

Yeşil Çatı Drenaj Levhasının Geçirimsizliğe Etkisi

Pelin Sertyeşilşik^{1,*} , Tayfun Uygunoğlu¹ 

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 03300, Afyonkarahisar.

Özet

Nüfusun kentlerde artması konuların, yolların ve sanayi gibi yapıların artmasına ve bu da geçirimli alanların geçirimsiz yüzeylerle kaplanmasına sebep olabilmektedir. Ancak, yağmur suyu yönetimi için geçirimli alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sürdürülebilir yağmur suyu yöntemlerinden biri olan yeşil çatı sistemi bu soruna bir çözüm olabilecek potansiyelde olup dünyada da pek çok örneği bulunmaktadır. Günümüzün en önemli sorunlarından biri olan, kentlerde görülen ani sel felaketleri ve kanalizasyon taşkınları yeşil çatı sisteminin kullanılması ile azaltılabilir. Yağmur suyunun yeşil çatı sistemleri ile depolanıp verimli kullanımı potansiyeli olması sebebiyle, bu çalışmada yağmurdan kaynaklı oluşan yüzey akışlarına yeşil çatı sisteminin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, ekstansif bir yeşil çatının alt tabakasını drenajlı bir sistem oluşturularak çıkış debisine olan etkisi incelenmiştir. Model olarak oluşturulmuş bir yeşil çatı düzeneğinde yağış-akış olayları, %3, 6, 9 ve 12 yüzey eğimleri dikkate alınarak ve su akış sensörü kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler sonucunda yüzeye drenaj levhası serilmesi durumunda boş yüzeye göre tüm eğimlerde suyun akışını eğime bağlı olarak %68-81 oranlarında çıkış süresini geciktirmiştir. Ayrıca, alt tabakada yeşil çatı drenaj levhası kullanımıyla yüzey geçirimsizlik katsayısının yaklaşık 0.5-0.7 arasında değiştiği görülmüştür, boş yüzeye göre daha düşük değerler almıştır. Sonuç olarak, yeşil çatı sistemlerinde drenaj levhasının serilmesi kentlerde yağış şiddetinin azaltılmasında etkili olabileceği görülmüştür. Yeşil çatı sistemlerinde kabarcıklı levha kullanılması durumunda farklı eğimler için yağış-akış hesaplamalarında kullanılacak C katsayısı için bir aralık ortaya konmuştur. Bu çalışmanın çıktıları iklim değişikliği sebebiyle artan yağmur şiddetinin kentlerde oluşabilecek sel felaketlerini yönetmek ve oluşabilecek maddi ve manevi hasarı azaltmak için kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler

Yeşil Çatı Alt Katmanları, Su Tutma Süresi, Akış Katsayısı, Kent Hidrolojisi

Permeability Effect of Green Roof Drainage Board

Abstract

Populations in cities result in the building of housing, transportation, and industry, which might cause to alter the permeable surfaces to impermeable surfaces. However, permeable terrain is essential for stormwater management. One of the environmentally friendly ways to collect rainwater is to install green roofs, and there are examples of this all over the world. Using the green roof system helps lessen flash floods and sewage floods in cities, which are today's most significant issues. Due to the fact that the rain water can be collected and used efficiently via green roof systems the effects of the form of the bottom layer of the extensive green roof on the output flow were investigated using both with and without drainage layer systems in this study. Rainfall-runoff events were observed by a water flow sensor and a green roof setup with surface slopes of 3, 6, and 12% were constructed as a model. According to the results, surface flow from the drainage board at all slopes is delayed by 68-81% compared to the empty surface. In addition, it has been noted that the surface permeability coefficient ranges between 0.5-0.7 and has taken values lower than the empty surface when there is a drainage board at the base of the green roof. As a result, it has been seen that laying the drainage board in green roof systems can be effective in reducing the intensity of precipitation in cities. In the case of using bubble sheets in green roof systems, a range for the C coefficient to be used in precipitation-flow calculations for different slopes has been revealed. The outputs of this study can be used to manage the flood disasters that may occur in cities due to the increased rainfall intensity due to climate change and to reduce the material and moral damage that may occur.

Keywords

Green Roof Layer Materials, Water Retention Time, Runoff Coefficients, Urban Hydrology

1. Giriş

Su hayat için vazgeçilmez bir ihtiyaçtır ve her geçen gün artan bir talep bulunmaktadır. Bundan dolayı su kaynakları korunmalı ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmalıdır (Meriç 2004; Aksungur ve Firidin 2008). Nüfusun artması, iklim değişikliği, tarım, hayvancılık, endüstrileşme ve kentleşme gibi faktörler su kaynaklarını tehdit etmektedir. İklim değişikliği küresel sıcaklık artışlarına sebep olabilmektedir bu da bazı yerlerde şiddetli yağışlara sebep olup sel felaketleri görülmesine bazı yerlerde ise yüksek buharlaşma ile kuraklığa sebep olmaktadır (Ahmed vd. 2020).

Bununla beraber toprağın nem tutma kapasitesi ve yüzey akış miktarında değişimlere yol açmaktadır (Stagl vd. 2014). İklim değişikliği doğal ekosistemin dengesini bozabilmektedir ve kentlerdeki su yönetimi de bu durumda etkilenebilmektedir (Koçhan ve Akin 2022). Kentleşme ile sulak ve yeşil alanlar gündün güne azalmaktadır; bununla beraber yağış olayları da iklim değişikliği sebebi ile şiddetini arttırmaktadır ve buna bağlı kentlerde yağmursuyu akış problemleri görülmektedir (White 2002; Stone 2004; Erkul 2012; IPCC 2021).

Bunlarda su kaynaklarının kapasitelerinin düşmesine sebep olabilmekte ve özellikle kentlerde su kaynaklarının korunması konusunda sorunlar hızla artmaktadır (Kılıç 2008). Tüm bunlar sebebiyle, yağmur suyunun yönetimi ve verimli kullanılması için yöntemler geliştirilmesini gerekmektedir (Tavşan vd. 2022). Dolayısıyla günümüzde kentlerin doğal çevre ile uyum içinde olması, doğal kaynakların korunması bir gereklilik olmaktadır (Mentens vd. 2006). Su kaynaklarını doğanın ve teknolojinin ihtiyaçlarına göre yeniden düzenleyecek mekanizmaların kurulması ve yönetim planlarının oluşturulması gerekmektedir (Meriç 2004; Aksungur ve Firdin 2008). Kentsel sürdürülebilirlik bu sorunlara çözüm üreten bir yaklaşım olarak ortaya konulabilir ancak henüz hak ettiği noktaya ulaşamamıştır (Aras 2019). Sürdürülebilir binalar bu değişime uyum gösterebilmesi, etkilerin azaltılabilmesi için bir alternatif oluşturabilirler (Koçhan ve Akin 2022). Sürdürülebilir binalar şehirlerin kaybettiği sulak ve geçirimsiz alanları yeşil altyapı yöntemleri ile telafi edilebilir (Tunçay 2022). Bu yöntemler “Suya Duyarlı Kentsel Tasarım”, “Düşük Etkili Gelişim” ve “Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri” olarak görülebilmektedir (Tunçay 2022). Kentlerin geçirimsiz yüzeylerinin önemli bir kısmını çatılar oluşturmaktadır. Yeşil çatılar sürdürülebilir binaların önemli bir parametresidir (Karaosman 2006). Yeşil çatılar kentlerde doğal çevrenin artmasına ve iyileşmesine katkı sağlar (McIntyre ve Snodgrass 2010; Aras 2019). Çatı yüzeylerinin mevcut alanı kullanılarak, ek arazi alanı gerektirmeden yüzeyler geçirimsiz hale gelebilmektedir (Chen 2013).

