

## YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİNDE YETİŞTİRME ORTAMI DERİNLİĞİNİN YÜZEYSEL AKIŞA OLAN ETKİLERİ

Mert EKŞİ\*\* Adnan UZUN\*

\*İstanbul Üniversitesi-CerrahpaŐa, Orman Fakóltesi, Peyzaj Mimarlığı Bólümü İSTANBUL

\*\*IŐık Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakóltesi, İç Mimarlık ve evre Tasarımı Bólümü İSTANBUL

\*merteksi@istanbul.edu.tr

**Özet:** Günümüzde dünyada yaŐanan sosyal, kültürel ve ekonomik değişimler sonucunda kentlere olan yönelim artmış ve kentleşme süreci hızlanmıştır. Kentleşme, fiziksel çevrede büyük miktarda geçirimsiz yüzeylerin ortaya çıkmasına ve suyun doğal döngüsünün bozularak yüzeysel akışa dönüşmesine neden olmaktadır. Bu kapsamda yeşil ati sistemleri, kentleşmiş alanlarda su yönetimi amaçlı geliştirilen yeşil altyapı çözümleri içerisinde önemli bileşenlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Yeşil ati sistemlerinin yüzeysel akış yönetimine olan katkıları çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda üç farklı derinlikte (4, 7, 10 cm) iki farklı yetiştirme ortamı karıŐımının su tutma ve su tahliye özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışma sırasında, ticari bir yetiştirme ortamı (tuğla kırığı % 45, ponza %45 ve organik madde % 10) ve % 90 oranında kaba taneli ponza (10-20 mm) ile % 10 oranında evsel atık kompostu karıŐımı kullanılmıştır. Bu yetiştirme ortamlarına, Marmara bölgesi (A2) karesinde doğal yayılışa sahip 4 bitki türü (*Achillea millefolium* L., *Armeria maritima* Willd., *Sedum acre* L., *Sedum album* L.) dikilmiştir. Açık alan koşullarında 27 haftalık bir süre boyunca yapılan bu çalışma sonucunda yeşil ati sistemlerinin su tutma ve akış özellikleri, bitki büyüme düzeyleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda yetiştirme ortamı derinliği ile yüzeysel akış miktarı arasında ters bir orantı tespit edilmiş, bu durum bitki gelişimine de olumlu yönde etki etmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil ati sistemleri, yetiştirme ortamı, yüzeysel akış, su yönetimi, İstanbul

### THE EFFECT OF SUBSTRATE DEPTH ON STORMWATER RUNOFF IN GREEN ROOF SYSTEMS

**Abstract:** Due to cultural and economic changes in the world today, the tendency towards cities has increased and this caused higher urbanization rate. Due to urbanization, large amounts of impermeable surfaces emerge in the physical environment, which causes an increase in runoff by disruption of the natural cycle of water. In this context, green roof systems are considered as an important component in green infrastructure solutions, which developed for water management in urbanized areas. Determining the runoff characteristics of green roof systems is important for future green infrastructure works. Therefore, influence of green roof systems on runoff management have been evaluated within the scope of the study. In this context, water retention and runoff properties of two different substrate mixtures at three different depths (4, 7 and 10 cm) were evaluated. A commercial substrate (crushed bricks 45 %, pumice 45 % and organic matter 10 %) and a mixture of 90 % coarse grained pumice (10-20 mm) and 10% domestic waste compost were used during the study. Four native plant species (*Achillea millefolium*, *Armeria maritima*, *Sedum acre* and *Sedum album*) were planted on experimental setup. As a result of this study that was conducted in open field conditions over a period of 27 weeks, water retention and runoff characteristics of green roof systems were evaluated along with plant growth levels in Istanbul climate. It was concluded that there was a reverse relationship between substrate depth and runoff, which had a positive effect on the plant growth.

**Keywords:** Green roof systems, substrates, stormwater runoff, runoff management, Istanbul

## 1. Giriş

Dünyada kentleşme süreci son 30 yılda hız kazanmıştır. Ortaya çıkan bu değişim, insan yaşamında sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan birçok değişikliğe yol açmaktadır. Aynı zamanda bu durum çevreyi de çoğunlukla olumsuz yönde biçimlendirmektedir. Bunun sonucunda ise büyük miktarda geçirimsiz yüzeyler ortaya çıkmaktadır.

Kentleşme, yüzeysel akış (Wang ve ark. 2001; Dietz ve Clausen 2008), kentsel ısı adası etkisi (Kato ve Yamaguchi 2005; Yuan ve Bauer 2007) ve canlı çeşitliliğinin azalması (McKinney, 2002; Miller ve ark. 2014) gibi başlıca sorunları beraberinde getirmektedir. Ortaya çıkan bu olumsuz etkiler, kentlerin daha yaşanabilir ve doğaya uyumlu bir yapıya kavuşturulmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu kapsamda yeşil çatı sistemleri fiziksel çevre içerisindeki olumlu etkileri nedeniyle yeşil altyapı çalışmalarının önemli bir bileşeni haline dönüşmüştür. 1960'lı yıllarda Kuzey Avrupa'da ticari olarak yaygınlık kazanmaya başlamış olan bu sistemler, günümüzde kentlerin vazgeçilmez bir unsurudur.

