

BİNALARDA YAĞMUR SUYU HASADI

Gökhan Ekrem ÜSTÜN* 

Tuğba CAN 

Gülşah KÜÇÜK 

Alınma: 07.07.2020; düzeltme: 17.12.2020; kabul: 22.12.2020

Öz: Dünyada ve ülkemizde kullanılabilir su miktarı, su kaynakları üzerinde artan kirlenme ve aşırı tüketim baskısıyla her geçen gün azalmaktadır. Özellikle artan nüfus ve sanayi faaliyetleriyle birlikte küresel iklim değişiminin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkisi her geçen gün hızla artmaktadır. Bu nedenle günümüzde, suyun kullanımı ve tasarrufu önem kazanmakta olup kaynakların yeni stratejilerle verimli ve bilinçli kullanımı gerekmektedir. Yenilikçi teknolojilere sahip sanayi üretimi ile su tüketiminin azaltılması, evsel nitelikli atık suların arıtılarak tekrar kullanılması, su sıkıntısının yoğun olarak yaşandığı bölgelerde deniz suyundan tatlı su elde edilerek kullanılması ve binalarda yağmur suyu hasadı gibi su kaynaklarına yönelik alternatif teknolojiler tüm Dünya’da giderek yaygınlaşmaktadır. Tatlı su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımında hasat edilen yağmur suyunun birçok alanda kullanımı alternatif su kaynağı oluşturabilir. Bina çatılarından toplanan yağmur suları, evsel ihtiyaçlarda veya bahçe sulama gibi diğer ihtiyaçlarda kullanılmakta olup diğer teknolojilere göre kurulumu oldukça basittir. Bu çalışmada, binalardan yağmur suyu hasadı uygulamalarında kullanılan sistemlerin projelendirme esasları geniş bir literatür araştırması yapılarak incelenmiş ve derlenmiş olup yağmur suyu hasat sistemlerinin kurulum maliyeti ile amortisman süresi çalışma kapsamına alınmamıştır. Yağmur suyu hasadı planlaması ve uygulanmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yağmur suyu hasadı, çatı, depolama, geçirimsiz yüzey, yüzey akışı

Rainwater Harvesting in Buildings

Abstract: The amount of usable water in the world and in our country is decreasing day by day with the increasing pollution and excessive consumption pressure on water resources. The negative impact of global climate change on water resources, especially with the increasing population and industrial activities, is increasing day by day. For this reason, the use and saving of water is of great importance today, and efficient and conscious use of resources with new strategies is required. Alternative technologies for water resources such as reducing water consumption through industrial production with innovative technologies, treating and reusing domestic wastewater, obtaining fresh water from sea water in areas where water shortage is intense, and rainwater harvesting in buildings are becoming increasingly widespread all over the world. The use of rainwater harvested in the sustainable use of fresh water resources in many areas can create an alternative water resource. Rain water collected from building roofs is used for domestic needs or other needs such as garden irrigation, and its installation is quite simple compared to other technologies. In this study, the design principles of the systems used in the rainwater harvesting applications from the buildings were examined and compiled by conducting an extensive literature search, and the installation cost and depreciation period of rainwater harvesting systems were

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer, Bursa
İletişim Yazarı: Gökhan Ekrem ÜSTÜN (gokhanu@uludag.edu.tr)

not included in the study. Recommendations for rainwater harvesting planning and implementation are presented.

Keywords: Rainwater harvesting, roof, storage, impermeable surface, surface runoff

1. GİRİŞ

Yeryüzündeki su, sürekli bir çevrim halinde olmasına rağmen nüfus artışı, çevre kirliliği, maliyet, bilinçsiz su tüketimi, iklim şartlarındaki değişim gibi sebeplerden dolayı çevrimini tamamlamadan tüketilmektedir. Tarımsal, endüstriyel, içme ve kullanma suyunun elde edilmesi, ülkeler için giderek zorlaşmaya başlamıştır. Bu nedenle, gelecek dönemlerde suyun dünya tarihinde bilinen stratejik önemi artarak devam edecektir (Şahin, 2010).

Son 100 yılda küresel su tüketimi altı kat artmıştır (Wada ve diğ., 2016) ve nüfus artışı, ekonomik gelişme, tüketim alışkanlıklarındaki değişimlerden dolayı yılda yaklaşık % 1 oranında artan su talebi, önümüzdeki yirmi yılda önemli ölçüde artmaya devam edecektir (WWAP, 2018). Türkiye’de kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı, 1.500-1.600 m³ yıl⁻¹ olup Türkiye su sıkıntısı çekmeye aday ülke konumundadır. Gelecek 20 yıl içinde Türkiye nüfusunun 87 milyona çıkacağı, kişi başı su miktarının 1042 m³ yıl⁻¹’a düşeceği ve su fakiri ülkeler arasına katılacağı öngörülmektedir (Eren ve diğ., 2016; Yayılı Kılıç ve Abuş, 2018).