Bunlara ek olarak, Early vd. (2007) ve Woods-Ballard vd. (2007) yeşil çatıların kullanımına ilişkin kılavuzlar üretmiştir. Amerikan Test ve Malzemeleri Topluluğu ve Almanya Peyzaj Gelişimi ve Peyzaj İnşaatı Araştırma Kurumu (FLL) (Landschaftsbau 2002) gibi standartlar yeşil çatının binaya eklenmesi aşamasında oluşacak yükler, rüzgâr ve yangın güvenliği, membranın özellikleriyle ilgili bilgiler içermektedirler (Karaosman 2006; Lanham 2007; Luckett 2009; Erkul 2012). Ayrıca FLL, özel olarak imar planlamasında, inşaat ruhsatı verilmesinde ve iskân alınmasında yeşil çatıların puanlama yöntemiyle değerlendirilmesi için geliştirilmiştir (Landschaftsbau 2002). Puanlamada çatı konstrüksiyonu, bitki yataklarının su tutma kapasitesi, drenaj tabakasındaki su tutma kapasitesi, bitki çeşitliliği, hacmi gibi kategorilerde belirli asgari kriterlerin karşılanması gerekmektedir (Karaosman 2006). Bu belgelerin geliştirilmesi farklı bölge ve iklim şartlarında yeşil çatıların uygulanabilirliği açısından önemlidir (Karaosman 2006; McIntyre ve Snodgrass 2010; Erkul 2012). Yeşil çatıların günümüzde Avrupa, Amerika ve Asya’da birçok örneği bulunmaktadır ve de ilgi giderek artmaktadır (Karaosman 2006; Chen 2013). Çünkü yeşil çatı kullanımı şehirlerin karbon emisyonlarını da azaltmaktadır, aynı zamanda yeşil yapı inşaatını teşvik etmek, ısı adası etkilerini azaltmak ve kentsel taşkın kontrolünü artırmak gibi hedefleri gerçekleştirmede kullanılabilir (Chen 2013). Ülkemizdeki yeşil çatılar konusunda yapılan çalışma ve örnek uygulamaların diğer ülkelere göre oldukça az olduğu görülmektedir. Ülkemizde de yerel yönetimler; ulusal ve bölgesel hükümet politikaları, belirleyerek yeşil çatıların gelişimini teşvik edebilirler. Özellikle de kentlerdeki kanalizasyon sistemlerinin günümüz iklim değişikliği ve artan nüfus değişimlerine uyum sağlaması için yeşil çatılar çözüm yöntemlerinden biri olabilir, çünkü yeşil çatılar yağmur suyunun yönetiminde etkin görev alabilmektedir (Getter 2006; Karaosman 2006; Vancouwer 2009; Erkul 2012). Yeşil çatının yağmur suyu yönetimi ile ilişkisi şu şekilde açıklanabilir; yeşil çatılar yağmur suyunun bir miktarının, üzerindeki bitkiler ve toprak yüzeyiyle emilmesi sayesinde ilk akış zamanının geciktirilmesini sağlayabilirler ve böylece toplam akışı azaltabilirler. Ayrıca bu sistemlerde yağışın bir miktarı buharlaşma yoluyla atmosfere bırakılmaktadır. Kalan yağmur suyu, yeşil çatının alt katmanlarından süzülerek drenaj sistemi ile uzaklaştırıldığı bilinmektedir (Mentens vd. 2006; Vancouver 2009; Torres 2010; Erkul 2012). Dolayısıyla, akış hacimlerini azaltmak ve tepe akışlarını geciktirmek için binalardaki kullanılmayan alanların yerini yeşil çatılar alabilirler (Mentens vd. 2006; Carter ve Jackson 2007; Teemusk ve Mander 2007; Spolek 2008; Chen 2013).

Antik dönemlerden günümüze kadar uygulanmış olan yeşil çatı sistemleri çevre kirliliklerinin artmasıyla günümüzde yeniden önem kazanmıştır, özellikle kentleşme ile oluşan olumsuzluklar yeşil çatı sistemlerinin farklı uygulamalarının geliştirilmesini olanak sağlayan birçok çalışma ortaya konmaktadır. Yoğun (intansif) ve seyrek (ekstansif) olarak uygulanabilen yeşil çatı sistemleri, buldukları ortama çevresel, rekreatif ve ekonomik gibi birçok faydalar sağlaması dünyadaki uygulanma sayısını giderek arttırmaktadır (Küleççi 2017). Ekstansif (seyrek) yeşil çatı; su geçirmez membran, bitki kökünün tutunduğu kısım, drenaj ve filtre tabakaları, bitki yetişme ortamı ve en üstte de bitki katmanlarından oluşmaktadır (Waldbaum 2008; Erkul 2012). Yeşil çatı sistemini oluşturan katmanların her birinin bir işlevi vardır ve bu işlevi en iyi yerine getirebilen malzemenin seçilmesi ve dirençli olması, uzun vadeli olması gerekmektedir (Erkul, 2012). Yeşil çatılar, verimli bir drenaj sistemine sahip olmalıdır (Snodgrass ve Snodgrass 2006; Fisher 2007; Erkul 2012). Drenaj sistemi bitkinin yetiştiği ortam ile çatı membranı arasında bulunmaktadır (Dunnett ve Kingsbury 2008; Erkul 2012) ve yeşil tabaka tarafından artan suları toplamaktadır (Liesecke 1984; Liesecke 1987; Cantor 2008; Koç ve Güneş 2011; Ekşi 2016). Bu nedenle drenaj sisteminin bloke olmaması gerekmektedir (Dunnett ve Kingsbury 2008).

Drenaj levhasının özellikleri üstündeki bitki örtüsüne, yağış miktarına göre değişebilmektedir (Aslanboğa 1988, Kolb ve Schwarz 1988; Koç ve Güneş 2011). Aynı zamanda yıllar boyunca da drenaj sistemleri değişikliğe uğramıştır, başlarda çakıl, kaya parçaları kullanılmıştır ancak bu tarz malzemelerin çatıya yük bindirdiği ortaya çıkmıştır ve de başlarda filtre örtüsü bulunmamaktadır (Osmundson 1999; Ekşi 2016).

Yakacık Ortak Alanı Çatı Bahçesinde drenaj katmanı olarak oluklu plastik drenaj levhaları kullanılmıştır. Bunun sebebi; bu levhalar, oldukça hafif, dayanıklı ve verimli bulunmaktadır (Ekşi 2016). Çatıyı biraz eğimli tutarak ve tanecikli malzemelerle (kırma taş, çakıl ve agrega gibi), veya prefabrikte ile suyun drenajı sağlanabilir. Granüllü malzeme bir yetiştirme ortamının sahip olması gereken sıcaklık ve nem koşullarını sunabilmektedir (Dunnett ve Kingsbury 2008; Erkul, 2012), ancak ağırdır ve kurulumu kolay değildir (Lockett 2009). Prefabrikte ise aşırı suyu tahliye edebilmektedir (Cunningham 2001; Erkul 2012).