Yeşil çatı sistemlerinin çatı üzerine gelen yağışı % 40-80 arasında tutabilme potansiyeli bulunmaktadır (VanWoert ve ark. 2005; Berndtsson ve ark. 2006; Dunnett ve ark. 2008; Ekşi 2013; Ekşi ve Uzun 2016). Ancak bu durum iklimsel özelliklere ve çatının yapısal sistemine bağılı olarak değişim gösterebilmektedir (Fioretti ve ark. 2010). Son yıllardaki uluslararası araştırmalar incelendiğinde, bu sistemlerin buldukları bölgelere uyumlu hale getirmek amacıyla yoğun bir emek harcadığı görülmektedir. Ilıman iklim kuşağı ile subtropikal (savan) iklim kuşağı arasında yer alan Türkiye, coğrafi konumu ve morfolojik özelliklerinden dolayı çeşitlilik gösteren bir iklim sistemine ve zengin bir bitki örtüsüne sahiptir. Ülkemizin bu sistemlerin geliştirildiğı Kuzey Avrupa ülkelerine göre daha farklı iklim koşullarına sahip olduğu dikkate alındığında, bu sistemlerin yerleştirilmesi ile ilgili araştırmalar önem taşımaktadır.

Bu kapsamda, yeşil çatı sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bitki türlerinin yetirme ortamı derinliğiyle ilişkileri İstanbul iklim şartlarında tespit edilmesi ve yetiştirme ortamı derinliğinin bitki gelişimin ve su tutma kapasitesine olan etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

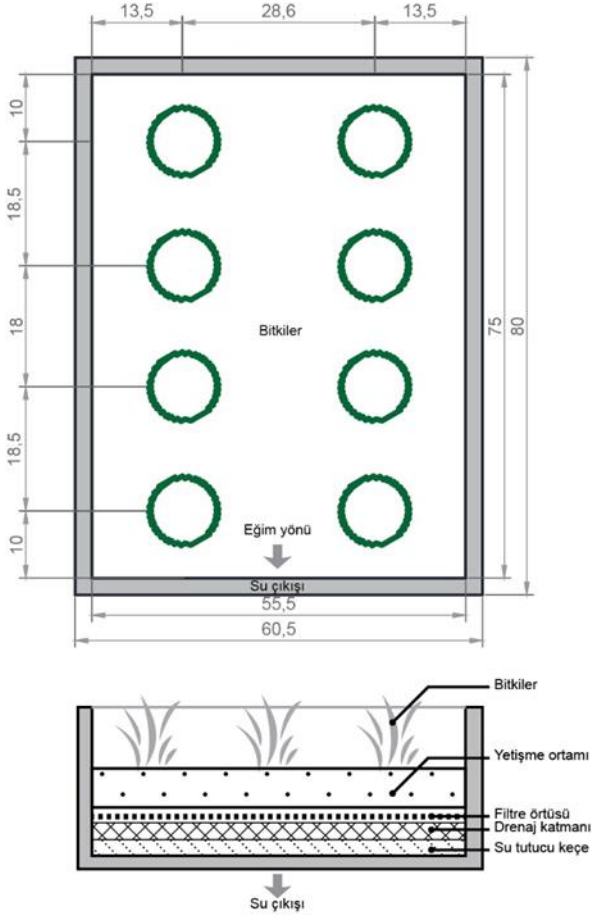
Gerçekleştirilen çalışma, İÜC Orman Fakültesi yerleşkesinde yer alan Yeşil Çatı Araştırma

Projesi Gözlem İstasyonu (İÜYAP) alanında, 28 Nisan - 14 Ekim 2015 tarihlerini kapsayan 27 haftalık dönemde gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sırasında oluşturulan deneme deseni, küçük ölçekli yapay bitki toplulukları (Dunnett ve ark. 2008) olarak tasarlanmış ve 2 farklı yetiştirme ortamının 3 farklı derinlikte (4,7,10 cm) hazırlanması ve 3 kez tekrar edilerek desen içerisine rastgele olarak dağıtılması ile oluşturulmuştur. Bu deney deseni içerisinde Marmara bölgesi iklim koşullarında doğal yayılışa sahip 4 bitki türü (*Achillea millefolium*, *Armeria maritima*, *Sedum album* ve *Sedum acre*) dikilmiştir. Her bir deney kutusu içerisine (iç ölçüleri 55 x 75 cm), 12 adet bitki türü, her bir türden 3 adet olmak üzere eşit aralıklarda ve rastgele biçimde dikilmiştir. Deney deseni içerisindeki bitkiler, dikimin yapıldığı gün ve bu günü takip eden 15 gün boyunca sulama ve bakım işlemlerine tabi tutulmuş, sonraki dönemlerde ise herhangi bir işlem gerçekleştirilmemiştir. Dikimin yapıldığı gün her bir deney kutusuna yavaş eriyen gübre (Osmocote Exact, 15+9+11+2MgO+TE, 11 gr/m<sup>2</sup> oranında) eklentisi yapılmıştır.

Yetiştirme ortamı karışımları, mineral madde (hacmen en fazla % 90) ile organik madde (hacmen en fazla % 10) karışımından oluşmaktadır. Çalışmada ticari yetiştirme ortamı (T) % 45 tuğla kırığı, % 45 ponza ve % 10 oranında organik madde karışımından oluşan bir karışımdır (en yüksek su tutma değeri % 43,49; birim hacim ağırlık 812,90 g/l; azot içeriğı 73,23 mg/l) (Ekşi ve Rowe 2019). Diğer yetiştirme ortamı (P) ise, sahada hazırlanan ve % 90 oranında kaba taneli ponza (10-20 mm) ile % 10 oranında komposttan oluşan bir karışımdır (en yüksek su tutma değeri % 79,32; birim hacim ağırlık 458,26 g/l; azot içeriğı 21,31 mg/l) (Ekşi ve Rowe, 2019). Karışım içerisinde yer alan kompost, İSTAÇ (İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.) kompost tesisinde İstanbul genelinde elde edilen çöp ve atıklardan elde edilmektedir. Tüm karışımlar eşit biçimde karıştırılarak, kutulara dağıtılmıştır (Şekil 1).

