Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 31:4 (2016) 1113-1123

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Yağmur bahçelerinin nicel değerlendirilmesi: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi örneği

Mert Ekşi*, Melek Yılmaz, Öykü Özden
İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 34473, Bahçeköy, Sarıyer, İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Yağmur bahçelerinin İstanbul ikliminde deneysel açıdan değerlendirilmesi
- Bütünleşik yağış suyu yönetim sistemleriyle ilgili planlamaların öneminin vurgulanması
- Yağmur bahçeleri ve yüzeysel akış ilişkileri

Makale Bilgileri
Geliş: 12.11.2015
Kabul: 01.09.2016

DOI:
10.17341/gummfd.04871

Anahtar Kelimeler:
Yağmur bahçeleri,
yüzeysel akış,
su yönetimi,
peyzaj mimarlığı,
sürdürülebilirlik

ÖZET

Kentleşme ile birlikte suyun doğal döngüsünde oluşan bozulma ve dengesizlikler, doğru su yönetim araçlarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu araçların başında Ülkemizde yeni bir kavram olan "yağmur bahçeleri" gelmektedir. Bu sistemler peyzaj mimarlığı uygulamaları açısından önem taşıyan yüzeysel akışı azaltabilen yeşil alanlar olarak değerlendirilebilirler. Bu çalışma ile yağmur bahçeleri İstanbul ikliminde deneysel açıdan değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, tipik bir yağmur bahçesi sistemine benzer biçimde ve aynı özellikte 3 adet küçük ölçekli Yağmur Bahçesi Modülü (YBM) oluşturularak doğal ortam ile ilişkili olacak biçimde çalışma alanına yerleştirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı alanın özelliklerine ve yağmur bahçelerine ekolojik açıdan uygunluğu tespit edilen 3 farklı bitki türünün (*Anemone nemorosa, Viola odorata, Iris germenica*) bu modüller içerisindeki gelişim düzeyleri değerlendirilmiştir. Ayrıca bir yağmur bir yağmur bahçesinin yetişme ortamındaki nem değişimi ve su tutma kapasitesi araştırma kapsamına alınmış, suyun yeniden kullanım olanakları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, *Viola odorata* ve *Iris germenica* türleri İstanbul koşullarında yağmur bahçeleri için uygun seçenekler olarak belirlenmiştir. *Anemone nemorosa* ise kurak dönemlerden olumsuz yönde etkilenmiştir. Çalışmanın bulguları yağmur bahçelerinin İstanbul iklim koşullarında sürdürülebilir bir sistem olduğunu göstermektedir. Peyzaj mimarlığı uygulamalarında bu sistemlerin doğru uygulama yöntemleri ile kente kazandırılmasının, kentsel su yönetimi açısından olumlu etkilerinin olduğu ortaya çıkmıştır.

Quantitative assessment of rain gardens: A case study in Istanbul University Faculty of forestry

H I G H L I G H T S

- Experimental evaluation of rain gardens in Istanbul climate
- To emphasize the importance of integrated rainwater management
- Relationship between rain gardens and stormwater runoff

Article Info
Received: 12.11.2015
Accepted: 01.09.2016

DOI:
10.17341/gummfd.04871

Keywords:
Rain gardens,
runoff,
water management,
landscape architecture,
sustainability

ABSTRACT

Deterioration of natural water cycle caused by urbanization brings necessities to use proper water management tools in cities. Rain gardens are one of the most essential tools in cities which can be defined as a new concept in Turkey. Those systems can be interpreted as green areas which can mitigate urban runoff. In this study rain gardens were evaluated through experimental methods. Three identical Rain Garden Modules (RGM) were constructed which represents a typical rain garden system were located on the site. Three plant species (*Anemone nemorosa, Viola odorata, Iris germenica*) that were determined as ecologically suitable for environmental conditions of the study area and rain garden system were evaluated in terms of plant growth and survival during study. In addition, soil moisture levels, infiltration and water retention abilities of the rain gardens were evaluated along with the environmental conditions. It was concluded that *Viola odorata* and *Iris germenica* are good candidates for rain gardens in Istanbul climate. However *Anemone nemorosa* was negatively influenced by dry periods. Findings of this study confirms that rain gardens are sustainable systems in Istanbul environment. Therefore by using proper application techniques integration of those systems into city infrastructure will bring positive effects to urban water management.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: merteksi@istanbul.edu.tr / Tel: +90 212 338 2400 - 25391