Yeşil çatılardaki akış miktarının gözlemlenmesi çoğunlukla deneyler ile olmuştur ve özellikle, düşük şiddetteki ve kısa süreli yağışlarda akışı yavaşlattıkları ve belli ölçülerde akış miktarını azalttıkları görülmüştür (Villarreal ve Bengtsson 2005; Carter ve Rasmussen 2006; Mentens vd. 2006; Snodgrass ve Snodgrass 2006; Gregoire ve Clausen 2011; Stovin vd. 2012). Bu nedenle USEPA (2000) tarafından seli azaltmak için yeşil çatı kullanımı önerilmiştir. Örneğin, Kaufmann (1999) yapmış olduğu çalışmada eğimi sabit tutup (%2) çıkış akışını hem yeşil çatıda hem de 5 cm çakıllı çatıda gözlemlenmiştir. Çakıl çatıda çıkış akışının kışın %86 ve yazın %70 olduğu gözlemlenirken, yeşil çatıda çıkış akışı kışın %80, yazın %52 olduğu görülmüştür (Mentens vd. 2006). Young vd. (2009) çalışmasında hesaplamalarda maksimum çıkış debisini rasyonel metod ile eğri numarası (CN) ve maksimum akış sabiti (Cpeak) ile eşleştirmiş, tepe akışı ve tepe yağış şiddeti verilerini kullanarak tanımlamıştır. Hill vd. (2017) toplu hacimsel akış katsayısını (Cvol) aylık, mevsimlik ve tek yağış olayları için açıklamışlardır ve Cvol'ü, yağışın yüksekliği (P, mm olarak) toplamının, toplam deşarj derinliğine (Q, mm) bir oranı olarak hesaplamıştır. Schärer vd. (2020) yeşil çatıların akış katsayılarını (C) çatı sistemlerindeki her bir katman için tek tek incelenmiştir ve de akış katsayısını 10 farklı tek katman ve katman kombinasyonları için bulmuştur. Akış katsayısı (C), yağışın sona erdiği andaki litre cinsinden akış hacmi (R) ve akış (litre olarak eklenen toplam su hacmi, V) arasındaki ilişki olarak verilmiştir. Schärer vd. (2020) ise çatılar için akış katsayısı (C) hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Akış katsayısını etkileyen diğer parametreler çatının eğimi, yönü ve gölgelenmesidir (Erkul 2012) çünkü uygun drenajın sağlanması için eğimli bir yüzey gerekmektedir (Lockett 2009). Eğimin çatıya etkisi ile bitkilerde nem farklılıkları görülebilir. Örneğin, eğimli bir çatının alt kenarlarında bitki yetiştirme ortamı daha fazla su tutarken, üst kenarlarında daha az su tutacaktır ama daha fazla hava boşluğu görülecektir. Buna bağlı olarak en uygun olan sulama sistemi tasarımı gerekmektedir (Snodgrass ve Snodgrass 2006). Ayrıca, 15 dereceden fazla eğimi olan çatılar kayma sorunu yaşayabilir (Velazquez 2005; Erkul 2012). Diğer taraftan düşük eğimli çatılarda da yaz mevsiminde çok fazla ısınma görülebilir. Aslında, bir yeşil çatının kullanım amacı yağmur suyunun saklanması ve akışının azaltılması olduğu için düşük eğimli çatılar daha uygun olabilmektedir (Dunnett ve Kingsbury 2008). Ekstansif (seyrek) yeşil çatının drenaj özelliğini sağlamak için en az %2 eğimli ve erozyona karşı dirençli olması için de maksimum %40 eğimli olması tavsiye edilmektedir (URL-1 2007). Yeşil çatılar, kentsel yağış akışını azaltmak için yararlı bir araç olabilirler ama akış üzerindeki etkilerinin artması için, bu sistemlere başka akış azaltma ve/veya su tutma araçları eşlik etmelidir (Mentens vd. 2006). Bünyesinde en fazla sürede suyu tutabilen ve bitkinin yetişmesine katkı sağlayabilen yeşil çatı sisteminin belirlenmesi kolay ve ucuz değildir. Bu nedenle yeşil çatı sistemi uygulamalarının sağlamış olduğu faydaların görülmesine, çeşitlenmesine, sistemi geliştirecek teknoloji ve malzeme özelliklerinin geliştirilmesi ve bunlara ilaveten en fazla su tutabilen yeşil çatı sistemi için malzemelerin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Yeşil çatı uygulamalarında kullanılan özellikle kabarcıklı levhaların bitki kök beslemedeki su tutma kapasitesi gibi etkileri teknik özellik olarak belirtilmektedir. Ancak bu tip malzemelerin yeşil çatı sistemlerinde kullanılmaları durumunda çatı eğimine bağlı olarak yağış suyunu yavaşlatma özellikleri araştırılmamıştır. Dolayısıyla bu tip levhaların kullanılması durumunda konuyla ilgili hesaplamalarda kullanılacak yağışın akışa dönüştürülmesi gibi katsayılar da belirsizdir. Bu çalışmada, bir ekstansif (seyrek) yeşil çatı kurulması için alt katmanlarının suyun yavaşlatması ve tutulmasına etkisi açısından araştırılması amaçlanmıştır. Böylece malzeme seçiminin ve çatının eğiminin yağmur suyunu yavaşlatma ve tutma yönündeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

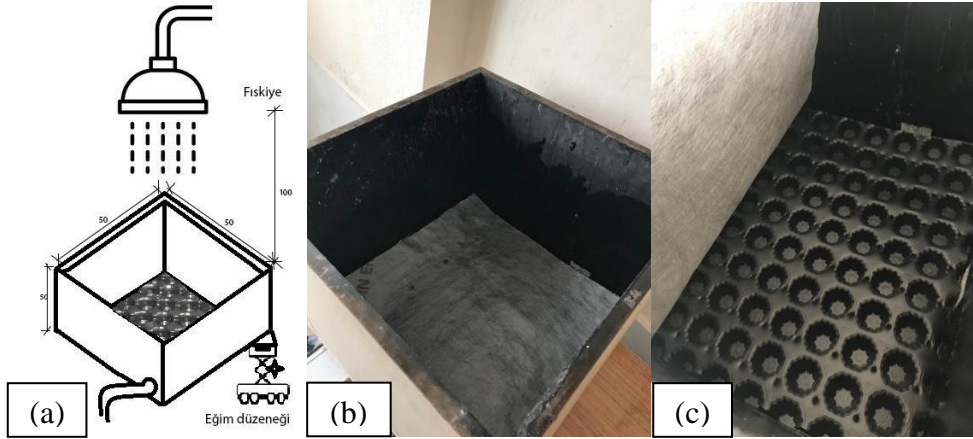
2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada yeşil çatı alt katmanlarından biri olan drenaj levhasının ve eğiminin çıkış debisinin büyüklük ve süre bakımından etkisi bir dizi deneyle gözlemlenmiştir. Bu araştırmanın deneysel çalışmalarında üst tabaka olarak nitelendirilen toprak ve bitki gibi parametreler sabit kabul edilerek sadece alt tabakadaki yüzey farklılığı araştırılmıştır.

2.1. Materyal

Yağış akış olaylarını gözlemlemek için 0.5 x 0.5 m boyutlarında yüzeyi bitümlü suya karşı yalıtılmış ahşap bir malzemeyle (MDF) sabit alanlı bir düzenek oluşturulmuştur. Bu düzenek düz çatı kaplama malzemesini, herhangi bir ekleme yapılmadan kontrol amaçlı bir yeşil çatı yapısının en alt katmanını oluşturmaktadır (Şekil 1a ve 1b). Bu çalışmada giriş debisi Q (lt/sn) şehir şebekesinden beslenen fiskiye nozulunun deney düzeneğinden 1 m yukarısından uygulanarak elde edilmiştir. Yeşil çatı alt tabaka düzeneği ölçüm düzeni eğimi %3, 6, 9 ve 12 olacak şekilde oluşturulmuştur. Her eğimde, önce boş iken akış debileri ölçülmüş, daha sonra 20 mm yüksekliğinde suyu biriktiren oluklu drenaj levhası ile (Şekil 1c) kaplandıktan sonra debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Drenaj levhası, 7 l/m² su tutma kapasiteli ve polimer esaslı üründür.

Ağırlığı 400 g/m² olup, kalınlığı 0.38 mm'dir. Drenaj levhası deney düzeneğine, kabarcıklar aşağıya bakacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 1: Yeşil çatı sisteminin alt tabanı için oluşturulan (a) kutu düzenek; (b) 20 mm drenaj levhası

Yeşil çatı alt tabaka düzeneği için oluşturulan model sistemde fiskiye öncesine ve eğimli model sistemin alt çıkış sonrasına su akış ve sensörü yerleştirilerek düzenekteki giriş ve çıkış debileri (lt/sn) anlık olarak dijital ortama kaydedilmiştir. Burada, sensörlerin çalışma gerilimi DC 5V-24V, çalışma akımı 15 mA (DC 5V), çıkış türü dijital, debi ölçüm aralığı 1-30 l/dk ve su basıncı da ≤ 1.75 MPa olarak ölçülebilmektedir.

2.2.Yöntem

Bu çalışmada çatı yüzeylerinden çıkan miktarı belirlemede [Kuichling \(1889\)](#) tarafından geliştirilen su rasyonel hesap denklemi (1) kullanılmıştır. Bu yöntem küçük su havzalarındaki hidrolik yapıların tasarımı için pik taşkın debisini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır ([Doğangönül ve Doğangönül 2009](#); [Young vd. 2009](#)).