Doğal kaynak olan suyun, insanlar tarafından bilinçli ve israf edilmeden kullanılması oldukça önemlidir. Tatlı su kaynakları miktarının sınırlı olması ve temiz su elde etme yöntemlerinin maliyetli olması, insanları farklı arayışlara yöneltmiştir. Nüfusla birlikte artan su talebine karşın temiz su kaynaklarının miktarını arttırmak, teknik ve ekonomik açıdan mümkün değildir. Bu durumda doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi için alternatif su kaynakları arayışına gidilmesi, son yıllarda pek çok ülkede uygulanan ve üzerinde önemle durulan bir konudur (Asano ve Levine, 1996; Sturm ve diğ., 2009; Zhang ve diğ., 2010; Yayılı Kılıç ve Abuş, 2018). Su tüketimini azaltmaya yönelik oluşturulan politikalar, özellikle gelişmiş ülkelerde içme suyu kaynaklarını korumaktadır. Bu politikalarla dünyada daha önceki yıllarda su korunumuna ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi ve bu teknolojilerin yaygın olarak kullanılmaya başlanması sağlanmıştır (Örs ve diğ., 2011).

Günümüzde deniz suyunun arıtılması ekonomik açıdan maliyetli olduğundan dolayı yağmur suyu hasadıyla güvenilir, uygun yatırım maliyetli kullanım suyu temin edilebilir. Artan su kıtlığı nedeniyle, toplumlar alternatif su kaynaklarına yönelimi arttırıp su tüketimini azaltmanın yollarına önem vermektedir (Hammes ve diğ., 2020). Bu çalışmanın odak noktası olan ve su tasarrufu sağlayan yağmur suyunun hasadı, ihtiyaç duyulan içme ve kullanma suyu tüketimini azaltmanın alternatifleri arasında sayılabilir.

Su bakımından zengin ve gelişmiş ülkelerde su kaynaklarının sürdürülebilir bir biçimde yönetilebilmesi için yağmur suyu, yer altı suyunun beslenmesinde kullanılmakta olup su sıkıntısı çeken ve su fakiri olan ülkelerde ise evsel ve evsel olmayan kullanımlarda şebeke suyundan tasarruf sağlamaktadır.

Yağmur suyu hasadı, su kaynakları miktarının az olmasından dolayı su tasarrufu sağlamak amacıyla; evsel, sanayi, tarım ve çevresel amaçlı talepleri karşılamak için kentsel yapılarıdaki çatı gibi toplama alanlarından suyun toplanması olarak tanımlanmaktadır (Aladenola ve Adeboye, 2009; Worm ve Hattum, 2006). Başta konut çatıları olmak üzere, yollar, kaldırımlar ve otopark gibi açık alanlardan borularla toplanan yağmur suları filtrelendikten sonra depoya alınmakta ve depolanan bu su bahçe sulama, araç yıkama, tuvalet rezervuarı, temizlik işleri vb. ihtiyaçlar için kullanılabilir (Eren ve diğ., 2016). Yağmur suyu hasat potansiyeli; yağış miktarı ile doğru orantılı olduğu için Türkiye genelinde bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir (Himat, 2018). Binalarda su kullanımlarının sınıflandırılmasını konu alan, ulusal ve uluslararası düzeylerde çalışmalar yapılmıştır ve içilebilir su gerektirmeyen faaliyetlerde kullanılan su miktarının çok yüksek olduğu gözlenmiştir (Willis ve diğ., 2011). Çatılardan toplanan yağmur sularındaki potansiyel tasarrufun, talep ve su toplama alanına bağlı olarak bir

hanenin içme suyu ihtiyacının yaklaşık % 30-60'ı civarında olduğu tespit edilmiştir (Herrmann ve Schmida, 2000). Yağmur sularının toplanarak depolanması ve farklı amaçlarla kullanılması, hem su kaynakları korunmakta hem de su faturasında ekonomik kazanç sağlanmaktadır (Marinoski ve diğ., 2014). Hasat sisteminin şebekeden bağımsız olması dağınık yerleşimler ve bireysel kullanım için sistemi uygun hale getirmektedir. Binalarda yağmur suyu hasadı sistemlerinin sonradan yenilenmesi yerine binaların inşaatı esnasında tasarlanması, yağmur suyu hasadı uygulamalarının yaygınlaşmasını hızlandıracaktır (Thomas, 1998).

Yağmur suyu hasadı yönteminin temel amacı; yer altı ve yer üstü su kaynaklarının kısıtlı olduğu veya su kaynaklarına erişimin aşırı maliyetli olduğu alanlarda güvenilir su teminini sağlamaktır. Örneğin, Japonya'da başkent Tokyo ve diğer şehirlerde yağmur suları toplanarak acil durumlar için kullanılmaktadır. Fiji adalarında devlet kurumlarına ait havaalanı, okul gibi yüzeyi geniş binaların çatılarından toplanan yağmur suları kullanılmaktadır. ABD'de ortalama 25000 ev yağmur suyu hasadı sistemlerini kullanmaktadır (Alparslan ve diğ., 2008). Brezilya'da yapılan çalışmada yağmur suyu hasadının içilebilir su miktarında, çatı ve depolama tankının boyutuna bağlı olarak yaklaşık % 12-79 civarında bir tasarruf sağladığı belirlenmiştir (Ghisi ve diğ., 2007).