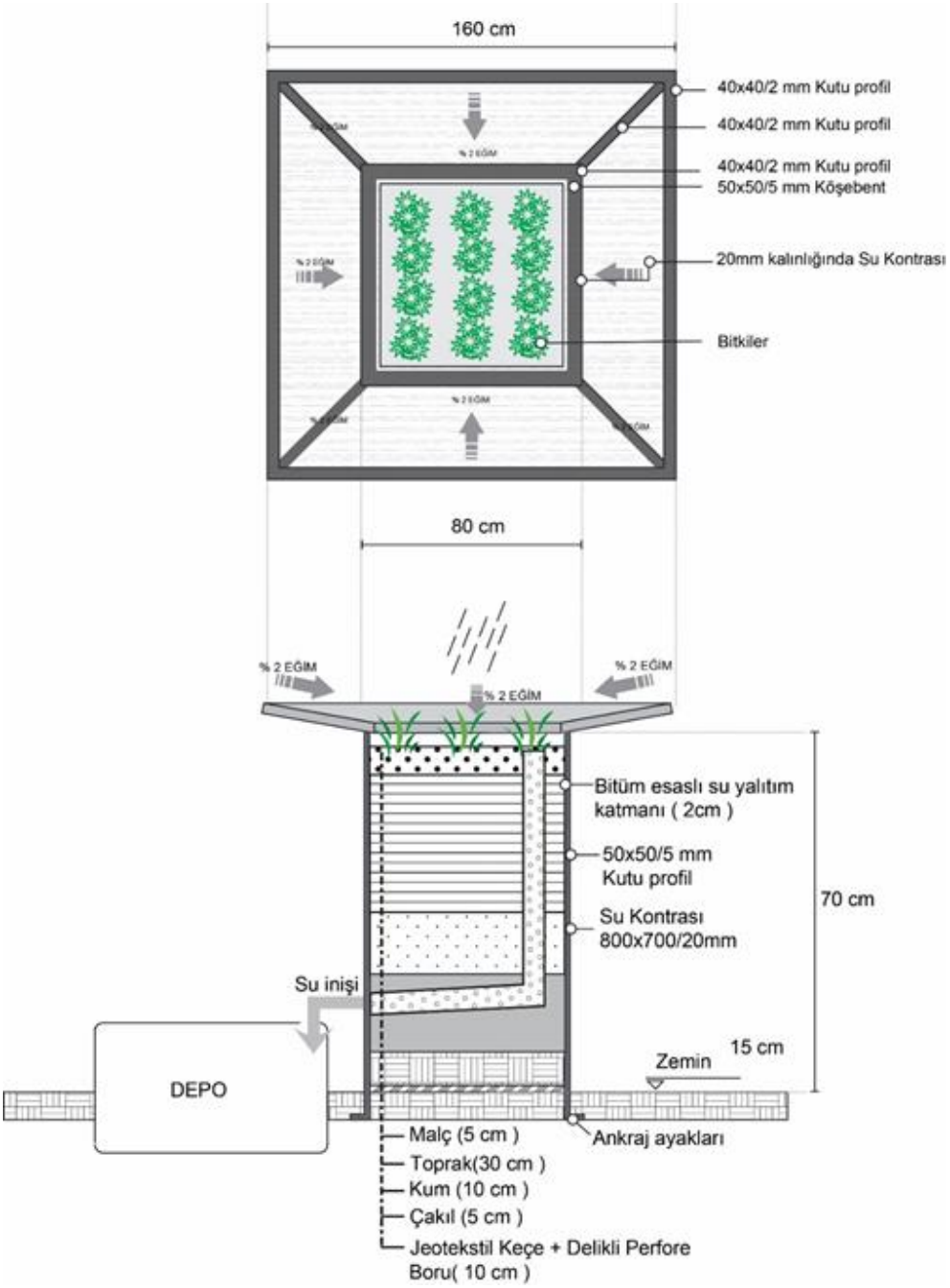
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kentleşmenin hız kazandığı 21. Yüzyılda, dünya nüfusunun yarısı kentsel alanlarda yaşamakta ve bu oran her geçen gün artmaktadır [1]. Yaşamın devamlılığı için temel bir doğal kaynak olan suyun korunması ve etkin kullanılması, günümüzde özellikle insanoğlunun temel yaşam alanı haline gelen kentlerde hayati bir konu haline dönüşmüştür. Kentler doğal alanlara oranla suyun infiltrasyonunu engelleyen daha büyük miktarda geçirimsiz yüzeylere sahip olmaları nedeniyle dikkate değer oranda yüzeysel akış oluşturmaktadır [2]. Kentlerdeki geçirimsiz yüzeylerin yüzeysel akışı arttırmaya yönelik etkileri, Dietz ve Kalusen [3]'in bildirdiğine göre, ilk olarak Kuichling (1889) [4] tarafından ortaya konmuştur. Geçirimsiz yüzeylerde görülen artış, genellikle yüzeysel akış miktarını, anlık en yüksek akımları, kirletici yükünü ve yoğunluğunu arttırmaktadır [5]. Bunun sonucu olarak, su kaynaklarını tehdit eden kentsel alan kullanımının iki ana ürünü, kanalizasyon (ve endüstriyel atıklar) ile yüzeysel akış olarak karşımıza çıkmaktadır [6]. Coffman'a [7] göre yapılaşma, yüzeysel akış miktarını bir bölgenin yapılaşmamış durumuna oranla 5 ile 10 kat oranında arttırmaktadır. Aynı şekilde, Amerikan Çevre Koruma Ajansı'nın [8] verilerine göre, geleneksel bir kent dokusu, aynı boyuttaki ağaçlandırma sahasına göre 5 kat daha fazla yüzeysel akış oluşturmaktadır. Oluşan bu yüzeysel akış, çeşitli kirleticileri de beraberinde taşımaktadır [9]. Bu nedenle, yüzeysel akış yönetimi, kentsel ve kırsal alanlarda önem arz eden bir konu haline dönüşmüştür [10, 11]. Günümüzde; şehirlerin ve yapıların, suyun yeryüzünde dolaşırken izlediği yolları ve çeşitli adımları (suyun doğal döngüsünü) kısıtlamakta ya da engellemekte olduğu görülmektedir. Bu sayede doğal döngüsünde seyretmesi gereken su, çatılardan, kanalizasyonlardan beton kanallara ve borulara, buradan da nehirlere, su havzalarına ve göllere yönlendirilmektedir. Suyun filtrelenmesi ve buharlaşıp atmosfere geri kazandırılması aşamaları atlanarak doğal döngüde yeri olmayan sel taşkınlarıyla bugün daha çok karşılaşılmaktadır. Geleneksel kentsel yağmur suyu yönetimi araçları, genellikle suyu alandan mümkün olduğunca uzaklaştırma amaçlı tesis edilen, kanal, boru, mazgal vb. yapısal yağmur suyu sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemler evapotranspirasyon, infiltrasyon ya da yüzeysel akış gibi doğal süreçlere dayanmamakta ya da bunları taklit etmek gibi bir kaygıyı taşımamaktadır [9]. Ancak son yıllarda, suyun öneminin daha da artması, bütünleşik su kaynakları yönetim politikalarının [12] önemini arttırmıştır. Bunun sonucunda, çeşitli sürdürülebilir kentsel yağmur suyu yönetimi modelleri ortaya çıkmış, sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı ile suyun doğru yönetilmesinin yeni yolları aranmaya başlanmıştır. Yağmur bahçeleri, yeşil çatı sistemleri, su toplama sistemleri gibi yaklaşımlar doğadaki su döngüsünü mümkün olduğunca korumaya yönelik çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Suyun doğal döngüsünü etkileyen bu etmenlerin azaltılması amacıyla, biyolojik tutulma yaklaşımı ile yola çıkan yağmur bahçeleri yaklaşımı, ilk olarak 1980'li yılların sonlarında Prince George, USA'de Maryland Çevresel Koruma Departmanında ortaya çıkmıştır. Zaman zaman biyolojik tutma alanı (bioretention) olarak da adlandırılan bu sistemler, peyzaj içerisinde suyu toplama amaçlı tasarlanan, çalı, çok yıllık otsu bitkiler ya da ağaçlarla bitkilendirilmiş ve üzeri malç ile kaplı çukur alanlardır [10]. Peyzaj içerisinde üstlendikleri işlevler açısından bir değerlendirme yapıldığında, "nonpoint pollution" [13] yani yüzeysel akışla taşınan istenmeyen kirliliği azaltmada en etkili yöntemlerden biri olarak değerlendirilmektedir[14]. Aynı zamanda yağmur bahçeleri, yağmur suyunun alana veya yüzeye gelişi, hareketi, alanı terk edişi evrelerini, yapının kendisinden başlayıp dışarısındaki en alt seviyelere kadar tasarlanan bütüncül bir sistem olarak değerlendirilmektedir. Yağmur bahçeleri, yüzeysel akışın debisini, miktarını ve kirlilik konsantrasyonunu azaltmak ve yüzeydeki suyu taban suyuna aktarmak amacıyla kentsel ve kırsal alanlarda oluşturulan peyzaj alanları olarak tanımlanabilirler [10, 15, 16]. Uluslararası çalışmalarda, yağmur bahçeleri çeşitli yönleri bakımından araştırmalara konu olmuştur. Bu sistemlerin temel amacı olan su yönetimi ve yüzeysel akış azaltımı ile ilgili uygulamalı araştırmalar bulundukları iklim şartlarında değerlendirilmiş [5, 16, 17], bu sistemlerin iç dinamikleri ile ilgili modelleme çalışmaları [18, 19] ile bu sistemlerin çevresel kirleticilerin filtrelenmesi ve düzenlenmesi ile ilgili araştırmalar [20, 21] uluslararası ölçekte araştırmacıların odaklandığı noktalardır. Türkiye'de peyzaj mimarlığı uygulamaları açısından yeni bir kavram olan yağmur bahçeleri, ülkemizde çeşitli akademik çalışmalarda ele alınmıştır [22, 23, 24]. Ancak bu sistemlerle ilgili olarak ülkemiz ölçeğinde deneysel bir çalışma tespit edilememiştir. Yağmur bahçelerinin nicel değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışma ile İstanbul iklim koşullarında yağmur bahçelerinin göstermiş olduğu davranışlar ve bu sistemlerde kullanılan bitki türlerinin sürdürülebilirliğinin denetlenmesi hedeflenmektedir. Bunun yanı sıra sürdürülebilir su yönetiminin önemi konusunda toplumsal bilinç oluşturulması çalışmanın hedefleri arasındadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

Uygulama alanı İstanbul'un kuzey kesiminde, Sarıyer ilçesinde yer alan İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi yerleşkesinde bulunmaktadır. Uygulama alanının bulunduğu Bahçeköy semti, Belgrad Ormanları'nın hemen yakınında, deniz seviyesinden 100 m yukarıda yer almaktadır. Ilıman İklim kuşağı ile subtropikal iklim kuşağı arasında yer alan Türkiye, coğrafi konumu ve morfolojik özelliklerinden dolayı önemli ölçüde çeşitlilik gösteren bir iklim sistemine sahiptir. Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen, 1974–2004 yıllarını kapsayan 30 yıllık meteorolojik veriler sonucunda [25], çalışma alanının yıllık toplam yağış miktarı ortalaması