Çalışma sırasında, hava koşulları (hava sıcaklığı, bağılı nem, rüzgar hızı ve yönü, güneş ışınımı) ölçümleri, Yeşil Çatı Araştırma Projesi Gözlem İstasyonu çatısına yerleştirilen 200 cm yüksekliğindeki paslanmaz çelik meteoroloji direğı üzerine yerleştirilen meteoroloji istasyonu (DeltaOhm, HD2003 Üç Eksenli Ultrasonik Anemometre, Delta OHM S.r.L., Padova/İtalya, hava sıcaklığı için ölçüm hassasiyeti  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ; bağılı nem için ölçüm hassasiyeti  $\pm \%2.5$ ; rüzgar hızı için ölçüm



Şekil 1: Deney kutularında bitki dikim deseni ve yapısal katmanlar

hassasiyeti  $\pm$  %1; rüzgar yönü için ölçüm hassasiyeti  $\pm$  1° ile gerçekleştirilmiştir. Yağış ölçümleri ise, yapı üzerinde bulunan devrilen kovalı yağışölçer (DeltaOhm, HD2013 Devrilen Kovalı Yağışölçer, Delta OHM S.r.L., Padova/İtalya, ölçüm hassasiyeti  $\pm$  % 2) yardımıyla kaydedilmiştir. Saatlik olarak kaydedilen veri seti, her ayın sonunda yapı içerisinde bulunan veri kayıt sisteminden kaydedilerek ihtiyaca göre günlük, haftalık ve aylık ortalamaların hesaplaması ile analiz edilmiştir.

Bitkilerin büyüme özellikleri, bitki büyüme endeksi değerleri hesaplanarak (boyutları 90 derecelik açıda iki yönlü en ölçümleri ile boy ölçümünün aritmetik ortalaması) kaydedilmiştir (Monterusso ve ark. 2005; Nagase ve Dunnett 2010; Rowe ve ark. 2014). Yetiştirme ortamlarının nem miktarı ise, toprak nem sensörü (ML2x; Delta-T Devices, Ltd., Cambridge, UK) ile her bir kutudan alınan ölçümler yardımıyla kaydedilmiştir. Ölçümler, 1-3 haftalık aralıklarla gerçekleştirilmiştir.

Çalışma döneminde, rastgele seçilen yağışlı günlerde, yetiştirme ortamlarından tahliye edilen su miktarı ölçülmüştür. Bunu gerçekleştirebilmek amacıyla, her bir deney kutusu %1 eğime sahip olacak şekilde tezgahlar üzerine yerleştirilmiş, eğimin olduğu bölümün tam orta noktasından drenaj katmanına denk gelecek biçimde 1,5 cm genişliğinde bir tahliye deliği açılmıştır. Tahliye noktasına metal bir rekor yerleştirilerek, bu rekora bağlanan plastik hortum, ölçekli su haznelerine yönlendirilmiştir. Yağış sırasında, her bir su haznesi kontrol edilerek, deney kutularından tahliye edilen su miktarı ölçülmüştür.

Çalışma sonucunda deney desenleri arasındaki anlamlı farklar ya da ilişkiler Varyans analizi – Fisher en küçük anlamlı fark analiz testi yardımıyla değerlendirilmiştir (Little ve Hills 1977; Boussetot ve ark. 2011; Butler ve Oriens, 2011). Çalışmada gerçekleştirilen istatistiksel analizlerde Minitab®16.2.2 (Minitab Inc., State College, PA) yazılımı kullanılmış, elde edilen veri setinin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov–Smirnov testi (Minitab Inc., State College, PA) yardımıyla denetlenmiştir.

### 3. Bulgular

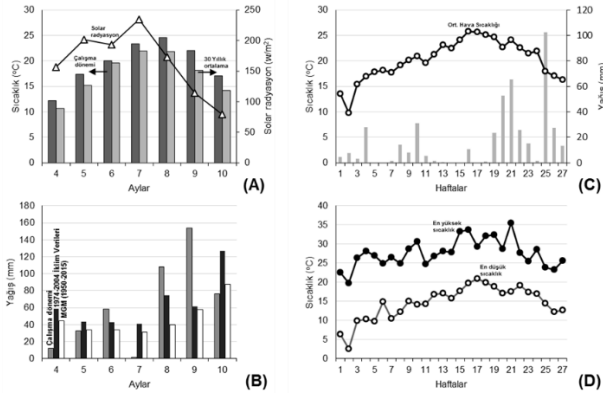
#### 3.1. Hava Koşulları

Çalışma dönemini kapsayan 27 haftalık dönemde (28 Nisan 2015 – 14 Ekim 2015) ortalama hava sıcaklığı 20,47°C, toplam yağış miktarı 442,5 mm, ortalama güneş ışınım (solar radyasyon) değeri ise 173,48 w/m<sup>2</sup> olarak kaydedilmiştir. Bahçeköy meteoroloji istasyonundan elde edilen ve 1974 – 2004 yıllarını kapsayan 30 yıllık ölçümlerle çalışma sırasında ölçülen hava sıcaklığı değerleri karşılaştırıldığında, çalışma dönemindeki hava sıcaklığının 30 yıllık ölçümlere göre 0,5-3,3 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek fark ise Ağustos ayındaki hava sıcaklığı ölçümlerinde tespit edilmiştir. Çalışma döneminde en düşük günlük ortalama sıcaklık 22 Nisan 2015 tarihinde 6,3 °C olarak ölçülmüş, en yüksek günlük ortalama sıcaklık ise 28 Temmuz 2015 tarihinde 27 °C olarak kaydedilmiştir.