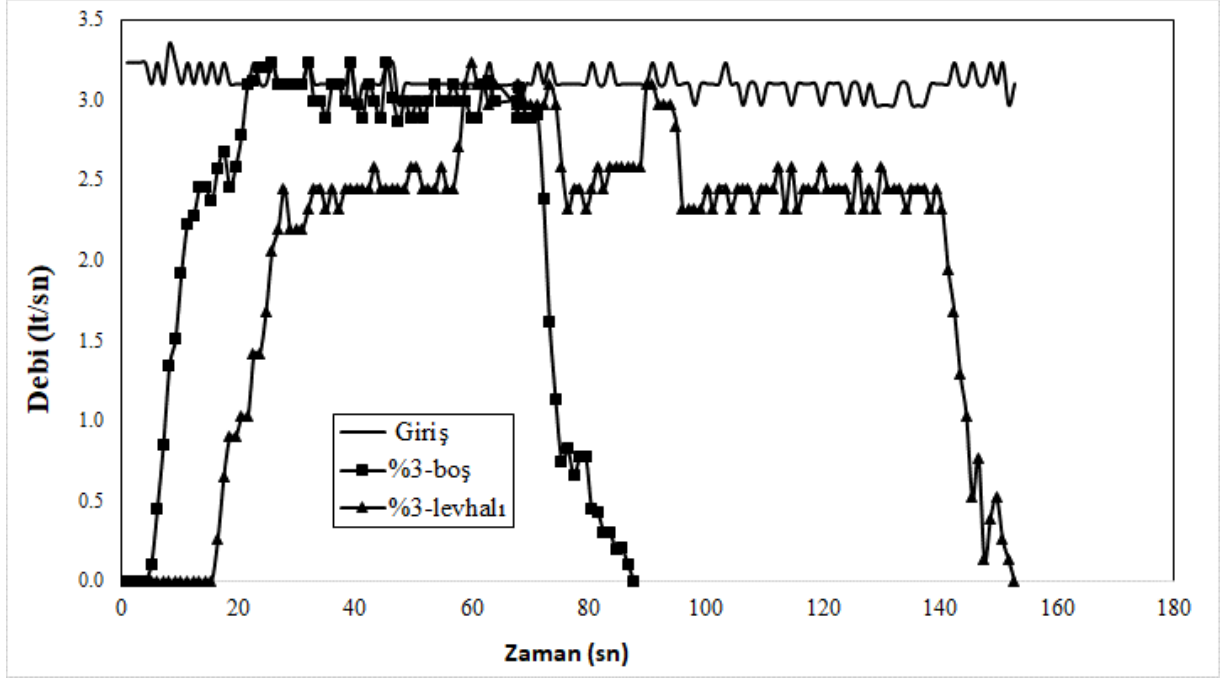
$$Q = C \times i \times A \quad (1)$$

Bu denklemde; Q (m³/süre) ya da (lt/süre) çıkıştaki su miktarı, i; yağış şiddeti (mm/saatte m² ye düşen miktar), A(m²) ise yüzey alanıdır (yatay düzlemde çatıların kapladığı alan). C ise yağışın akışa dönüştürülme katsayısı, boyutsuzdur. Yüzey geçirgenliğinin bir fonksiyonu olarak değişkendir ([Doğangönül ve Doğangönül 2009](#); [Young vd. 2009](#); [Mobilia vd. 2014](#)). Deneysel düzenekte, yüzey alanına (A) düşen yağış miktarları (i) deney süresince sabit tutulmuş olup, giriş debileri (Q_G) ve çıkış debileri (Q_C) dijital sensörle ölçülmüştür. Yağışın akışa dönüştürülme katsayısı olan C, birim zamanda sistemdeki çıkış debisinin giriş debisine oranlanmasıyla, her bir deney düzeneği için hesaplanmıştır.

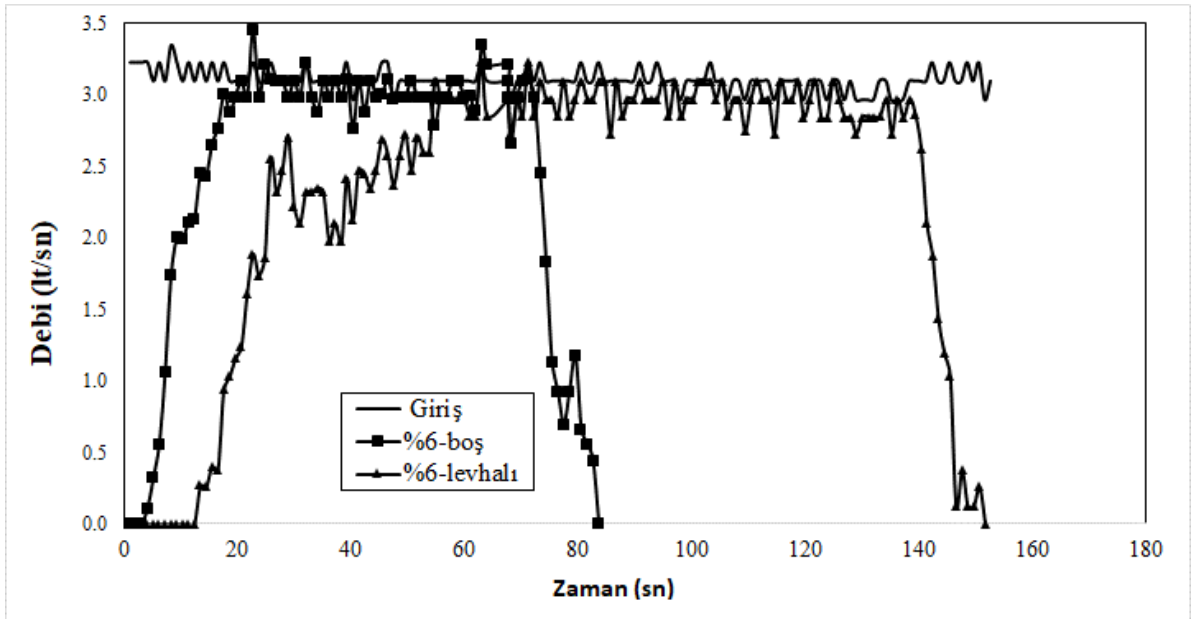
3. Deneysel Sonuçlar

3.1. Yüzeyler için çıkış debileri

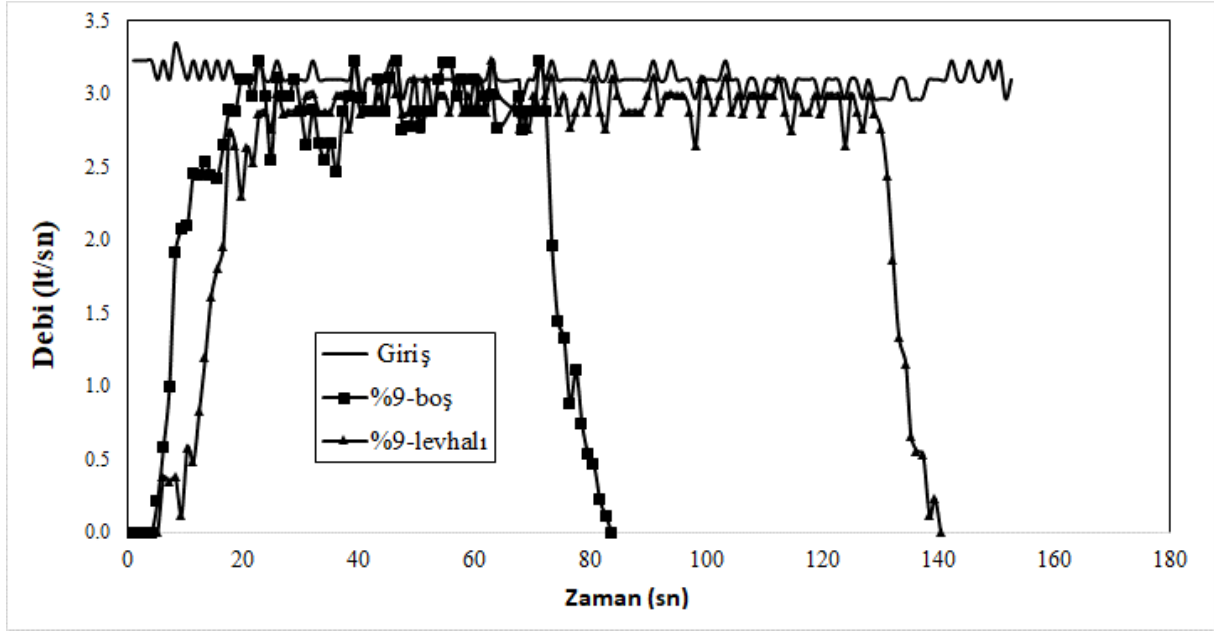
Bu çalışmada, yeşil çatı alt tabaka düzeneği boş iken ve 20 mm suyu biriktiren oluk yükseklikli drenaj levhası ile kaplıyken, düzeneğe zamana bağlı giren yağış miktarları, düzeneğin eğimi %3, 6, 9 ve 12 olduğunda oluşan çıkış debilerinin dijital sensörlerle ölçülerek belirlenmiştir (Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5). Tüm ölçümlerde giriş debisi sabit tutulmuştur.