1117,1 mm, yıllık ortalama sıcaklığı ise 12,8°C olarak belirlenmiştir. Bölgede kaydedilen yağış miktarı 1950–2015 yıllarını arasında kaydedilen 65 yıllık İstanbul ili iklim normallerine göre %37,3 daha yüksektir. Ortalama sıcaklık değerleri ise İstanbul normallerine göre 1^{o}C daha düşük olarak kaydedilmiştir. İklimsel ortalamaların yanı sıra, iklimsel değişkenler, çalışmanın gerçekleştirildiği alanda bulunan meteorolojik ölçüm cihazları yardımı ile kaydedilmiştir. Temel iklim değişkenlerinin (hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve yönü) ölçümü, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Yeşil Çatı Araştırma Projesi Gözlem İstasyonu çatısına meteorolojik etmenlere açık bir konumda yerleştirilen 200 cm yüksekliğindeki paslanmaz çelik direk üzerinde bulunan meteoroloji istasyonu (DeltaOhm, HD2003 Üç Eksenli Ultrasonik Anemometre, Delta OHM S.r.L., Padova/İtalya, hava sıcaklığı için ölçüm hassasiyeti ±1°C; bağıl nem için ölçüm hassasiyeti ± 2,5%; rüzgar hızı için ölçüm hassasiyeti ± 1%; rüzgar yönü için ölçüm hassasiyeti ± 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 ± %2) yardımıyla kaydedilmiştir. Saatlik olarak kaydedilen veri seti, her ayın sonunda yapı içerisinde bulunan veri kayıt sisteminden kaydedilerek, günlük, haftalık ve aylık ortalamaların hesaplaması ile analiz edilmiştir. 18 Nisan-14 Haziran 2015 tarihleri arasında gerçekleştirilen çalışma sırasında, deneye bağlı araştırma yöntemleri kullanılmış ve deneysel araştırma desenlerinin tesis edilmesi, tarımsal deney tasarımı ilkeleri kapsamında [26] gerçekleştirilmiştir. İstanbul iklim koşullarında yağmur bahçesinin deneysel anlamda değerlendirilebilmesi amacıyla, aynı ortam koşullarında 3 adet Yağmur Bahçesi Modülü (YBM) tasarlanmıştır. Her bir modül, 80x80x70 cm boyutlarında, metal kutu profillerden oluşturulmuş ve yüzeyi konstrüksiyon içerisine yerleştirilen suya dayanıklı OSB levhadan imal edilmiştir. Modüllerin iç yüzeyi bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Modüllerin dış yağış ile toplanacak su ve oluşacak yüzeysel akış, modülün üst kısmına eklenen %2 eğim verilmiş kanatlar üzerinden bitkilere yönlendirilmiştir. Ayrıca modüllerin yanında bulunan yapının çatı yüzeyine düşen yağışı YBM'ne yönlendirmek amacıyla yağmur drenaj hattı oluşturulmuştur. Çatı oluğundaki delikten PVC borular ile eğimli bir şekilde homojen olarak yönlendirilmiştir. Modüllerin zeminle olan ilişkilerinin kesilmemesi için altı açık bırakılıp metal ayaklar toprağa saplanmıştır (Şekil 1). Deney modülleri 13.04.2015 tarihinde alana getirilmiş ve zemine 5cm çakıl serilip üzerine jeotekstil keçe ile sarılmış perfore borular (Ø10cm) döşenmiştir. Drenaj hattının kontrolünün sağlanması ve taşma riskine karşı drenaj hattı üzerinden toprak yüzeyine ucunda filtreli kapak bulunan boru (Ø10cm) çıkartılmıştır. Delikli perfore boruların üzeri çakıl (5cm) ile kapatılmıştır. Bunun üzerine 10 cm kalınlığında kum serilerek geçirimli katmanlar oluşturulmuştur. 1,2 m³ bitkisel toprak %15 oranında kompost ile karıştırılarak her bir deney kutusu içerisine 30 cm derinliği sağlayacak biçimde serilmiştir (Tablo 1). Ayrıca her üç modülün arka bölümünde bulunan tabandaki delikli perfore borunun çıkış noktasına, suyun biriktirileceği 20 litrelik su deposu yerleştirilmiştir. Sistemden tahliye edilen su İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Havza Yönetimi Anabilim Dalı Su Analiz Laboratuvarında analiz edilmiştir. Bitki türü seçiminde; dünya genelinde yağmur bahçeleriyle ilgili gerçekleştirilen uygulamalar incelenmiş, bitkilerin ekolojik istekleri (kuru ya da nemli koşullara uyum göstermesi), İstanbul koşullarına uygunluğu, bitkisel tasarım özellikleri (renk, form ve doku) ile estetik bir tasarım oluşturması göz önünde bulundurularak ülkemizde doğal yayılışa sahip bitki türleri seçilmiştir [29-31]. *Anemone nemorosa, ve Iris germenica 15x13 cm yuvarlak saksılarda, Viola odorata* ise 8,5x10,5cm ebatlarında kare saksılarda temin edilmiştir. Deney hatasının azaltılması amacıyla bitkiler her bir türün üç tekrarı olacak biçimde kutular içerisine rastgele dağıtılmıştır. Bitki dikimini takiben sulama işlemi gerçekleştirilmiş ve toprak üzeri yabani ot oluşumunu ve topraktaki nem kaybı önlemek için 5cm kalınlığında çam kabuğundan elde edilen malç örtüsü ile kaplanmıştır. Çalışma dönemi boyunca bitkilere ek sulama yapılmamış, bu dönemde sadece yabani ot temizliği ve kuruyan bölümlerin temizliği gibi diğer bakım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Dikimin ardından bitkilerin büyüme endeksi her bir bitki için ölçülerek hesaplanmıştır. Bu kapsamda her bir bitkinin boyutları 90 derecelik açıda iki yönlü en ölçümleri (genişlik) ile boy ölçümü ile tespit edilmiştir. Elde edilen bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak bitki büyüme endeksi (plant growth index) hesaplanmıştır [32, 33]. Çalışmanın başında her bitki türünden rastgele örnekler seçilerek ve başlangıçtaki kök ve gövde gelişimlerin tespit edilmiştir. Çalışma bitiminde ise başlangıçtaki değerlerle karşılaştırma yapabilmek amacıyla yağmur bahçesi modülleri (YBM) içerisinde bulunan tüm bitkiler sökülerek, bitkilerin canlı kütle değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda bitkilerin gövde (toprak üstü organlar) ve kökleri (toprak altı organlar) yıkandıktan sonra 60^{o}C'de 72 saat boyunca kurutularak ve nem içeriğinden arındırılmıştır. Örnekler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan hassas terazi yardımıyla tartılmış ve canlı kütle miktarları kaydedilmiştir [2, 34, 35]. Yağmur bahçesi modüllerinin toprak nem içeriği, rastgele seçilen gün ve zamanlarda, her bir yağmur bahçesi modülü için dört noktadan ölçülen elde edilen toprak nem değerlerinin aritmetik ortalamasının hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Kullanılan toprak nem sensörü (Theta probe, ML3; Delta-T Devices, Ltd., Cambridge, UK; ± 1% ölçüm hassasiyeti), toprağın 6 cm derinliğine inebilen metal çubuklar içeren ve yüzde cinsinden toprağın nem içeriğini tespit edebilen bir sensördür. Yağış sonrası modüllerde depolanan suyun kalitesi ve kullanılabilirliği ile ilgili ölçümler İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Havza Yönetimi Anabilim Dalı laboratuvarına (pH, elektrik iletkenliği, bulanıklık ve sıcaklık) gerçekleştirilmiştir.