Çalışma dönemindeki yağış ölçümleri incelendiğinde, Mayıs ayı aylık toplam yağış miktarının Bahçeköy Meteoroloji İstasyonundan elde edilen ve 1974 – 2004 yıllarını kapsayan 30 yıllık ölçümlere oranla düşük olduğu, ancak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen 1950 – 2014 yıllarını kapsayan 64 yıllık İstanbul ortalamasına yakın bir degerde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Çalışma dönemi içerisindeki en yağışlı ay 153,6 mm ile Eylül ayı olarak kaydedilmiştir. Eylül ayı yağış miktarı iklim normallerine göre 95,7 mm daha yüksektir.

Çalışma döneminde en yağışlı hafta, çalışma döneminin 25. haftası olan 28 Eylül – 4 Ekim 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Bu dönem içerisinde yağış miktarı 102,4 mm olarak tespit edilmiştir. Çalışma döneminde en yağışlı gün 34,9 mm yağış miktarı ile 30 Ağustos ve 25 Eylül 2015 olarak kaydedilmiştir. Çalışma dönemi içerisindeki en uzun ardışık yağışsız dönem ise, 13-31 Temmuz 2015 tarihleri arasında gerçekleşen 20 günlük dönem olarak kaydedilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Çalışmanın 18 haftalık dönemi sonucunda kaydedilen iklim koşulları (A) Aylık ortalama hava sıcaklığı ve solar radyasyon miktarı, (B) Aylık toplam yağış miktarı, (C) Haftalık toplam yağış miktarı ve haftalık ortalama hava sıcaklığı, (D) Haftalık en düşük ve en yüksek hava sıcaklığı değerleri. Karşılaştırmada uzun dönemli iklim verileri; 1974-2004 yılları arasında Bahçeköy meteoroloji istasyonuna ait iklim verileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen 1950 – 2014 yıllarını kapsayan 64 yıllık İstanbul ili ortalamaları kullanılmıştır.

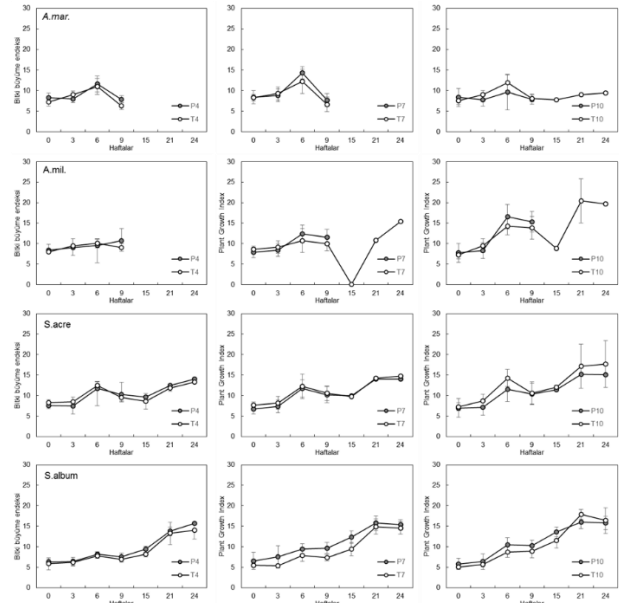
### 3.2. Bitki Gelişim Düzeyleri (Bitki Büyüme Endeksi)

Çalışmanın başlangıcında, dikimi yapılan türler (*A.maritima*, *A.millefolium*, *S.acre* ve *S.album*) incelendiğinde, türler arasında *S.album* dışında belirgin bir fark bulunmamaktadır. Bitkilerin doğal gelişim biçimleri ve elde edilen fidelerin boyutları itibarıyla, beklenen bir sonuç olarak istatistiksel açıdan belirgin farklar tespit edilmiştir.

Çalışmanın 3. Haftasında (20 Mayıs 2015), türlerin yetiştirme ortamıyla olan ilişkileri ve 15 günlük sulama dönemi nedeniyle yetiştirme ortamlarında bazı farklar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu haftada (T7) içerisinde bulunan *Armeria*

*maritima* türlerinin istatistiksel açıdan en belirgin büyümeyi gerçekleştirdiği görülmektedir. Benzer değişimler *Sedum* türleri için de gözlemlenmiş ve *S.acre* 3. Haftadaki en belirgin gelişimi (T10) yetiştirme ortamında gerçekleştirmiştir. Haftalık gözlemlerde, *S.acre* türleri arasında en düşük bitki büyüme endeksi değeri ise (P10) yetiştirme ortamında görülmüştür.