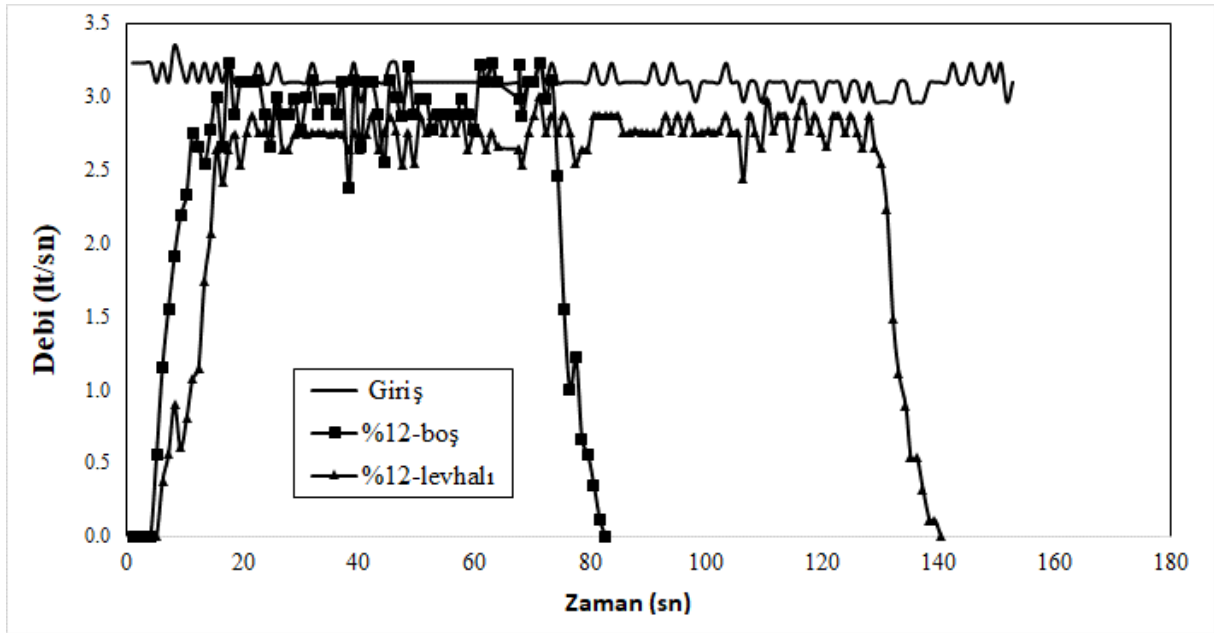
Şekil 2: %3 eğimli yüzeydeki drenaj malzemelerinin çıkış debisine etkisi



Şekil 3: %6 eğimli yüzeydeki drenaj malzemelerinin çıkış debisine etkisi

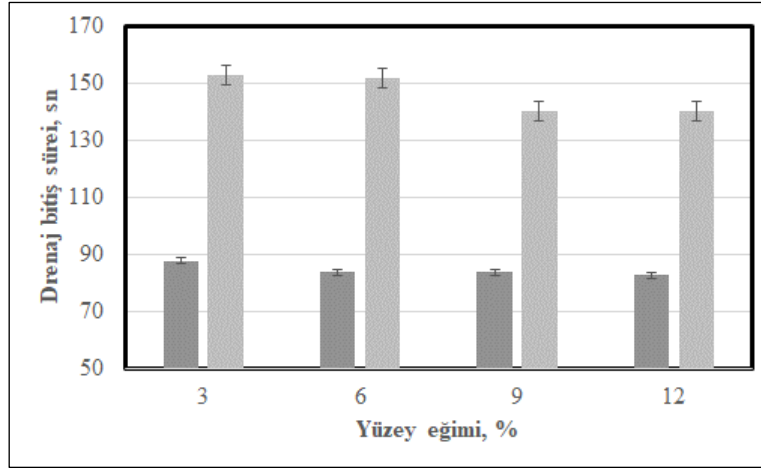


Şekil 4: %9 eğimli yüzeydeki drenaj malzemelerinin çıkış debisine etkisi



Şekil 5: %12 eğimli yüzeydeki drenaj malzemelerinin çıkış debisine etkisi

Şekil 2'de %3 eğimli yüzeydeki, Şekil 3'de %6 eğimli yüzeydeki, Şekil 4'de %9 eğimli yüzeydeki ve Şekil 5'te %12 eğimli yüzeydeki düzenekteki, yüzey boşken ve drenaj malzemesi varken çıkış debisindeki değişimler görülebilmektedir. Şekillerde yüzeyleri ifade etmek için "boş" yüzey ile drenaj levha kaplı yüzey için de "levhali" tanımlaması yapılmıştır. Şekillerden görüleceği üzere, boş yüzeylerde suyun akış süresi yüzey eğimine bağlı olarak kısa sürede tamamlanırken, aynı yüzey 20 mm'lik drenajla kaplandığında tüm eğimlerde yapılan ölçümlerde çıkış debileri yüzey boşken alınan değerlere göre hem başlangıçtaki ilk çıkışın görüldüğü süre hem de drenaj sürelerinde belirgin artışlar görülmüştür. Yapılan ölçümlerde drenaj bitiş süreleri de belirlenmiş ve Şekil 6'da boş ve drenajlı yüzey için karşılaştırılmıştır. Her iki yüzey durumu için de (boş ve drenaj levhali) eğimin artmasıyla birlikte aşamalı olarak daha kısa sürede suyun drenaj çıkışı tamamlanmıştır. Çatı modelindeki eğim değerlerinin %3-12 arasında değişimi için boş yüzeyden suyun çıkış süresi ise sırasıyla 87.7 ve 82.55 sn'de tamamlanmıştır. Yüze drenaj levhası serilmesi durumunda ise yine tüm eğimlerde boş yüzeye göre suyun akışını eğime bağlı olarak %68-81 oranlarında çıkış süresini geciktirmiştir. Drenaj levhali yüzeyde suyun çıkışı %3 eğimde 152 sn'de tamamlanırken, %12 eğimde yaklaşık 138 sn'de tamamlanmıştır.



Şekil 6: Yüzey eğimine bağlı olarak suyun drenaj çıkış süresi

3.2. Yağışın akışa dönüştürölme katsayısı

Tablo 1’de yeşil çatı sistemi % 3, 6, 9 ve 12 eğimli iken sisteminin alt tabanı boş ve 20 mm suyu biriktiren oluk yükseklikli drenaj tabakası ile kaplanmış olduğunda elde edilen akış dönüştürme katsayısı (C) değerleri görölmektedir. Bu değerler, aynı yüzey ve alan için, her bir eğim için ortalama çıkış debisinin (Q_C) ortalama giriş debisine (Q_G) oranlanması ile elde edilmiştir.

Tablo 1: C Boş ve Drenaj levhalı yüzey

Eğim (%)	Q_G	$Q_{Cboş}$	$C_{Boş} = (Q_C / Q_G)$	$Q_{Cdrenaj}$	$C_{Drenaj} = (Q_C / Q_G)$
3	3.13	2.55	0.812	1.65	0.527
6	3.13	2.59	0.828	1.73	0.552
9	3.13	2.53	0.808	2.28	0.727
12	3.13	2.59	0.828	2.25	0.719

3.3. Çıkış debisinin birim hacmi doldurma süresi

Tablo 2’de yeşil çatı sistemi %3, 6, 9 ve 12 eğimli iken sisteminin alt tabanı boş ve 20 mm suyu biriktiren oluk yükseklikli drenaj tabakası ile kaplanmış olduğunda yağış başladığı andan itibaren birim hacimdeki (1lt) ölçeği doldurduğu süreleri görölmektedir. Eğim arttıkça dolun süresi kısalmaktadır. Boş olan yüzeyde süre daha kısa iken, 20 mm suyu biriktiren oluk yükseklikli drenaj tabakası ile kaplandığında dolun süresi artmaktadır. Suyu biriktiren oluk yükseklikli drenaj tabakası bağlı olarak birim hacmin suyla daha geç zamanda dolması, suyun drenaj çukurlarında tutulduğunu göstermektedir.