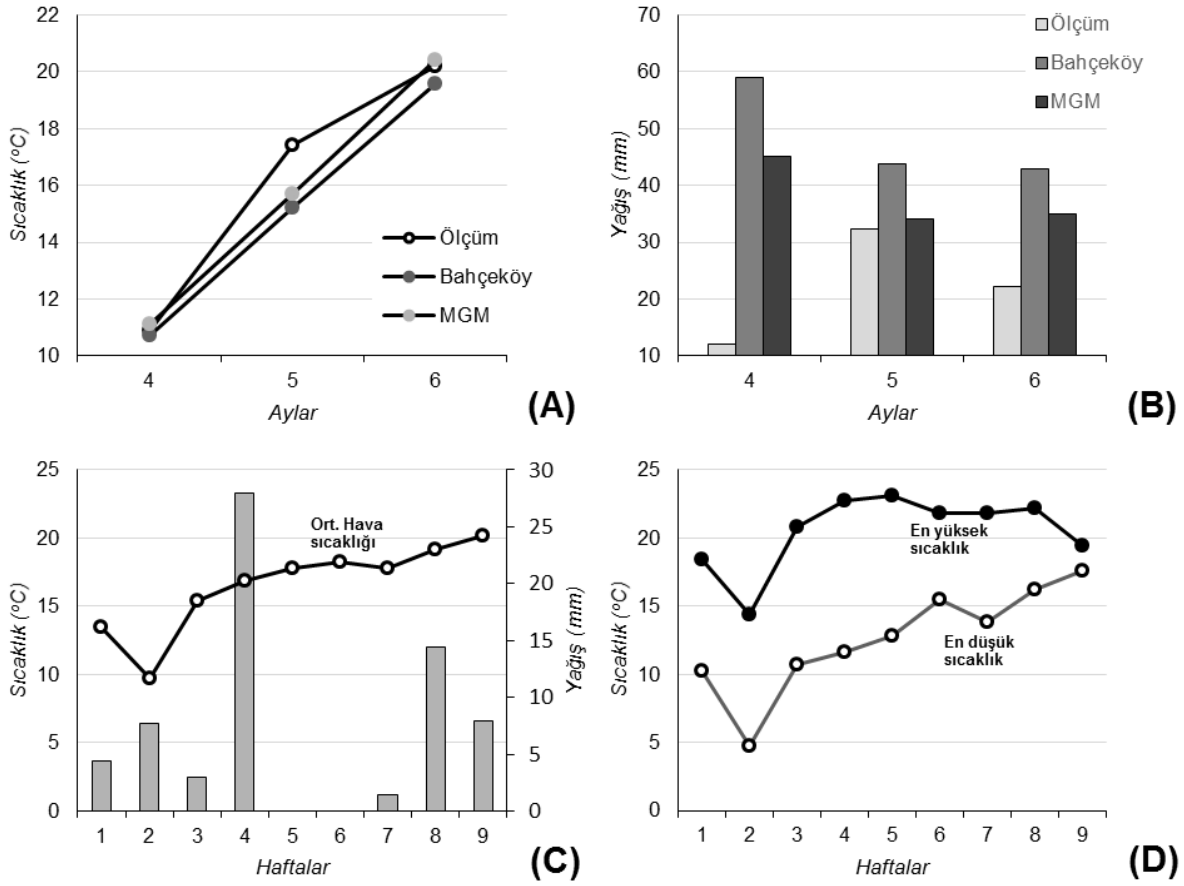


Şekil 1. Yağmur Bahçesi Modülü (YBM) plan ve kesiti (Plan and Section Drawing of Rain Garden Module (RGM))

Tablo 1. Çalışmada yetiştirme ortamı olarak kullanılan toprağın analiz sonuçları
(Soil analysis results for soil that have been used as a growing media)

Nitelik	Ölçüm Değeri	Yöntem
Toprak pH*	7,112 - 7,406	NCR13 1998[1]
Kireç*	% 3,8	NCR13 1998[1]
EC*	1938 - 1869 µS	NCR13 1998[1]
Tekstür*	Kumlu killi balcik (% 57,5 Kum, % 22 toz, % 20,5 kil)	Toprak tekstür analizi[2]

[1]Brown J.R. Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region; North Central Regional Research Publication No. 221; Revised January, 1998 [27].
[2] Soil Survey Division Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18 [28].
*Tüm analizler, İÜ Orman Fakültesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı Toprak Analiz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışma dönemini kapsayan 9 haftalık (18 Nisan-14 Haziran 2015) dönemin iklim koşulları (A) Aylık ortalama hava sıcaklığı (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

(Weather conditions of the 9 week study period (18 April–14 June 2015) (A) Mean average ambient temperature (B) Monthly total rainfall (C) Weekly total rainfall and weekly average ambient temperature (D) Weekly minimum and maximum ambient air temperature

Çalışmada elde edilen veri seti arasındaki anlamlı fark ya da ilişkiler varyans analizi – Fisher en küçük anlamlı fark analiz testi yardımıyla değerlendirilmiştir [26, 36, 37]. 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. Elde edilen veri setinin düzenlenmesi, sıralanması, günlük ve aylık ortalamalar ile grafik çizimleri ise Microsoft Excel® yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR
(RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Hava Şartları (Weather Conditions)

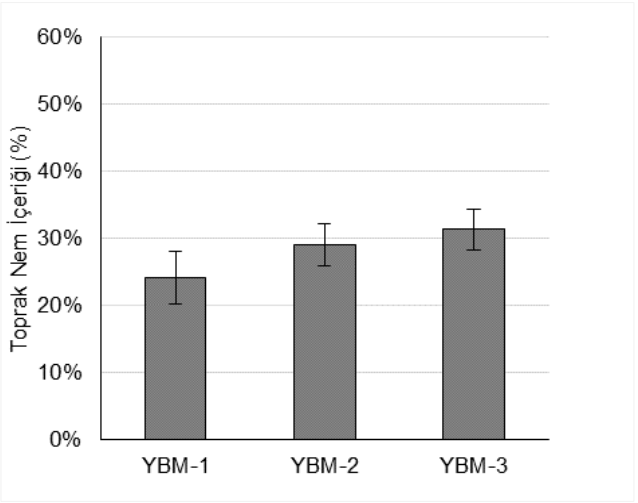
Çalışma dönemini kapsayan 9 haftalık dönem boyunca (18 Nisan–14 Haziran 2015) ortalama hava sıcaklığı 16,53°C, toplam yağış miktarı ise 66,8 mm olarak kaydedilmiştir. Ölçülen hava sıcaklığı değerleri, Bahçeköy meteoroloji istasyonundan elde edilen ve 1974–2004 yıllarını kapsayan 30 yıllık ölçümlerle benzer bir desende seyretmiştir. Ancak 2015 yılının Mayıs ayında ölçülen hava sıcaklığı, iklim normallerinin 2,2^{o}C üzerinde seyretmiştir. Çalışma dönemi boyunca, Mayıs ayı daha yağışlı ve serin bir ay olmasına rağmen, aylık ortalama güneş ışınım verileri Nisan ve Haziran aylarına göre daha yüksek değerlerde kaydedilmiştir. Bunun nedeni bulutlu günlerin, Nisan ve Haziran aylarında daha fazla olması ve Mayıs ayında yağışlı günler dışında güneşli günlerin sayıca daha fazla olmasıdır. Çalışma döneminde kaydedilen toplam yağış miktarı Bahçeköy meteoroloji istasyonundan elde edilen ve 1974–2004 yıllarını kapsayan 30 yıllık ölçümler ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen 1950–2015 yıllarını kapsayan 65 yıllık İstanbul ortalamasına oranla düşüktür. Haftalık olarak bir değerlendirme yapıldığında çalışma dönemindeki en düşük sıcaklığa sahip hafta, çalışma döneminin 2. haftası olan 20-26 Nisan 2015 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Çalışma dönemindeki en sıcak hafta ise, 20,19°C ile çalışmanın son döneminde yani çalışma döneminin 9. haftasında (8-14 Haziran) kaydedilmiştir. En yağışlı hafta, 28 mm yağış ile çalışma döneminin 4. haftası olan 4 -10 Mayıs 2015 tarihleri