Çalışmanın 6. Haftası yağışsız ancak ılıman bir düzeyde seyretmiş ve *A.maritima* bitkileri çalışma dönemi içerisindeki en belirgin gelişimi göstermiştir. *Armeria maritima* türleri, (P7) içerisinde en yüksek bitki büyüme endeksi değerine sahiptir. Aynı haftada, (P10) yetiştirme ortamında bulunan *A.millefolium* bireylerinin bitki büyüme endeksi değerleri istatistiksel açıdan diğerlerinden anlamlı biçimde farklıdır. *A.millefolium* bireylerinin en düşük bitki büyüme endeksi değeri ise (P4) yetiştirme ortamında kaydedilmiştir. Aynı haftada *S.acre* bireylerinde kaydedilen en yüksek bitki büyüme endeksi değeri (T10), *S.album* bireylerinde ise (P10) yetiştirme ortamında kaydedilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3: Bitkilerin çalışma dönemindeki gelişim düzeyleri (x eksen bitki büyüme endeksi; y eksen haftalar)

Çalışmanın 9. haftasında, bazı bitki türlerinin gelişiminde gerilemeler görülmüş, bazı türler ise gelişimini sürdürmüştür. Özellikle *A.maritima* türlerinin bitki büyüme endeksi değerlerinde belirgin bir düşüş görülmektedir. *S.acre* için de benzer bir tespit yapmak mümkündür. *A.millefolium*'un 9. Haftadaki bitki büyüme endeksi

değerleri (T10) ve (P10)'da en yüksek değerlerde kaydedilirken, en düşük değer *A.maritima*'da olduğu gibi (T4)'de kaydedilmiştir. *S.album* diğer türlere benzer biçimde (P10) yetiştirme ortamında en yüksek bitki büyüme endeksine ulaşırken, (T4) ve (T7) yetiştirme ortamlarında en düşük değerler kaydedilmiştir.

Çalışmanın 15. Haftasında (20 – 26 Temmuz 2015), 13-31 Temmuz 2015 tarihleri arasında gerçekleşen 20 günlük yağışsız ve sıcak dönem nedeniyle, bazı bitkilerde kurumalar görülmüştür. Bu dönemden en fazla etkilenen türler *A.maritima* ve *A.millefolium* olmuş, *Sedum* türleri ise bu dönemi hayatta kalarak geçirmişlerdir. Buna ek olarak *S.album* büyümesini kurak döneme rağmen devam ettirebilmiştir. Bu dönemde sadece (T10) içerisinde bulunan *A.maritima* fideleri bitki büyüme endeksi değerlerinde düşüş kaydedilmesine rağmen hayatta kalabilmiştir. Aynı durum *A.millefolium* fideleri için de geçerlidir.

Çalışmanın 21. haftasında (31 Ağustos - 6 Eylül 2015), yaz aylarındaki kurak dönemin sonunda oluşan yağışların da etkisiyle *A. millefolium* fidelerinde belirgin bir büyüme gerçekleşmiş, çalışmanın 15. Haftasında hayatta olmadığı tespit edilen fidelerde yeni sürgünler tespit edilmiştir. Ancak bu durum sadece (T7) ve (T10) yetiştirme ortamlarında görülmüş, diğer yetiştirme ortamlarında bulunan bitkilerde bir değişiklik kaydedilmemiştir. Bu tarihlerde (T7) ve (T10) yetiştirme ortamlarında bulunan *A.millefolium* fideleri arasında bitki büyüme endeksi değerleri açısından belirgin bir fark tespit edilememiştir. Bu durum 24. hafta için de geçerlidir. Aynı haftada *S.acre* ve *S.album* türleri gelişimlerini sürdürmüştür.

Çalışma dönemini kapsayan 27 haftalık dönem bitkilerin büyüme endeksi değerleri açısından ele alındığında, *A.maritima* türlerinin (P10) yetiştirme ortamında sürekli bir büyüme eğiliminde olduğu görülmektedir. *A. millefolium* için bu durum (T7) ve (T10) yetiştirme ortamlarında gözlemlenebilmiştir. *S.acre*, büyüme endeksi değerleri çalışmanın bazı dönemlerinde düşüş göstermiş olsa da, çalışmanın sonunda en yüksek değere ulaşmış ve tümü hayatta kalabilmiştir. Özellikle çalışmanın 21. Haftasında 10 cm'lik yetiştirme ortamlarında bulunan fidelerin büyüme desenleri diğer yetiştirme ortamlarına göre belirgin farklara sahiptir ve bu yüksek değerler çalışma sonuna kadar sürmüştür. *S.album*, çalışmada sürekli büyüme eğilimine sahip olan tek bitki türü olarak tespit edilmiştir. Özellikle kurak dönemlerde büyüme

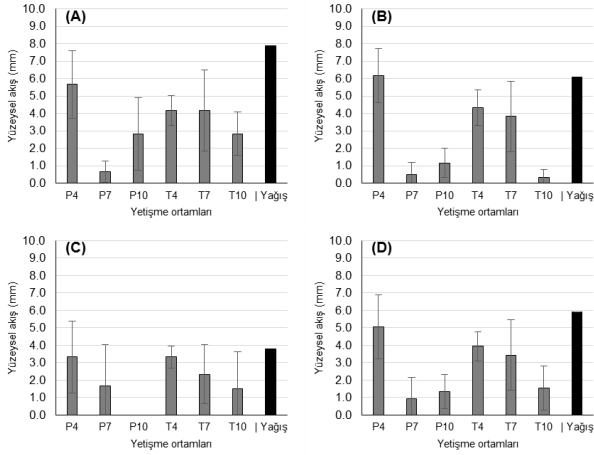
eğrisi sürekliliğini korumakla beraber, çalışmanın 21 ve 24. Haftalarında en yüksek bitki büyüme endeksi değerleri kaydedilmiştir. 21. Haftadan sonra 7 ve 10 cm'lik yetiştirme ortamlarında bulunan fidelerde anlamlı olmayan bazı düşüşler de kaydedilmekle beraber, bitkilerde belirgin bir küçülme tespit edilmemiştir.