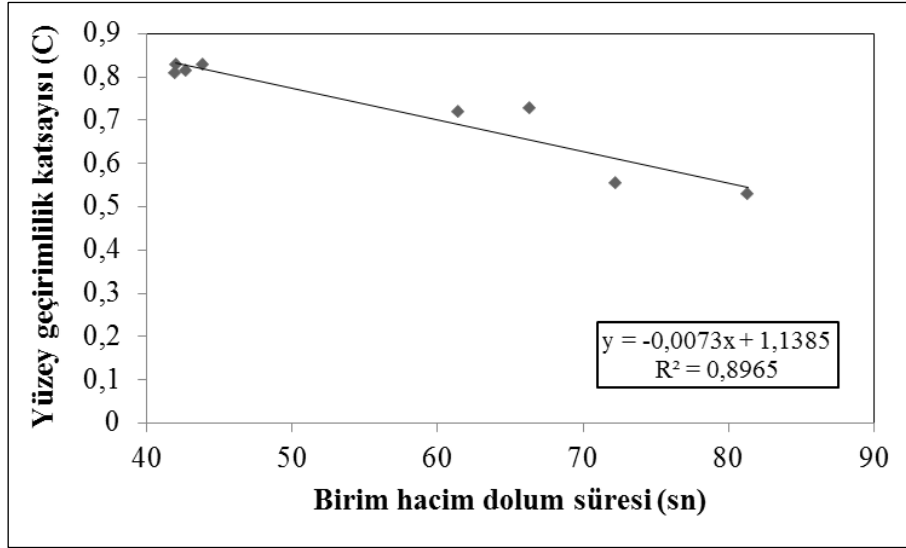
Tablo 2: Çıkış debisinin birim hacmi (1 lt) doldurma süresi

Eğim (%)	Boş yüzeyde dolun süresi (sn)	Drenaj levhalı yüzeyde dolun süresi (sn)
3	42.72	81.37
6	43.9	72.25
9	41.98	66.37
12	42.05	61.42

Bu çalışmanın önemli bulgularından birisi olan birim hacim dolun süreleri ile yeşil çatı alt tabaka malzemesine bağlı yüzey katsayıları (C) arasındaki ilişki Şekil 7’de verilmiştir. Yüzeyin C katsayısı arttıkça geçirimsizliğin arttığı ve buna bağlı olarak da birim hacmin yüzeyden çıkan suyla daha kısa sürede doldurulabildiği açıkça görölmektedir. Yüzey eğimine bağlı olarak elde edilen C katsayıları ile çıkış debilerinin birim hacmi doldurma süresi arasında (T) yüksek güvenilirlik derecesine ($R=0.94$) bağlı doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Bu ilişkideki bağıntı kullanılarak, bir yüzeyden çıkan su ile birim hacim dolun süresi ölçüldüğünde, yüzeye ait C katsayısı da aşığıda verilen Denklem (2) ile elde edilebilecektir.

$$C = -0.0073.T + 1.1385$$

(2)



Şekil 7: Alt yapı malzemesine göre çıkış debisi ve suyun tutulması arasındaki ilişki

4. Değerlendirme

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynaklarını tehdit ettiği görülmektedir. Bu durum su kaynaklarının korunması ve yönetimi konularını daha önemli bir hale getirmektedir. Günümüzde kentleşme ile beraber gelişen ormansızlaşma da bu durumu tetiklemektedir ve hidrolojik döngüde değişimlere sebep olabilmektedir (Karaman ve Gökçalp 2010). Özellikle kentlerdeki yağış yönetimi için alternatif çözüm önerileri araştırılmaktadır. Sürdürülebilir kentlerde, yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın yavaşlatılması, yağış sularının depolanıp verimli kullanılması için yeşil çatılar bir çözüm önerisi olabilmektedir (Olgun 2014; Aras 2019). Yeşil çatılar, kentlerde yağmur suyunu yönetmek, doğal yaşam alanı oluşturmak ve binalara estetik bir görüntü sunmak gibi kent yaşamına birçok olumlu etki sağlayan avantajlar sunmaktadır. Böylece günümüz açısından sürdürülebilir ve akıllı kentlerin önemli bir parçası olarak kabul edilebilirler çünkü bu olumlu etkileri iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuzlukları azaltabilmektedir (Aras 2019; Cömertler ve Cömertler 2021).

Ancak, dünyadaki kullanımına bakıldığında Türkiye'deki uygulamaların yetersiz kaldığı görülmektedir. Bunun bir sebebi de yeşil çatının faydalarının ve uygulama yöntemlerinin yetersiz oluşu öne çıkabilmektedir (Aras 2019). Kentsel sürdürülebilirlik çerçevesinde yeşil çatı sistemlerinin çevre mevzuatı içine dahil edilerek uygulanması gerekmektedir. Yeşil çatı sistemi su depolama özelliği olan drenaj sistemi ile birlikte kullanıldığında yağış suyunun neredeyse %75'e kadar olan kısmını çatıdan uzaklaştırabilmektedir (Liu 2004; Mentens vd. 2006; Vancouver 2009; Aras 2019). Bu çalışmada, bir ekstansif (seyrek) yeşil çatı kurulması için gereken malzeme seçiminin ve çatının eğiminin özellikle yağmur suyunu yavaşlatma ve tutma yönündeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yeşil çatı alt katmanlarından biri olan drenaj levhasının ve eğiminin çıkış debisinin büyüklük ve süre bakımından etkisi C katsayısını (Tablo 1) gözlemleyerek analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, eğim arttıkça C katsayısı artmaktadır. Bununla birlikte, aynı eğim değeri için drenaj levhali yüzeyin C katsayısı değerleri boş yüzeyinkine göre daha düşük değerler almıştır. Bu sonuçlar, yeşil çatı sistemlerinde kabarcıklı levha kullanılması durumunda farklı eğimler için yağış-akış hesaplamalarında kullanılacak C katsayısı için bir aralık ortaya konmasını sağlamıştır. Benzer şekilde Doğangönül ve Doğangönül (2009) ve Bektaş ve Dinçer (2017) C katsayısının 0-1 arasında olduğunu ve bu aralığın çatı kaplama malzemesi (Schärer vd. 2020), ortamın sıcaklık, rüzgâr veya buharlaşma gibi parametrelere bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Mobilia vd. (2014) C katsayısının beton kaldırım yüzeylerdeki sokak ve çatılarda yaklaşık 0.7-0.95 aralığında değiştiğini söylemişlerdir. Schärer vd. (2020) ekstrüde kil agrega ortamının 10 cm'lik katmanını hem hacim hem de tepe akış azalması açısından en yüksek tutma kapasitesine sahip tek katmanlı bileşen olarak öne çıktığını belirtmişlerdir.

Yoğun yağış olayları için çıkış akışını azaltmada yeşil çatının yeteneğinin özellikle toprak doygunluğa ulaştıktan sonra sınırlı olduğu belirtilmiştir (Mentens vd. 2006; Busker vd. 2022). Pik akışa ulaşmadan önce, su toprak yapı tarafından tutulabilir ve bitki örtüsü tarafından engellenebilir. Ancak, tepe akışa ulaşıldıktan sonra, yeşil çatıdaki alt tabaka doygun olduğu ve sızma olmadığı için iki akış hızı arasında neredeyse hiçbir fark görülmediğini ifade edilmiştir (Mentens vd. 2006). Bu sebeple, özellikle yağışın yoğun olduğu bölgelerde çatı yeşillendirmesinin tek başına kentsel akış sorununa asla tam olarak bir yanıt olamayacağı düşünülerek diğer akış azaltma önlemleriyle birleştirilmesi gerekebilir (örneğin, kentsel yeşil veya altyapı altındaki depolama rezervuarları, yağmur suyu sarnıçları, yeşil alanların artması).