arasında kaydedilmiştir. Çalışa döneminde kaydedilen en yağışlı gün ise 23,5 mm yağış ile 8 Mayıs 2015 olarak kaydedilmiştir. Çalışma döneminde en düşük günlük ortalama sıcaklık 22 Nisan 2015 tarihinde 6,3°C olarak ölçülmüş, en yüksek günlük ortalama sıcaklık ise 16 Mayıs ve 14 Haziran 2015 tarihinde 22°C olarak kaydedilmiştir. Çalışma dönemi içerisindeki en uzun ardışık yağışsız dönem, bu yağışı takip eden günlerde, 9-26 Mayıs tarihleri arasında gerçekleşen 17 günlük dönem olarak kaydedilmiştir. (Şekil 2). 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. Toprak Nem İçeriği (Moisture Content Of the Soil)

Çalışma döneminde hava sıcaklığının düşük ve yağış miktarının arttığı günlerde topraktaki nem miktarının %45'in üzerine çıktığı görülmektedir. Ancak hava sıcaklığının arttığı ve yağışın olmadığı dönemlerde, bu değerler %20 seviyesine kadar gerilemiştir. Çalışma döneminde, ardışık yağışsız günler toprak nem içeriğine belirgin bir etki yapmıştır. 8 Mayıs 2015 tarihinde çalışma döneminde kaydedilen en yüksek yağış miktarı olan 23,5 mm'lik yağış ile birlikte topraktaki nem miktarı %45,4 olarak kaydedilmiş ve bu tarihi takip eden yağışsız dönemde, 27 Mayıs 2015'de kaydedilen 0,5 mmlik yağış öncesinde 25 Mayıs 2015'de gerçekleştirilen ölçümde, topraktaki nem miktarı %21 olarak ölçülmüştür. 17 günlük ardışık yağışsız dönem içerisinde YBM yetiştirme ortamı, toprak nemi içeriğinin yarısına yakınını kaybetmiştir. Bir sonraki ölçüm tarihi olan 1 Haziran 2015'e kadar geçen 6 günlük sürede, toplam 1,3 mm'lik bir yağış kaydedilmiş ve bu dönemin hava sıcaklığı ortalaması 16,9^{o}C kaydedilmiştir. Güneşli ve nispeten serin geçen bu dönemde, çatı yüzeyinden gelen su ve yağış, toprak nemini arttırmaya yeterli olmamış ve yapılan ölçümde toprak nemi %19,4 seviyesine kadar gerilemiştir. 6 Haziran 2015'te toprak nemi miktarı 5 ve 6 Haziran 2015'te kaydedilen 10,8 mm'lik yağış ile birlikte %33,5'e çıkmıştır. 11 Haziran 2015'e kadar geçen 5 günlük dönemde 7,8 mm'lik yağışa rağmen hava sıcaklığı artması nedeniyle YBM toprak nem değerleri %23,7 oranında kaydedilmiştir.

Genel iklim değişkenleri ile toprak nemi arasındaki ilişki incelendiğinde, yetiştirme ortamındaki nem miktarının hava sıcaklığı ve yağış miktarıyla doğrudan bir ilişkide olduğu söylenmesi mümkündür. Bunun yanı sıra yağmur bahçesi modüllerinin (YBM) bulundukları konum nedeniyle çeşitli mikro iklim etkilerine maruz kaldığı görülmektedir. YBM-3'ün güneşlenme miktarı, Mayıs ayının ikinci haftasından itibaren gelişim gösteren çevredeki ağaçların ve yanında yer alan yapının gölgesi nedeniyle azalmıştır. Güneşlenme miktarının azalması ve buharlaşmanın düşmesi sonucunda YBM3'ün toprak nem değeri diğer modüllere göre daha yüksektir. Genel ortalamada YBM Modüllerinin toprak nem değeri %28,2 olarak kaydedilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Yağmur bahçesi modüllerinden elde edilen ortalama toprak nemi ölçümleri
(Average soil moisture measurements obtained from rain garden modules)

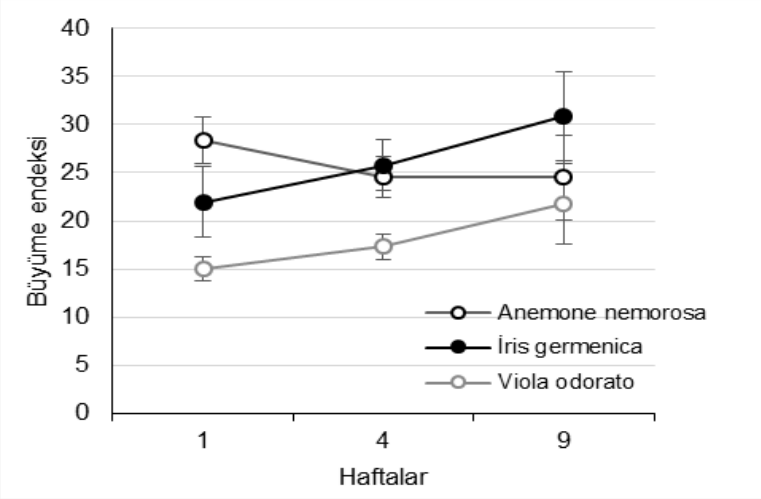
3.3. Bitki Gelişimi (Plant Growth)

Çalışmanın başlangıcında, bitki türlerinin doğal gelişim biçimleri ve elde edilen fidelerin boyutları itibariyle, *Anemone nemorosa* en yüksek bitki büyüme endeksi değerine sahipken, *Viola odorata* en düşük değere sahiptir. 4. haftada *Iris germenica* belirgin bir büyüme gerçekleştirmiş ve *Anemone nemorosa* ile istatistiksel açıdan bir fark görülmemiştir. Aynı haftada türler arasındaki büyüme değerleri açısından *Viola odorata* en düşük değerde kalmıştır. Çalışmanın son haftası olan 9. haftada, *Anemone nemorosa*'nın büyüme endeksinde görülen düşüş ve *Iris germenica*'nın sürekli gelişimi nedeniyle, *Iris germenica* istatistiksel açıdan diğer türlerden ayrılmıştır. 9. haftada *Viola odorata* ile *Anemone nemorosa*'nın bitki büyüme endeksi arasında istatistiksel açıdan bir fark tespit edilememiştir (Tablo 2). Çalışma döneminin başında, *Anemone nemorosa*'nın bitki büyüme endeksi değeri mevsim koşullarının etkisi ve çiçekli döneminde olması nedeniyle yüksektir. 4. haftada çiçeklerinin solmasıyla birlikte bitki büyüme endeksi başlangıç değerlerine göre düşüş göstermiş, bu düşüş çalışma sonuna kadar devam etmiştir. Shirreffs [38]'in bildirdiğine göre, *Anemone nemorosa* bahar aylarında oluşan kuraklığa karşı dayanıklı değildir. Çalışma döneminin 4. hafta ile 7. hafta arasında oluşan 17 günlük sıcak ve kurak dönem *Anemone nemorosa*'nın olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmuş ve bitki büyüme endeksinde %-13,70'lik bir düşüşe yol açmıştır. Türler arasında çalışma dönemi boyunca en istikrarlı büyüme *Iris germenica*'da tespit edilmiştir. *Iris germenica*'nın başlangıçta büyüme endeksi çiçeklenme, büyüme özellikleri, form gibi nitelikleri nedeniyle *Viola odorata*'dan belirgin bir oranda ayrılmış ve çalışma dönemi içerisinde %40,51 oranında belirgin bir büyüme göstererek türler arasında öne çıkmıştır. Yapılan üç farklı ölçümde, düzenli ve sürekli bir büyüme çizgisi bulunmaktadır.

