliüretan (PUR) köpükler de kullanılabilir. Şekil 5'te geri dönüştürülmüş PUR drenaj sistemi ve bitkilendirilmiş çatı sistem kesiti görülmektedir. Geri dönüştürülmüş PUR köpükler hafif ve kolay monte edilebilen, uzun süreli kullanımlar için uygun, kurak dönemlerde bünyesinde nem barındıran drenaj sistemi malzemeleridir. PUR malzemelerin genel olarak diğer polimer malzemelere göre daha pahalı olması, bu köpüklerin dezavantajları arasındadır.



Şekil 5: Drenaj, koruma ve yalıtım katmanlarının bir arada olduğu geri dönüştürülmüş poliüretan drenaj ve bitkilendirilmiş çatı sistem kesiti [27].

Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde, drenaj ve havalandırma katmanı olarak kullanılan bir diğer geri dönüştürülmüş polimer malzemesi akrilonitril bütadien stirendir (kısaca ABS). Geri dönüştürülmüş ABS drenaj malzemeleri, kabartmalı levha şeklinde üretilmekte, özellikle yüksek su tutuculuk sağlamakta, difüzyon ve kapiler sulamada iyi performans göstermekte, hafiflik, mekanik gerilmelere karşı yüksek dayanıklılık göstermekte, temeller ve araba yollarının altında kalıp olarak da kullanılabilir [28]. Şekil 6'da geri dönüştürülmüş ABS drenaj malzemesi ve bu drenaj malzemesinin kullanıldığı sistem kesiti görülmektedir.



Şekil 6 a: Geri dönüştürülmüş ABS drenaj katmanı b: Bitkilendirilmiş çatı sistem kesiti örneği [28]



Şekil 7: Atık lastiklerden elde edilmiş kauçuk agrega parçacıkları ve bitkilendirilmiş çatı sistemi [29]



Rincón ve arkadaşları çalışmalarında, yoğun bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanılmak üzere, drenaj katmanı için, atık lastiklerden elde edilmiş kauçuk agrega üreterek bu agreganın özelliklerini incelemişlerdir. Şekil 7’de atık tekerleklerden elde edilmiş kauçuk agrega parçacıkları ve bu agrega kullanılarak yapılmış bitkilendirilmiş çatı sistemi görülmektedir. Bu çalışmanın sonucunda atık lastiklerden elde edilmiş agregaların kullanıldığı bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin, LCA etki değerlerinin, drenaj katmanında puzolan agregaları kullanılarak tasarlanmış bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin LCA etki değerlerinden ve agregasız drenaj sistemine sahip bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin LCA etki değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ısı yalıtımında çatı sistemini destekleyen geri dönüştürülmüş kauçuk agregalar, enerji tüketiminde yaklaşık % 9 kazanç sağlanmasına sebep olmuşlardır. [29].

### 3.1 Bitki Taşıyıcı Katmanda Kullanılan Geri Dönüştürülmüş Yapı Malzemeleri

Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanılan bitkinin gelişmesine ve hayatta kalmasına imkân sağlayan katman, bitki taşıyıcı katmandır. Bitki alt katmanının, hafif, suyu yeterince iyi çekmesi, nem, sıcaklık ve rüzgâr etkilerine karşı dayanıklı olması ve asgari bakımla uzun süre dayanıklı olması beklenmektedir [30]. Bitki taşıyıcı katman, boşluklu yapısı nedeniyle yaz aylarında ısıyı bina iç ortamına daha az geçirmekle, kış aylarında ise iç ortamdan dış ortama ısı geçişini engellemekle enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bitki taşıyıcı katmanda, toprak karışımları, agrega karışımları, inorganik köpük ve lifli levhalar kullanılabilir [1]. Molineux ve arkadaşları çalışmalarında, bitki taşıyıcı katmanda, inorganik geri dönüşüm ürünleri kullanarak, bu malzemelerin bitki çeşitliliğine etkilerini incelemişlerdir. Kırmızı kiremit ve kil agregaların birlikte kullanıldığı bitki taşıyıcı katmanın, bitki çeşitliliği için en uygun ortamı sağladığını belirtmişlerdir. Tuğla kırıkları nem tutucu olmaları nedeniyle özellikle kurak dönemlerde, bitkilerin ihtiyacı olan suyu karşılamaktadır. Ayrıca bitki taşıyıcı katmanın kalınlığının da bitki çeşitliliği üzerinde olumlu etkisi olduğu da belirtilmiştir [31].

Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde bitkiler için altlık veya ayırıcı bölümler yaratmak amacıyla da geri dönüşüm ve atık ürünler kullanılmaktadır. Şekil 8-a’da çatı bahçesi için geri dönüştürülmüş ahşap ve plastik kompozitlerden (kısaca WPC olarak tanımlanmaktadır) yapılmış çiçeklikler ve Şekil 8-b’de kiremit atıklarından yapılmış çiçeklik görülmektedir [32], [33]. WPC kompozitler çatıda; yer kaplaması, korkuluk, bank, pergola, masa, çiçek saksıları... vb. olarak kullanılmaktadır. WPC kompozitler, ahşaptan daha uzun ömürlü, dış atmosfer koşullarına ve UV ışınlarına dayanıklı, çürümeye, yosuna ve böceklere dayanıklı, kolay temizlenir malzemeler olmalarına rağmen, ahşaba kıyasla daha düşük mekanik dayanıma sahiptir [34].



Şekil 8-a: Geri dönüştürülmüş ahşap & plastik kompozitten (WPC) üretilmiş çiçeklik ve yer döşemesi  
b: Atık kiremitler kullanılarak yapılmış çiçeklik [32], [33].

#### 4. SONUÇLAR

Bitkilendirilmiş çatı sistemleri pek çok ekolojik, ekonomik ve sosyal fayda sağlamaktadır. Bu faydalardan bazıları; habitat ve biyolojik çeşitliliğin korunması, kentlerdeki ısı adası etkisinin düzeltilmesi, gürültü etkisinin azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesi, enerji verimliliğinin sağlanması, çatı ömrünün uzaması ve kamusal alan yaratılmasıdır. Bununla birlikte bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde kullanılan geri dönüştürülmüş yapı malzemeleri, düşük enerji tüketimi, atıkların kullanıma yeniden kazandırılmaları, düşük maliyet, düşük LCA etki değerlerine sahip olmak, kullanıcı isteklerini ve yapı malzemesinden beklenen performans kriterlerini yeterli düzeyde sağlamak... gibi sebeplerle, hammaddeden üretilmiş yapı malzemelerinin yerine tercih edilmektedirler. Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde geri dönüştürülmüş yapı malzemelerinin kullanımı, teknolojik ilerlemelere bağlı olarak artacaktır diye öngörülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Tokaç, T. (2009). *Bitkilendirilmiş Çatı Sistemleri İçin Tasarım Seçeneklerinin Geliştirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ.
- [2] Uçurum, E. (2007). *Sürdürülebilirlikte Ekolojik Çatının İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ.
- [3] Kalkan, C. (2012) *Deprem Bölgelerindeki Betonarme Binalarda Bitkilendirilmiş Çatı Sisteminin Yapı Davranışına Etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ.
- [4] Tohum, N. (2011). *Sürdürülebilir Peyzaj Tasarım Aracı Olarak “Yeşil Çatılar”*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ.
- [5] Özdemir, E., Altun, M., C. (2010). Bitkilendirilmiş Çatı Sistemi Tasarımı İçin Bir Kontrol Listesi Önerisi, 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, İzmir, 15 -16 Nisan.
- [6] Ozarisoy, B. (2013). *Reviewing Green Roof Design Approaches: Case Study of Residential Buildings*, (Yüksek Lisans Tezi), Doğu Akdeniz Üniversitesi, Kıbrıs.
- [7] Gemi, A., M. (2010). Çevre Dostu Çatılara Örnek Uygulamalı Bir Yaklaşım, 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu* İzmir, 15 -16 Nisan.
- [8] Erdem, S. (2013). *Geri Dönüştürülmüş PET Liği-Alçı Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesi*, (Doktora Tezi), İTÜ.
- [9] <http://baybridgehouse.org/tag/green-roof/>
- [10] Bianchini, F., Hewage, K. (2012). How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials, *Building and Environment*, 48, 57-65.
- [11] Topal, S. (2009). *Yapısal Atıkların Geri Dönüşüm Potansiyellerinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- [12] Bozbei, H. (2006). *İnşaat Atıkları ve Hafriyat Toprağının Ekonomiye Geri Kazandırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ.
- [13] Choi, Y. W., Moon, D. J., Chung, J. S. and Cho, S. K. (2005). Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete, *Cement and Concrete Research*, 35, 776–781.
- [14] Choi, Y. W., Moon, D. J., Kim, Y. J. and Lachemi, M. (2009). Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles, *Construction and Building Materials*, 23, 2829–2835.
- [15] Erdem, S. (2008). *Çatıda Kullanılan Polimer Kökenli Levhaların Karşılaştırmalı Analizi*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ.
- [16] <http://www.ecouterre.com/7-unexpected-ways-to-recycle-old-denim-jeans/bonded-logic-recycled-denim-insulation/>
- [17] <http://bpmsselect.com/search.html?keyword=acoustical-sound-curtains>
- [18] <http://www.hgtv.com/remodel/mechanical-systems/the-benefits-of-recycled-denim-insulation>