Busker vd. (2022) yeşil çatı düzeneğine akış yavaşlatma düzeneği eklenebileceğini çalışmalarında göstermişlerdir. Schärer vd. (2020) tarafından da belirtildiği gibi yeşil çatının maksimum çıkış debisine etkileyen farklı etmenler bulunmaktadır toprağın nemi, yağış şiddeti, süresi ve yeşil çatının fiziksel özellikleri.

Bu çalışmadaki giriş debisi, gerçek zamanlı ölçülmüştür ve yağış süresi, derinliği ve şiddeti, mevsimlere göre ortalama yağış, ortalama sıcaklık, ortalama nem değeri ve de ortalama günlük toplam güneşlenme süresi bilgileri ile hesaplanıp bu çalışmayı geliştirecek yağış olay senaryoları oluşturulması için kullanılabilir. Böylece C katsayısı değerleri sürdürülebilir kentsel altyapı tasarımlarında değerlendirilebilir. Bu çalışmanın ıktıları yağmur suyunun toplanması ve saklanması depo hacminin tespit edilmesi için kullanılabilir. Bu su, bahçe sulama suyu olarak kullanılıp yeraltı suyunu beslemesi sağlanabilir. Bu sulama suyunun verimli kullanılması için bu deponun yerleştirileceği yerin, malzemenin ve maliyetinin tespiti ile bu çalışma geliştirilir. Yeşil atılar, kentlerde yağmur suyunu yönetmek, doğal yaşam alanı oluşturmak ve binalara estetik bir görüntü sunmak gibi kent yaşamına birçok olumlu etki sağlayan avantajlar sunmaktadır. Böylece günümüz açısından sürdürülebilir ve akıllı kentlerin önemli bir parçası olarak kabul edilebilirler çünkü bu olumlu etkileri iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuzlukları azaltabilmektedir (Aras 2019; Cömertler ve Cömertler 2021).

4. Sonuçlar

Yağmur suyunun önemi hem bir içme suyu kaynağı oluşu hem de günümüzde iklim değişikliğinden etkileniyor oluşudur. Bu kaynağın verimli kullanımı ve korunması kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada yeşil çatının alt katmanlarında kullanılacak malzemelerin yağışı yavaşlatmasına ve azaltmasına olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla bir yeşil çatı düzeneği oluşturulmuş ve bu yeşil çatı sisteminin eğimi %3, 6, 9 ve 12 iken alt tabanı boş halde ve 20 mm suyu biriktiren oluk yükseklikli drenaj levhası ile kaplanmış olduğunda çıkış debisine olan etkisi gözlenmiştir. Bu gözlem yüzey akış katsayısının hesaplanması, çıkış akışının zamanı ve birim hacmin dolma sresinin hesaplanmasıyla yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağda verilmiştir.

- Birim hacmin çıkış debisiyle dolumunda 20 mm suyu biriktiren oluk yükseklikli drenaj tabakası ile drenaj malzemeli alt yüzeyin etkin olduğu gözlemlenmiştir. Yüzeye drenaj levhası serilmesi durumunda tüm eğimlerde boş yzeeye göre suyun akışını eğime bağlı olarak çıkış süresini geciktirmiştir.
- Yeşil atı için oluşturulan düzenekte eğim arttıkça çıkış debisiyle birim hacim daha kısa sürede doldurulabilmiştir. Yzeeye drenaj levhası serilmesi durumunda tüm eğimlerde boş yzeeye göre suyun akışını eğime bağlı olarak %68-81 oranlarında çıkış süresini geciktirmiştir.
- 20 mm suyu biriktiren oluk yükseklikli drenaj tabakası kullanımının artmasıyla birim hacmin dolum süresi uzamıştır. Eğim arttıkça dolum süresi kısalmaktadır.
- Yeşil atı için oluşturulan düzenekte eğim arttıkça C katsayısının arttığı görülmüştür, aynı eğim değeri için drenaj levhalı yüzeyin C katsayısı değerleri boş yzeyinkine göre daha düşük değerler almıştır. Yüzey eğimine bağlı olarak drenaj levhalı sistemde C katsayısı değerleri yaklaşık olarak 0,5-0,7 arasında değişim göstermiştir.
- Birim hacim dolum süresiyle yeşil çatı eğimine bağlı yüzey C katsayısı arasında yüksek güvenirlik derecesine bağlı ilişki elde edilmiştir.

Sonuç olarak, yeşil çatı sistemlerinde drenaj levhasının serilmesi kentlerde yağış şiddetinin azaltılmasında etkili olabileceği görülmüştür. Kentlerde yeşil çatı sisteminde suyu biriktiren oluk yükseklikli drenaj tabakası kullanımı ile geçirimsiz yüzey olan çatıları geçirimli hale getirmekte ve yağmurun ilk düştüğü yerlerden biri olan çatıdan uygun drenaj sistemleri ile toplanıp değerlendirilmesi sağlanabilecektir. Yeşil atı sistemlerinde kabarcıklı levha kullanılması durumunda farklı eğimler için yağış-akış hesaplamalarında kullanılacak C katsayısı için bir aralık ortaya konmuştur. Bu çalışmanın ıktıları iklim değişikliği sebebiyle artan yağmur şiddetinin kentlerde oluşabilecek sel felaketlerini yönetmek ve oluşabilecek maddi ve manevi hasarı azaltmak için kullanılabilir. Bu alışma kentsel alanların ekolojik yönden sürdürülebilirliğini dikkate alan çalışmalara katkı sağlayabilir.

Kaynaklar

- Aslanboğa İ., (1988), *Ege Bölgesi iklim koşullarında çatı bahçesi yapımında kullanılabilir yapısal ve bitkisel materyalin seçimi üzerine araştırmalar*, Bilgehan Basımevi, Bornova, İzmır, Türkiye, 35ss.
- Ahmed T., Zounemat-Kermani M., Scholz M., (2020), *Climate change, water quality and water-related challenges: A review with focus on Pakistan*, International Journal of Environmental Research And Public Health, 17(22), 8518, doi:10.3390/ijerph17228518.
- Aksungur N., Firidin ř., (2008), *Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik*, Aquaculture Studies, 2008(2), 9-11.
- Aras B.B., (2019), *Kentsel sürdürülebilirlik kapsamında yeşil çatı uygulamaları*, Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 8(1), 469-504.
- Bektaş İ., Dinçer A.E., (2017), *Değişen iklim koşullarında çatı kaplama malzemelerinin verimliliğinin incelenmesi-Safranbolu rneği*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstits Fen Bilimleri Dergisi, 33(3), 35-53.
- Busker T., de Moel H., Haer T., Schmeits M., van den Hurk B., Myers K., Cirket D.G., Aerts J., (2022), *Blue-green roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes*, Journal of Environmental Management, 301, 113750, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113750.
- Cantor S.L., (2008), *Green roofs in sustainable landscape design*, W.W. Norton & Company, New York, 320ss.
- Carter T.L., Rasmussen T.C., (2006), *Hydrologic behavior of vegetated roofs*, JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 42(5), 1261-1274.
- Carter T., Jackson C.R., (2007), *Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales*, Landscape Urban Plan, 80, 84-94.
- Chen C.F., (2013), *Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: A review*, Ecological engineering, 52, 51-58.