Tablo 2. Yağmur bahçesi modülleri (YBM) içerisinde bulunan bitkilerin gelişim düzeyleri
(Plant growth levels in Rain Garden Modules (RGM))

Bitki türleri	1. Hafta			4.Hafta			9. Hafta		
Anemone nemorosa	*28,39*	±2,42	*Aa*	24,56	*Ab*	±2,12	24,50	*Bb*	±4,42
İris germenica	21,97	±3,67	*Bc*	25,74	*Ab*	±2,65	30,87	*Aa*	±4,62
Viola odorata	14,98	±1,21	*Cb*	17,33	*Bb*	±1,33	21,76	*Ba*	±4,25

Tablo değerleri, 9 haftalık ölçüm döneminde üç farklı yağmur bahçesi modülü (YBM) içerisinde bulunan bitkilerin ortalama büyüme endeksi değerlerini, ± değerler standart sapma (Ss) değerlerini göstermektedir. Hesaplanan ortalamalar Fisher En Küçük Anlamlı Fark Yöntemi ile (α =0,05) değerlendirilmiştir.
*Büyük harfler türler arası farkları, küçük harfler ise zaman içerisindeki gelişim düzeyleri ve farklarını belirtmektedir.
**1. hafta ölçümü 30 Nisan 2015, 4. hafta ölçümü 15 Mayıs 2015 ve 9. hafta ölçümü 11 Haziran 2015 tarihinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Yağmur bahçesi modülleri (YBM) içerisinde bulunan bitkilerin çalışma dönemi boyunca gelişim düzeyleri
(Plant growth levels of plants in rain garden modules (RGM) during study period)

Tablo 3. Yağmur bahçesi modülleri (YBM) içerisinde bulunan bitkilerin biyokütle değerleri
(Biomass values of plants in rain garden modules (RGM))

Bitki türleri	n	Başlangıç 18.04.2015		Bitiş 14.06.2015	
		Kök	Gövde	Kök	Gövde
Anemone nemorosa	9	26,5A	12,3A	13,7B	10,2A
İris germenica	9	37,5B	7,9B	71,3A	12,5A
Viola odorata	9	4,2B	0,9B	6,9A	5,3A

*Ortalama değerler, 9 haftalık ölçüm döneminde üç farklı yağmur bahçesi modülleri (YBM) içerisinde bulunan bitkilerin ortalamasını göstermektedir. Ortalamalar Fisher Anlamlı Farkların En Küçüğü Yöntemi ile alfa=0,05 ile değerlendirilmiştir. Büyük harfler bitki türlerinin çalışmanın başında ve sonunda gerçekleştirmiş oldukları toprak altı ve üstü organlarının gelişimini ve bunlar arasındaki farkları göstermektedir.

Tablo 4. Su analiz sonuçları ve standartları (Water analysis results and standarts)

STANDARTLAR	TSE 266[1-2] Türk Standartları Enstitüsü	EC[3] Avrupa Birliği	WHO[4] Dünya Sağlık Örgütü	MODÜLLERDE DEPOLANAN SU
pH (pH)	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-8,5	7,4
*Bulanıklık (NTU Birimi)	5,0	4,0	5,0	5,1
İletkenlik 20’ (µs/cm)	2500	2500	2500	54,5

* Suyun, yüzey suyunun arıtılması ile elde edilmesi durumunda, bulanıklık en çok 1,0 NTU (Nefelometrik bulanıklık birimi) olmalıdır. **Suyun sıcaklığı ortalama 22,55°C’ dir.
1 TSE, 2010. TSE 266 Sular - İnsanî tüketim amaçlı sular ile ilgili Türk Standardı [41].
2 Resmi Gazete, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, 17.02.2005 Resmi Gazete Sayısı: 25730[42].
3 The Council Of The European Union, 1998. Council Directive 98/83/ec on the quality of water intended for human consumption, Official Journal of the European Communities, L 330/32 [43].
4 WHO, 2011. Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition; World Health Organization [44].

1 ve 4. haftalar arasında büyüme oranı %17,16 iken, bu değer 4 ve 9. haftalar arasında %19,93 olarak ölçülmüştür. *Iris germenica*'nın düzenli büyüme eğilimi çalışma süresince devam etmiştir. *Viola odorata* çalışmanın başlangıcı ve ikinci ölçümde bir büyüme eğilimine sahip olmasına rağmen, istatistiksel açıdan belirleyici olan büyüme son haftada gerçekleşmiştir. *Viola odorata*'nın 1. ve 4. haftalar arasında büyüme oranı %15,70 iken, 4. ve 9. haftalar arasındaki büyüme oranı belirgin bir oranda artarak %25,54 olmuştur. *Viola odorata* başlangıçta en düşük büyüme endeksine sahip olmasına rağmen türler arasında en belirgin gelişimi gösteren bitki türü olmuş ve başlangıçtaki değerinin %45,25'i kadar büyüme gerçekleştirmiştir. Yağış miktarı ve sıcaklıktaki artış bu büyümede etken bir rol oynamıştır. (Tablo 2). Çalışma dönemi boyunca özellikle ikinci haftadan sonra ortaya çıkan hava durumu koşulları bitki büyümesine elverişli, ılıman ve nemli bir ortam sağlamıştır. *Viola odorata* toprakta yeterli nem miktarı bulunması halinde neredeyse her koşulda büyüyebilen bir bitki türü olması nedeniyle, bu koşullarda sağlıklı büyümesini devam ettirebilmiştir. (Şekil 4).

3.4. Biyokütle Değerleri (Biomass Values)

Yağmur bahçesi sistemlerinde su aktarımının sağlanması; bitki kök yapısı ve yüzey alanı, toprak yapısı faktörlerine bağlı olarak işlev kazanmaktadır. Kök yüzey genişliği iyi gelişen bitkilerde su emilimi daha rahat gerçekleşmektedir. *Anemone nemorosa'*nın kök gelişim düzeylerine bakıldığında; başlangıca göre %51,69 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. Bahar aylarında oluşan kuraklığa karşı dayanıklı olmayan bu tür, çalışma tarihlerinin kurak döneme denk gelmesinden dolayı; gelişiminde gerileme görülmüştür. Gövde gelişim düzeylerinde ise köklerdeki düşüş kadar belirgin olmayan bir gerileme söz konusudur. Çalışma sırasındaki gözlemlere dayanarak; günün belli saatlerinde gölgede kalan YBM-3 içerisindeki *Anemone nemorosa* bitkileri, tüm gün doğrudan güneşe maruz kalan YBM-1'dekilere göre daha iyi bir gelişim göstermiştir.

Bitki büyüme endeksinde belirgin ve istikrarlı büyüme gösteren *Iris germenica'*nın kök gelişiminde de %90,13 oranında bir artış gözlemlenmektedir. Soğanlı kök yapısına sahip olması ve kendi bünyesinde su tutma özelliği ile çalışma dönemindeki kuraklığa rağmen yağmur bahçesi sitemine olumlu etki etmiştir. Kullanılan diğer bitki türlerine göre; gözle görülebilen anlamlı bir fark oluşmuştur. İstanbul koşulları için; yağmur bahçesi sisteminde kullanılabilecek en uygun tür olduğu saptanmıştır. *Viola odorata'* nın kök gelişiminde %64,28 oranında artış meydana gelmiştir. Toprakta yeterli nem miktarı bulunması halinde her türlü koşulda gelişim gösterebilen *Viola odorata*, her üç modülde de olumlu şekilde büyüme görülmüştür. Çalışma başında türler arasında en düşük biyokütle değerlerine sahipken, çalışma sonunda gösterdiği artış ile anlamlı bir fark ortaya koymuştur (Tablo 3).