### 3.3. Yetiştirme Ortamı Özellikleri ve Yüzeysel Akış Değerleri

Yağışın çalışma sırasında her bir deney kutusuna eşit etki ettiği ve bu kutular bir yağış toplama alanı olarak değerlendirildiğinde, net ebatları 55,5 cm x 75 cm olan deney kutularının net yüzey alanı 0,413 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Çalışmada evapotranspirasyon olmadığı kabul edilmiş (ET=0) ve yağış sırasında yüzey alanında toplanacak su miktarının hesaplanmasında Lancaster ve Marshall (2006) tarafından önerilen formül kullanılmıştır. Buna göre;

Toplama alanı (m<sup>2</sup>) x yağış miktarı (m) x yüzeysel akış katsayısı = yüzeysel akış (m<sup>3</sup>)

19.06.2015 tarihinde deney kutuları üzerine gelen 7,9 mm yağış sırasında, her bir deney kutusunda toplanan su miktarı yukarıda verilen formüle göre 0,00326 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Diğer bir deyişle 1 m<sup>3</sup> suyun 1000 litre olduğu bilindiğine göre bu değer 3,26 l ya da 3,26 kg'lık su miktarına denk gelmektedir. Deney kutularında toplanan 3 litre yağışın etkisiyle en yüksek su tahliyesi görülen (P4) yetiştirme ortamından 5,7 litrelik bir su tahliyesi gerçekleşmiştir. Yağış miktarından daha yüksek miktarda su tahliyesinin görülmesinin başlıca nedeni, bu tarihten bir önceki gün kaydedilen 19,5 milimetrelik yağıştır. Bilindiği üzere, yeşil çatı sistemlerinden tahliye edilen ya da biriktirilen su miktarı yetiştirme ortamı ve yapısal katmanların (su tutucu keçe ve drenaj sistemi) su tutma kapasiteleri ile ilgilidir. Bu yağış sırasında deney kutularının yetiştirme ortamları ve yapısal katmanlarındaki su miktarı gelen yağışın yüzeysel akışa geçmesinde etkilidir. Her iki yağışlı günün toplam yağış miktarının 27,4 mm olduğu düşünüldüğünde, her bir deney kutusunda toplanması beklenen su miktarı ise 11,3 litre olarak hesaplanmaktadır. Bu kapsamda, her bir deney kutusunda toplanan 11,3 litrelik suyun, 5,7 litrelik bölümü (P4) yetiştirme ortamından tahliye edilmiştir. En yüksek ikinci su tahliyesi ise ortalama 4,2 l ile (T4) ve (T7) yetiştirme ortamlarında görülmüştür. Bu tarihte En düşük su tahliyesi 0,7 l ile (P7) yetiştirme ortamında kaydedilmiştir. 10 cm'lik yetiştirme



Şekil 4: Çalışma sırasında rastgele seçilen yağışlı günlerde yetiştirme ortamlarından elde edilen yüzeyel akış değerlerinin yağış ölçümleri ile karşılaştırılması. (A) 19.06.2015; (B) 24.08.2015; (C) 13.09.2015 tarihlerine ait ölçümleri ve (D) rastgele seçilen ölçüm günlerinde elde edilen ölçümlerin ortalama değerlerini temsil etmektedir. (P: Ponza içerikli karışım; T: Tuğla içerikli karışım, 4,7 ve 10 ise derinlik değerlerini göstermektedir.)

ortamlarında ise su tahliye miktarı 2,8 litre olarak kaydedilmiştir (Şekil 4).

24.08.2015 tarihinde kaydedilen 6,1 mm yağışın hemen öncesinde, iki günlük yağışlı bir dönem mevcuttur. 22-24 Ağustos 2015 tarihleri arasında gerçekleşen toplam yağış miktarı 24,9 mm'dir. 10 günlük sıcak ve yağışsız bir dönemin ardından gelen bu yağışlar sonucunda, en yüksek su tahliyesi 6,2 l ile (P4), en yüksek ikinci su tahliyesi ise 4,3 mm ile (T4) yetiştirme ortamından kaydedilmiştir. (T7) yetiştirme ortamından tahliye edilen su miktarı da bu değerlere oldukça yakın seyretmiştir (3,8 litre). En düşük miktarda su tahliyesi 0,3 mm ile (T10) yetiştirme ortamından gerçekleşmiş, (P7) 0,5 mm ile ikinci en düşük değere sahip olmuştur. (P10) yetiştirme ortamından kaydedilen su tahliye miktarı ise 1,2 l olarak ölçülmüştür.