- Cömertler S., Cömertler N., (2021), *Akıllı kentlerde çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik, Kopenhag örneiği*, Journal of Architectural Sciences and Applications, 6(1), 317-333.
- Cunningham N.R., (2001), *Rethinking the urban epidermis: a study of the viability of extense green roof systems in the manitoba capital with an emphasis on regional case studies and stormwater management*, Yüksek Lisans Tezi, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, 288ss.
- Doğangönül Ö., Doğangönül C., (2009), *Küçük ve orta ölçekli yağmursuyu kullanımı*, Teknik Yayınevi, Ankara, 432ss.
- Dunnett N., Kingsbury N., (2008), *Planting green roofs and living walls*, Timber Press, Portland, Oregon, 256ss.
- Early, P, Gedge, D, Newton, J, Wilson, S., (2007), *Building Greener: Guidance on the use of green roofs, green walls and complementary features on buildings (C644D)*, <https://www.ciria.org/ItemDetail?iProductCode=C644D&Category=DOWNLOAD>, [Erişim 03 Ocak 2023].
- Ekşi M., (2016), *Çatı ve teras bahçeleri dersi 2016-2017 bahar dönemi ders notu (1.Bölüm)*, İ.Ü. Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Peyzaj Teknikleri Anabilim Dalı, İstanbul, <https://docplayer.biz.tr/47617366-Cati-ve-teras-bahceleri-dersi-bahar-donemi-ders-notu-1-bolum.html>, [Erişim 03 Ocak 2023].
- Erkul E., (2012), *Yeşil çatı sistemlerinin yapım açısından irdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Fisher D., (2007), *Productive rooftop*, Yüksek Lisans Tezi, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, 166ss.
- Getter K.L., (2006), *Extensive green roofs: plant evaluations and the effect of slope on stormwater retention*, Yüksek Lisans Tezi, Michigan State University, Michigan, USA.
- Gregoire B.G., Clausen J.C., (2011), *Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality*, Ecological Engineering, 37(6), 963-969.
- Hill J., Drake J., Sleep B., Margolis L., (2017), *Influences of four extensive green roof design variables on stormwater hydrology*, Journal of Hydrologic Engineering, 22(8), 04017019, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.000153.
- IPCC, (2021), *Summary for policymakers*, Climate Change 2021: The Physical Science Basis'in İçinde, (Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T.K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., Zhou B., Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Karaman S., Gökalp Z., (2010), *Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkileri*, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(1), 59-66.
- Karaosman S.K., (2006), *Yeşil çatılar ve sürdürülebilir bina değerlendirme sistemleri*, Ulusal Çatı Cephe kaplamalarında Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, 17 -18 Ekim, İTÜ Mimarlık Fakültesi Taşkışla, İstanbul, Türkiye.
- Kaufmann P., (1999), *Extensiv begrünnte Flachdächer-ein Gewinn für die Siedlungsentwässerung*, Hochschule für Technik und Architektur, Burgdorf.
- Kılıç S., (2008), *Küresel iklim değişikliği sürecinde su yönetimi*, İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, (39), 161-186.
- Koç N., Güneş G., (2011), *Çatı bahçeleri düzenlemesine ilişkin teknik özellikler ve donanımlar*, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(1-2), 501-512.
- Koçhan K., Akın C.T., (2022), *İklim değişikliği karşısında sürdürülebilir binaların ve bütünleşik tasarımın önemi (BIM tabanlı sürdürülebilirlik analizleri)*, Kent Akademisi, 15(D.Ü. 2. Uluslararası Mimarlık Sempozyumu Özel Sayısı), 53-71.
- Kolb W., Schwartz T., (1988), *Roof planting from a constructional viewpoint*, Garten und Landschaft, 10(88), 49-51.
- Kuichling E., (1889), *The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts*, Transactions of the American Society of Civil Engineers, 20(1), doi: 10.1061/TACEAT.0000694.
- Küleki E.A., (2017), *Geçmişten günümüze yeşil çatı sistemleri ve yeşil çatılarda kalite standartlarının belirlenmesine yönelik bir araştırma*, ATA Planlama ve Tasarım Dergisi, 1(1), 35-53.
- Landschaftsbau F.L., (2002), *Guidelines for the planning, execution and upkeep of green-roof sites*, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, Bonn, Germany.
- Lanham J.K., (2007), *Thermal performance of green roofs in cold climates*, Yüksek Lisans Tezi, Queen's University Kingston, Canada.
- Liesecke H.J., (1984), *Grundsätze Für Dachbegrünungen (Hrsg) Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. v., Bonn, Germany.*
- Liesecke H.J., (1987), *Vegetationstechnische Anforderungen Bei Extensivbegrünungen In: Dachbegrünung Seminarbericht (Hrsg) R. Galzer, Technische Universität Wien, Vienna, Avusturya.*
- Liu K., (2004), *Sustainable Building Envelope-Garden Roof System Performance*, NRC-CNRC, RCI Building Symposium, November 4-5, New Orleans, ss.1-14.
- Luckett, K., (2009), *Green Roof Construction and Maintenance – A Green Source Book*, The McGraw-Hill Companies, USA, 208ss.
- McIntyre L., Snodgrass E.C., (2010), *The green roof manual: a professional guide to design, installation, and maintenance*, Timber Press, Portland, Oregon, 296ss.
- Mentens J., Raes D., Hermy M., (2006), *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century*, Landscape Urban Plan, 77(3), 217-226.
- Meriç T.B., (2004), *Su kaynakları yönetimi ve Türkiye*, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 28(1), 27-38.
- Mobilia M., Longobardi A., Sartor J.F., (2014), *Impact of green roofs on stormwater runoff coefficients in a Mediterranean urban environment*, 5th International Conference on Urban Sustainability, Cultural Sustainability, Green Development, Green Structures and Clean Cars (USCUDAR '14), November 22-24, Florence, Italy, ss.100-106.
- Olgun Y., (2014), *Yeşil çatı: Tasarım ve uygulama örnekleri*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Osmundson T., (1999), *Roof gardens: history, design and construction*, W. W. Norton & Company, New York, NY, 320ss.
- Schärer L.A., Busklein J.O., Sivertsen E., Muthanna T.M., (2020), *Limitations in using runoff coefficients for green and gray roof design*, Hydrology Research, 51(2), 339-350.
- Snodgrass E.C., Snodgrass L.L., (2006), *Green roof plants-a resource and planting guide*, Timber Press Inc, Portland, Oregon, 204ss.
- Spolek G., (2008), *Performance monitoring of three ecoroofs in Portland, Oregon*, Urban Ecosystems, 11, 349-359.

- Stagl J., Mayr E., Koch H., Hattermann F.F., Huang S., (2014), *Effects of climate change on the hydrological cycle in central and Eastern Europe*, Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change'in İçinde, (Rannow S., Neubert M., Ed.), Springer, Dordrecht, ss.31-43.
- Stone Jr. B., (2004), *Paving over paradise: how land use regulations promote residential imperviousness*, Landscape and Urban Planning, 69(1), 101-113.
- Stovin V., Vesuviano G., Kasmin H., (2012), *The hydrological performance of a green roof test bed under UK climate conditions*, Journal of Hydrology, 414, 148-161.
- Tavşan F., Bahar Z., Tavşan C., (2022), *Sürdürülebilirlik kapsamında yağmur suyu toplama sistemli pavilyonlar*, Kent Akademisi, 15(2), 877-896.
- Teemusk A., Mander U., (2007), *Rainwater runoff quantity and quality performance from a green roof: the effects of short-term events*, Ecological engineering, 30(3), 271-277.
- Torres S.L.S., (2010), *Investigating crumb rubber amendments for extensive green roof substrates*, Yüksek Lisans Tezi, University of Maryland, Maryland, USA.
- Tunçay H., (2022), *Sünger şehirler*, Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik, 23(2), 101-108.
- URL-1, (2007), *Green Roof Systems, FM Global Property Loss Prevention Data Sheets*, <https://www.greengridroofs.com/wp-content/uploads/2018/01/Factory-Mutual-Green-Roof-System-1-35-2007.pdf>, [Erişim 03 Ocak 2023].
- USEPA, (2000), *Low Impact Development (LID): A literature review*, Office of Water EPA-841-B-00- 005, <https://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/literaturereview.pdf>, [Erişim 03 Ocak 2023].
- Vancouver M., (2009), *Design Considerations for the Implementation of Green Roofs*, Metro Vancouver, BC, 140ss.
- Velazquez S.L., (2005), *Organic greenroof architecture: Sustainable design for the new millennium; making the most of your building's 'fifth façade'*, Environmental quality management, Wiley Periodicals, 14(4), 73-85.
- Villarrea, E.L., Bengtsson L., (2005), *Response of a Sedum green-roof to individual rain events*, Ecological Engineering, 25(1), 1-7.
- Young C.B., McEnroe B.M., Rome A.C., (2009), *Empirical determination of rational method runoff coefficients*, Journal of Hydrologic Engineering, 14(12), 1283-1289.
- Waldbaum H., (2008), *Green roofs for urban agriculture: What is required to support their implementation in the UK?*, Yüksek Lisans Tezi, University of East London, Dagenham, United Kingdom.
- White R., (2002), *Building the ecological city*, Woodhead Publication, Cambridge, 256ss.
- Woods-Ballard B., Kellagher R., Martin P., Jefferies C., Bray R., Shaffer P., (2007), *The SUDS manual*, <http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf>, [Erişim 03 Ocak 2023].