3.5. Su Hasadı ve Yüzeysel Akış Değerleri (Water Harvesting and Runoff Values)

Sert yüzeylerden elde edilecek su miktarını (1 saatin sonunda modüllere gelen suyun miktarı) hesaplamak için Doğangönül [39] tarafından önerilen formül kullanılmıştır;

$$Q = c \times i \times A$$

Q = lt / saat olarak oluğa gelen su
c = yağışın çatının yapısına bağlı olarak suya dönüştürülme katsayısı (Kiremit yıpranmamış çatı yüzeyi için katsayı 0,75, modül yüzeyi 0,60, toprak yüzey 0,01 kabul edilmiştir)
i = mm / saat olarak m²' ye düşen yağışın şiddeti
A = çatının kapladığı alan

Çalışma dönemi boyunca modüllere gelen toplam yağış 11,960 lt/saat olarak hesaplanmıştır. Çalışma süresinin kurak döneme denk gelmesine rağmen bu yağışlardan depoya ulaşan su miktarı 15,4 lt'dir. Sistem üzerine gelen yağışı doğrudan alt katmanlara aktarmış ve yüzeysel akışı azaltıcı bir etki oluşturmuştur. Deney kutularından tahliye edilen suyun analizi sonucunda elde edilen veriler, Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğine [40] göre gerekli arıtmalar yapıldığı takdirde toplanan suyun içme suyu olma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca peyzaj elde edilen suyun sulama ve rekreasyonel amaçlı kullanılabilir nitelikte olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4).

4.SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biri olan iklim değişikliği nedeniyle ortalama hava sıcaklıkları artmankta [45] ve yağış değerlerinde olumsuz yönde değişimler görülmektedir. Bunun sonucu olarak, su kaynaklarının varlığı tehlike altına girmektedir. Gelecek senaryoları, bu durumun ülkemizde be dünyada daha büyük sorunlara dönüşeceğini, sel ve kuraklık gibi doğal afetlerde artış görüleceğini öngörmektedir. Bunun sonucu olarak özellikle kuzey yarım kürede, ılıman kuşak içerisinde, kentlerde susuzluk sorunu ortaya çıkması olasıdır [46, 47]. Çalışmanın yapıldığı Bahçeköy bölgesi, İstanbul iklimine göre daha serin ve yağışlı bir karaktere sahip olmakla birlikte, son yıllarda bazı değişimler gözlenmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğünün 2013 yılı iklim değerlendirmesinde [48], Marmara bölgesinin normale göre (667,7 mm) %9,1 oranında azalma, 2012 yılına göre (765,7 mm) %20,7 azalma olduğu görülmektedir. Ülkemizde kurak geçen kış mevsimi ve son aylarda büyük kentlerde yaşanan susuzluk sorunu suyun tasarruflu kullanımı ve su havzalarının ve kaynaklarının korunması ihtiyacını açıkça ortaya koymaktadır [49]. Bu öngörü karşısında şimdiden gerekli su yönetimi politikaları geliştirilerek, farklı meslek disiplinlerinin bir araya gelip ortak çalışmaları gerekmektedir. Gerçekleşmesi beklenen tüm bu iklim değişikliği temelli kuraklık sorunlarına karşı farklı meslek

disiplinlerinin bir araya gelerek; su kaynaklarının kullanımları planlanmalı ve yağmur suyu yönetim sistemleri geliştirilmelidir. Yapılan çalışma sonucunda, yağmur bahçelerinin çalışmanın gerçekleştirildiği iklim koşullarında sürdürülebilir bir seçenek olduğu ortaya konulmuştur. Doğru bir yönetim ile yapısal yüzeylerden toplanacak su kullanım suyu olarak değerlendirilebileceği gibi, aynı zamanda yağmur bahçeleri benzeri sistemler ile yüzeysel akışın azaltılması, yüzeydeki suyun taban suyuna aktarılması ve suyun yeniden kullanımı mümkün olacaktır. Bu durumda büyük veya küçük ölçekli alanlarda uygulanılabilir bir yağmur bahçesi sistemi ile yağış ile yüzeysel akışa geçen su tekrar kullanılabilir hale gelecektir. Fakülte yerleşkesinin su tüketimini en aza indirmek amacıyla küçük ölçekli yağmur suyu denetim sistemleri ile su tasarrufu sağlanacaktır. Bütünleşik bir su yönetim planlaması ile kampüsün içerisindeki otopark alanı, orta refüjler, çatı olukları ve diğer sert yüzeylerde suyu toplamak ya da yönlendirmek, yüzeysel akışı en aza indirmek ve suyun yeniden kullanımını sağlamak mümkündür. Aynı uygulamalar kent ortamına da aktarılarak olumsuz etkilerin önüne geçilebilmesi mümkündür. Yağmur suyu yönetimi ile ilgili yapılan çalışmalarda ABD Oregon'da; 30.000m² geçirimsiz yüzeyden 1.890.000lt (500.000 galon) suyun şehre geri kazandırıldığı görülmüştür. Dünyada uygulanmış olan bu uygulamalar üzerinden, ülkemizdeki iklim şartları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Toplam alanı 24,26 ha. olan İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi kampüsünün yaklaşık %60'ı (14,5 ha) yeşil alan ile kaplıdır. Yaklaşık 2000 kişinin kullanımında olan İ.Ü. Orman Fakültesi yerleşkesinde, su tüketimi Mayıs ayı için 702 m^3, Ağustos ayı için 1020 m^3 olarak tespit edilmiştir. Kampüs yerleşkesinin bulunduğu Bahçeköy bölgesinde, yıllık toplam yağış miktarı ortalaması 1974-2004 yılları arasında kaydedilen 30 yıllık iklim verilerine göre 1171,1 mm olarak kaydedilmiştir. Bir yıl içerisinde fakülte yerleşkesinde bulunan yapısal yüzeylerden yüzeysel akışa geçmesi olası su miktarı, evapotranspirasyonun olmadığı kabul edildiğinde 169,795,000 m^3 olarak belirlenmiştir. Su tüketiminin en yoğun olduğu Ağustos ayında, iklim normali olarak kabul edilen 74,6 mm'lik yağış ile birlikte 10,817,000 m^3 suyun yüzeysel akışa geçmesi olasıdır (ET=0). MGM tarafından hazırlanan Referans Toplam Buharlaşma (Reference Evapotranspiration-ETo) haritalarına [50] göre, çalışma alanının bulunduğu bölgede Ağustos ayında aylık 121–140 mm'lik bir evapotranspirasyon değeri tespit edilmiştir. Ancak bu bölgede son 15 yıllık dönemde potansiyel evapotranspirasyon (PE) değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir [51]. Yağmur bahçeleri gerek su hasadı, gerekse suyun temizlenerek yer altı kaynaklarına hızlı bir biçimde aktarılması ve yüzeysel akışın azaltılması açısından değerli bir yaklaşım sunmaktadır. Yağmur bahçelerinin İstanbul kentinde peyzaj uygulamalarına dahil edilmesi ile birlikte, kentlerde yüzeysel akışı azaltabilen yeşil alanların oluşturulması, kısıtlı su kaynaklarının etkin kullanımı ve yönetimi mümkün olabilecektir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK 2209/A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı ve İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi YADOP 45661 Numaralı Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Birleşmiş Milletler Binyılın Ekosistem Değerlendirme Kurulu Bildirisi, Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press, Washington, DC, 2005.
2. VanWoert N.D., Rowe D.B., Andresen J.A., Rugh C.L., Xiao L., Watering regime and green roof substrate design affect Sedum plant growth, HortScience, 40 (3), 659-664, 2005.
3. Dietz M.E., Clausen J.C., A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment, Water, Air, Soil Pollut., 167 (1–4), 123–138, 2005.
4. Kuichling E., The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populousdistricts, Transactions of the American Society of Civil Engineers 20, 1–60, 1-56, 1889.
5. Davis A.P., Field performance of bioretention: Hydrology impacts. *Journal of Hydrologic Engineering* 13 (2), 90-95, 2008.
6. Walsh C.J., Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration. Hydrobiologia 431 (2), 107-114, 2000.
7. Coffman L.S., Method and apparatus for treating stormwater runoff. U.S. Patent 6, 277, 274, 21 Aug. 2001.
8. U.S. Environmental Protection Agency, Report on protecting water quality from urban runoff, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, Water Supply and Water Resources Division Cincinnati, OH, 2003, AEPA 841-F-03-003, 2003.
9. Calkins M., The Sustainable Sites Handbook: A Complete Guide to the Principles, Strategies, and Best Practices for Sustainable Landscapes. John Wiley & Sons, 2011.
10. Dietz M.E., Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. Water, air, and soil pollution, 186 (1-4), 351-363, 2007.
11. Davis A.P., Hunt, W.F., Traver R.G., Clar M., Bioretention technology: Overview of current practice and future needs. Journal of Environmental Engineering, 135 (3), 109-117, 2009.
12. Hassing J., Integrated Water Resources Management in Action: Dialogue Paper. Unesco, 2009.
13. Schultz H.W., Clean Water Act of 1977. In Food Law Handbook, 421-432, Springer Netherlands, 1981.
14. Prince George's County: Design Manual for Use of Bioretention in Stormwater Management, Prince George's County (MD) Government, Department of Environmental Protection.Watershed Protection Branch, Landover, MD, 1993.