Hava sıcaklığının düşmeye ve yağışların artmaya başladığı Eylül ayında, ölçüm yapılan gün olan 13.09.2015 tarihinde, benzer değerlerin oluştuğunu söylemek mümkündür. Bu tarihten önceki 15 günlük yağışlı dönem sonrasında gerçekleştirilen ölçümlerde, en yüksek su tahliyesi 3,3 l ile (P4) ve (T4) yetiştirme ortamlarından elde edilmiştir. Bu tarihte, (P4)'ten tahliye edilen su miktarı 5,7 l olarak kaydedilmiştir. (P10) yetiştirme ortamından su tahliyesi görülmemiş, sırasıyla (T10) 1,5 l, (P7) 1,7 l, (T7) ise 2,3 l suyu tahliye etmiştir. Genel ortalama değerler ele alındığında, (P7), (P10)

ve (T10) yetiştirme ortamlarının en düşük su tahliye miktarına sahip olduklarını söylemek mümkündür.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada, yetiştirme ortamı tipi ve derinliği, Marmara bölgesinde doğal yayılışa sahip bitki türleri ile ilişkilendirilerek, yeşil çatı sistemlerinin İstanbul iklimindeki performansları değerlendirilmiştir. İstanbul ve Türkiye ölçeğinde son derece sınırlı araştırma altyapısı ve bilimsel birikim bulunan yeşil çatı sistemleriyle ilgili araştırmaların gelişmesi adına önemli bir yer tutmaktadır.

Bitki gelişim düzeyleri açısından genel bir değerlendirme yapıldığında, dünyada yeşil çatı sistemlerinde en yaygın kullanıma sahip bitki türü olarak tercih edilen Sedum türleri, bu çalışmada da başarılı türler olarak karşımıza çıkmaktadır. *S.acre*, 4 ve 7 cm derinliğindeki her iki yetiştirme ortamında da benzer bir büyüme desenine sahiptir. Bu tür için her iki yetiştirme ortamı da önerilebilir. Ancak derinlik 10 cm'e çıkarıldığında, tuğla içerikli malzemenin bir nebze daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. *S.album* diğer türlerden farklı olarak ponza içerikli karışımda daha iyi bir büyüme özelliği göstermiştir. İstanbul iklim şartlarında gerçekleştirilecek bir yeşil çatı uygulamasında, derinlik gözetilmeksizin (P) yetiştirme ortamı içerisinde bu türün sağlıklı bir biçimde yetiştirilmesi mümkündür. Ancak bu türün çatı yüzeyini kaplaması için biraz daha uzun bir süreye ihtiyaç vardır. Gerçekleştirilecek uygulamalarda, bu bitki türünün ponza içerikli karışımla birlikte kullanılması hem ekonomik hem de ekolojik bir sonuç elde edilmesini sağlayacaktır. *Armeria maritima*, kurak yaz ayları dışında sağlıklı bir gelişim göstermiş ancak kurak dönemlere uyum sağlamakta zorlanmıştır. Uluslararası kaynaklarda yeşil çatı sistemlerinde kullanımı sıklıkla önerilen *A.maritima* türlerinin, kurak dönemlerden fazlaca etkilendikleri ve yetiştirme ortamı derinliği 10 cm'in altında olan yeşil çatı sistemlerinde yetiştirilmelerinin mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, İstanbul ikliminde bu türlerin yeşil çatı sistemlerinde kullanımının, ancak 7 cm'den daha derin yetiştirme ortamlarında mümkün olabileceğini ortaya koymuştur. Ancak burada yetiştirme ortamının bileşimi de önem taşımaktadır. Daha iri tane yapısına sahip olan ponza içerikli (P) yetiştirme ortamlarında *A.maritima* türleri 10 cm'lik yetiştirme ortamlarında dahi sağlıklı gelişim göstermemiştir. *Achillea millefolium*'un gelişim değerleri *A.maritima* ile

benzerdir. Bu tür için 10 cm derinliğinde kullanıldığı takdirde, tuğla içerikli yetiştirme ortamı uygun bir ortam sunmaktadır. Çalışmada doğal ve atık malzemelerle yani ponza ve belediye kompostu ile üretilen ponza içerikli karışım ise, bu türler için uygun bulunmamıştır.

Yetiştirme ortamındaki nem miktarı, derinliğin ve yetiştirme ortamının tipine göre değişim göstermiş ve bu durum bitki gelişimi etkilemiştir. Derinliğin artması yetiştirme ortamındaki nem miktarını olumlu yönde etkilemiş, yetiştirme ortamı tipi de nem içeriğine etki etmiştir. (P) yetiştirme ortamında 10 cm derinliğindeki yetiştirme ortamı en yüksek su tutma kapasitesine sahipken, en düşük değer 4 cm derinliğindeki yetiştirme ortamında kaydedilmiştir. (T) yetiştirme ortamında ise, 4 ve 7 cm derinliklerde belirgin farklar tespit edilememiş, 10 cm derinliğindeki (T) yetiştirme ortamı en yüksek su tutma kapasitesine sahip karışım olarak belirlenmiştir. Genel ortalamada, (T10) yani 10 cm derinliğe sahip tuğla içerikli karışım en yüksek su tutma kapasitesine sahiptir. Yetiştirme ortamlarının su tutma özellikleri, bitki gelişimini doğrudan etkileyen bir etmen olarak tespit edilmiştir.