- [19] <http://thecraftsmanblog.com/all-about-insulation/>
- [20] <http://home.howstuffworks.com/denim-insulation3.htm>
- [21] <http://www.metronyinsulation.com/cellulose/comfort/>
- [22] <http://recyclenation.com/2014/09/recycle-fiberglass>
- [23] <http://www.assuredinsulating.com/services/cellulose.htm>
- [24] **Hegger, M., Auch-Schwelk, Funchs, M., Rosenkranz, T.** (2006). Construction Materials Manual, Birkhäuser-Publishers for Architecture, Münih.
- [25] [www.3rfoam.com](http://www.3rfoam.com)
- [26] <http://www.assuredinsulating.com/services/cellulose.htm>
- [27] <http://www.grey2green.co.uk/e.html>
- [28] [www.zinco.dk/](http://www.zinco.dk/)
- [29] **Rincón, L., Coma, J., Pérez, G., Castel, A., Boer, D., Cabeza, L., F.** (2014). Environmental performance of recycled rubber as drainage layer in extensive green roofs. A comparative Life Cycle Assessment, *Building and Environment*, 74, 22-30.
- [30] [www.organicrecycling.org.uk/uploads/article1836/Using%20PAS%20100%20compost%20on%20Green%20Roofs.pdf](http://www.organicrecycling.org.uk/uploads/article1836/Using%20PAS%20100%20compost%20on%20Green%20Roofs.pdf)
- [31] **Molineux, C., J., Gange, A., C., Connop, S., P., Newport, D., J.**, (2015). Using recycled aggregates in green roof substrates for plant diversity, *Ecological Engineering*, 82, 596-604.
- [32] [www.popcity.net/modular-urban-rooftop-farm-uses-only-recycled-materials/](http://www.popcity.net/modular-urban-rooftop-farm-uses-only-recycled-materials/)
- [33] [http://www.huaxiajie.com/chinadecorative\\_wood\\_plastic\\_composite\\_wpc\\_flower\\_box\\_in\\_garden-3811225.html](http://www.huaxiajie.com/chinadecorative_wood_plastic_composite_wpc_flower_box_in_garden-3811225.html)
- [34] **Taylan, S., Özgünler, S., A.** (2015). A study on the usage of recycled polymer composites in buildings, *GreenAge Symposium*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, 15-17 Nisan.