15. Davis A.P., McCuen R.H., Stormwater management for smart growth. Springer Science & Business Media. Springer, New York, 2005.

16. Endreny T., Collins V., Implications of bioretention basin spatial arrangements on stormwater recharge and groundwater mounding. ecological engineering, 35 (5), 670-677, 2009.

17. Jenkins J.K.G., Wadzuk B.M., Welker A.L., Fines accumulation and distribution in a storm-water rain garden nine years postconstruction. Journal of irrigation and Drainage Engineering, 136 (12), 862-869, 2010.

18. Dussaillant A.R., Wu C.H., Potter K.W., Richards equation model of a rain garden. Journal of Hydrologic Engineering, 9 (3), 219-225, 2004.

19. Aravena J.E., Dussaillant A., Storm-water infiltration and focused recharge modeling with finite-volume two-dimensional Richards equation: Application to an experimental rain garden. Journal of Hydraulic Engineering, 135 (12), 1073-1080, 2009.

20. Yang H., McCoy E.L., Grewal P.S., Dick W.A., Dissolved nutrients and atrazine removal by column-scale monophasic and biphasic rain garden model systems. Chemosphere, 80 (8), 929-934, 2010.

21. Yang H., Dick W.A., McCoy E.L., Phelan P.L., Grewal P.S., Field evaluation of a new biphasic rain garden for stormwater flow management and pollutant removal. Ecological Engineering, 54, 22-31, 2013.

22. Demir D., Konvansiyonel Yağmur-suyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmur-suyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, İstanbul, 191, 2012.

23. Sert E., Enerji Etkin Kentsel Peyzaj Tasarımında Yağmur Suyu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Peyzaj Mimarlığı Programı, İstanbul, 133 , 2013.

24. Müftüoğlu V., Perçin H., Sürdürülebilir kentsel yağmur suyu yönetimi kapsamında yağmur bahçesi, İnönü Üniversitesi Sanat Ve Tasarım Dergisi, 5 (11), 27-37, 2015.

25. Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Bahçeköy Meteoroloji İstasyonu 1974–2004 yılları meteorolojik ölçüm verileri, İstanbul.

26. Little T.M., Hills F.J., Agricultural experimentation: Design and analysis. John Wiley&Sons Inc., ISBN 0-471-02352, 1978.

27. Brown J.R., Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region; North Central Regional Research Publication 221, Revised January, 1998.

28. Soil Survey Division Staff, Soil survey manual. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture Handbook 18, 1993.

29. Yaltırık F., Efe A., "Otsu Bitkiler Sistematiği Ders Kitabı", İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, 2.baskı, İstanbul, ISBN 975-484-122-9, 1996.

30. Packham J.R., Harding D.J., Hilton, G.M. Functional ecology of woodlands and forests. Springer Science & Business Media, 1992.

31. Davis P.H., Flora of Turkey and the East Aegean Islands, 1-8, University of Edinburg, 1984.

32. Monterusso M.A., Rowe D.B., Rugh C.L., Establishment and persistence of Sedum spp. and native taxa for green roof applications, HortScience, 40 (2), 391-396, 2005.

33. Rowe D.B., Kolp M.R., Greer S.E., Getter K.L., Comparison of irrigation efficiency and plant health of overhead, drip, and sub-irrigation for extensive green roofs, Ecological Engineering, 64, 306-313, 2014.

34. Benvenuti S., Bacci D., Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs, Urban ecosystems, 13 (3), 349-363, 2010.

35. Farrell C., Mitchell R.E., Szota C., Rayner J.P. Williams N.S.G., Green roofs for hot and dry climates: interacting effects of plant water use, succulence and substrate, Ecological Engineering, 49, 270-276, 2012.

36. Bousselot J.M., Klett J.E., Koski R.D., Moisture content of extensive green roof substrate and growth response of 15 temperate plant species during dry down, HortScience, 46 (3), 518-522, 2011.

37. Butler C., Orians C.M., Sedum cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof, Ecological Engineering, 37 (11), 1796-1803, 2011.

38. Shirreffs D.A., Anemone Nemorosa L. The Journal of Ecology, 1005-1020, 1985.

39. Doğangönül Ö., Doğangönül C., Küçük ve Orta Ölçekli Yağmur Suyu Kullanımı (2.Baskı), Teknik Yayınevi, Ankara, 2008.

40. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, "Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği", Resmi gazete, Sayı: 28483, Resmi Gazete, Ek 5, 2012.

41. TSE, TSE 266 Sular - İnsanî tüketim amaçlı sular ile ilgili Türk Standardı, 2010.

42. Resmi Gazete, İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, 17.02.2005 Resmi Gazete Sayısı: 25730, 2005.

43. The Council Of The European Union, Council Directive 98/83/ec on the quality of water intended for human consumption, Official Journal of the European Communities, L 330/32, 1998.

44. WHO, Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition; World Health Organization, 2011.

45. Yıldız Y., Analysis of Performance of Night Ventilation for Residential Buildings in Hot-Humid Climates, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29 (2), 385-394, 2014.

46. NOAA, Will the Wet Get Wetter and the Dry Drier?, GFDL Climate Research Highlights 1 (5), The National Oceanic and Atmospheric Administration Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)-Princeton, NJ, 2007.

47. IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental

Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151, 2014.

48. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2013 Yılı İklim Değerlendirmesi.http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/2013-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf Son erişim tarihi: 20.09.2015

49. Atik M., Karagüzel O., Peyzaj Mimarlığı Uygulamalarında Su tasarrufu Olanakları ve Süs Bitkisi Olarak Doğal Türlerin Kullanım Önceliği Üzerine Bir Araştırma. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı A.B.D, Antalya, 2007.

50. Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Referans Toplam Buharlaşma (Reference Evapotranspiration - ETo) haritaları, 2010.

51. Turoğlu H., İklim değişikliği bağlamında İstanbul'un su yönetimi problemleri (In the context of climate change, water management problems of Istanbul) TÜCAUM VIII, Coğrafya Sempozyumu, 23-24 Ekim 2014, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Muzaffer Göker Salonu, Ankara, 2014.