Deney deseninden tahliye edilen su miktarı değerlendirildiğinde, yüzeysel akışa geçen su miktarı her iki yetiştirme ortamı tipi için 4 cm derinliğindeki yetiştirme ortamlarında en yüksek değerlere sahiptir. Bu derinlikte, yetiştirme ortamındaki nem miktarı daha düşük olmasına rağmen, su depolama kapasitesi sığ yetiştirme ortamı derinliği nedeniyle sınırlıdır. Ortalama değerler incelendiğinde, 4 cm derinliğindeki ortamları arasında (T) yetiştirme ortamından tahliye edilen su miktarı (P) yetiştirme ortamına oranla %28 daha düşüktür. 7 cm derinliğindeki yetiştirme ortamlarında ise, ponza içerikli yetiştirme ortamlarından elde edilen su miktarı tuğla içerikli yetiştirme ortamlarına göre %72 daha düşük olarak kaydedilmiş, bu değerler genel ortalamada da en düşük değerler olarak kaydedilmiştir. Ancak (P7) ortamından elde edilen yüzeysel akış verilerinin standart sapma değerleri incelendiğinde, bu değerlerin tekrar parsellerinde ciddi salınımlara sahip olduğu görülmektedir. Deney kutusunun deney deseni içerisindeki konumu, bitki türlerinin yüzeyi kaplama oranı, eğimdeki küçük çaplı farklılıklar, güneşlenme derecesi gibi faktörlerin bu değerlerin değişiminde önemli bir etken olduğu düşünülmektedir. İkinci en düşük yüzeysel akış değerleri ise 10 cm derinliğindeki ortamlarda kaydedilmiş, her iki yetiştirme ortamı tipinde çok benzer değerler elde edilmiştir. Bu ortamlardan

kaydedilen değerler daha kararlı bir dağılıma sahiptir. Beklenen bir sonuç olarak yetiştirme ortamı derinliği ile yüzeysel akış miktarı arasında ters bir orantı tespit edilmiş, bu durum topraktaki nem miktarına bağlı olarak değişim göstermiştir. 10 cm derinliğinde (T) yetiştirme ortamı, içerdiği küçük tanelerin de etkisiyle, sistemden tahliye edilen su miktarını azaltmada en iyi seçenek olarak değerlendirilmiştir.

### TEŞEKKÜR

*Bu çalışmanın mali desteği İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (45661 ve 10207 numaralı projeler) ile sağlanmıştır. Yazarlar çalışma sırasındaki değerli yardımları için çalışma sırasında İÜC Peyzaj Mimarlığı öğrencileri olan Ayşe Irmak Güloğlu, Şeyma Kırcı, Mihriban Başbay, Nigar Küçük, Pavel İokhim, Gizem Ögüt ve Sümeyya Akdağ'a teşekkür eder.*

### KAYNAKÇA

- Berndtsson, JC, Emilsson, T, Bengtsson, L (2006). The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality, *Sci Total Environ*, 355, 48-63.
- Bousselot, J M, Klett, JE, Koski, RD (2011). Moisture content of extensive green roof substrate and growth response of 15 temperate plant species during dry down, *HortScience*, 46(3), 518-522.
- Butler, C, Orians, CM (2011). Sedum cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof, *Ecological Engineering*, 37(11), 1796-1803.
- Dietz, ME, Clausen, JC (2008). Stormwater runoff and export changes with development in a traditional and low impact subdivision. *J. Environ. Manage.* 87, 560-566. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.026>.
- Dunnett, N, Nagase, A, Booth, R, Grime, P (2008). Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments, *Urban Ecosystems*, 11(4), 385-398.
- Ekşi, M, Rowe, DB (2019). Effect of Substrate Depth and Type on Plant Growth for Extensive Green Roofs in a Mediterranean Climate. *Journal of Green Building*, 14(2), 29-44.
- Ekşi, M (2013). A field study to evaluate the runoff quantity and stormwater retention of a typical extensive green roof in Bahçekoy, Istanbul. *Environment Protection Engineering* 39.4 (2013): 79-89.
- Ekşi, M, Uzun, A (2016). Yeşil çatı sistemlerinin su ve enerji dengesi açısından değerlendirilmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 66(1), 119-138.
- Fioretti, R, Palla, A, Lanza, LG, Principi, P (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate, *Building and Environment*, 45(8), 1890-1904.
- Kato, S, Yamaguchi, Y (2005). Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ Data: Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux. *Remote Sens. Environ.* 99, 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.04.026>.
- Lancaster, B, Marshall, J (2008). *Rainwater harvesting for drylands and beyond* (Vol. 1). Rainsource Press.
- Little, TM, Hills, FJ (1978). *Agricultural experimentation: design and analysis*. Wiley Publishing.

Monterusso, MA, Rowe, DB, Rugh, CL (2005). Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. *HortScience* 40, 391–396.

McKinney, ML (2002). Urbanization, Biodiversity, and Conservation. *Bioscience* 52, 883–890.

Miller, LE, Heim, AE, Lundholm, J (2014). Green roof vegetation type affects germination and initial survival of colonizing woody species. *Urban For. Urban Green.* 13, 892–899. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.10.001>.

Nagase, A, Dunnett, N (2010). Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity. *Landsc. Urban Plan.* 97, 318–327. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.07.005>

VanWoert, ND, Rowe, DB, Andresen, JA, Rugh, CL, Xiao, L (2005). Watering regime and green roof substrate design affect *Sedum* plant growth, *HortScience*, 40(3), 659-664.

Wang, L, Lyons, J, Kanehl, P (2001). Impacts of Urbanization on Stream Habitat and Fish Across Multiple Spatial Scales. *Environ. Manag.* V 28, 255–266. <https://doi.org/10.1007/s002670010222>.

Yuan, F, Bauer, ME (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* 106, 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003>

---

**Sorumlu Yazar :** Doç.Dr. Mert EKŞİ

**e-mail:** [merteksi@istanbul.edu.tr](mailto:merteksi@istanbul.edu.tr)

**Orcid:** 0000-0001-6373-9257