Toplanan yağmur suyu, niteliğine göre içme ve kullanım suyu olarak ikiye ayrılmaktadır. Kullanım suyu; evlerin temizliğinde, yangın söndürmede, çamaşır yıkamada, tuvalet rezervuarlarında, araç yıkamada, bahçe sulamada ve havuz doldurmada kullanılmaktadır. İçme suyu kalitesindeki ise; duş alırken, yemek pişirirken ve bulaşık yıkarken kullanılmaktadır. Hasat edilen yağmur suyu, içme suyu standartlarını çoğu kez sağlamadığından dolayı kullanım suyu olarak değerlendirilmektedir (Şahin, 2010). Çatılardan toplanan yağmur suyunun tuvalet sifonları, çamaşır yıkama ve birçok temizlik faaliyeti gibi içme suyu kalitesinde bir su gerektirmeyen faaliyetlerde kullanımı, su tasarrufu sağlamayı amaçlayan en popüler alternatif su kaynaklarından. Yağmur suyunun binalarda kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmış olup (Abdulla ve diğ., 2019; Ndekete ve Dundu, 2019; Maykot ve Ghisi, 2020; Imteaz ve diğ., 2012; Lu ve diğ., 2013; Ward ve diğ., 2013) toplanan yağmur suyunda gerekli arıtma sağlandığında içme suyu olarak da kullanılabilir (Şahin, 2010). Yağmur suyu toplama sistemi sürdürülebilir kentsel geleceğin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Abdulla ve Al-Shareef, 2009).

Yağmur suyu, temiz bir yüzeye sahip çatı toplama alanında ve depolama tanklarında toplanırsa, içme suyu olarak kullanılabilir. Kirli bir yüzeyden su toplanırsa, toplanan su uygun bir arıtma sisteminden geçirilerek kullanılabilir. Yağmur suyu, bir yüzey veya toplama alanıyla temas etmedikçe yağmur suyu kalitesinin Çevre Koruma Ajansı standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir (Choudhury ve diğ., 2003). Yağıştan kısa bir süre sonra hasat edilen yağmur suyunun mikrobiyal kirlenmesi, *E. coli* konsantrasyonuna bakılarak belirlenir. Yağmur suyunda *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Campylobacter*, *Vibrio*, *Salmonella*, *Shigella* ve *Pseudomonas* gibi patojenler de bulunabilir (Anonim, 2008). Kullanım amacına göre gerektiğinde, klorlama gibi dezenfeksiyon işlemleri uygulanabilir.

Binalarda yağmur suyu hasadı ile toplanacak yağmur suyu miktarı, projelendirmenin en önemli parçasıdır. Bu bağlamda çalışma yapılacak bölgedeki yağış karakteristikleri ile yağmur suyu hasadında kullanılacak sistem bileşenlerinin detaylı olarak irdelenmesi gerekmektedir. Gerçekleştirilen bu derleme çalışması ile binalarda yağmur suyu hasadı projelerinin hayata geçirilmesi için kullanılacak parametreler kapsamlı bir literatür araştırması ile değerlendirilmiştir.

2. YAĞMUR SUYU HASADINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Yağmur suyu toplama ve kullanımı için tasarlanan projelerde öncelikli olarak toplanacak yağmur suyu ile bu suyun kullanılacağı yerin su ihtiyacının karşılaştırılması yapılmalıdır. Toplanacak olan yağmur suyu, ihtiyacı karşılıyorsa veya kabul edilebilir kısmını karşılıyorsa

böyle bir çalışmayı hayata geçirmek doğru olacaktır. Meteorolojik bilgilere göre toplanacak yağmur suyu toplama miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir (DIN, 1989; Kantaroğlu, 2011).

$$V_y = A \times Y \times e / 1000 \quad (1)$$

- V_y**: Toplanan yağmur suyu miktarı (m³)
A: Yağmur suyu toplama alanı (m²)
Y: Aylık veya yıllık yağış miktarı (mm)
e: Yağmur suyu toplama yüzeyinin verimlilik katsayısı (Tablo 1)

Yağmur suyu hasadında göz önüne alınması gereken hususlar; çalışma yapılacak bölgedeki yağış özellikleri ve yağmur suyu hasadında kullanılacak sistem bileşenleri olmak üzere iki başlıkta toplanabilir.

2.1. Yağış Özellikleri

Aylık veya yıllık yağış miktarının belirlenebilmesi için proje yapılacak bölgenin yağış karakteristikleri bilinmelidir (Strangeways, 2006). Bölgenin yağış özellikleri yağışların süresi, sıklığı, büyüklüğü ve şiddeti ile hesaplanabilir.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde yağış karakteristikleri ılıman iklim karakteristiklerinden farklıdır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde genel olarak yağmurlar yüksek yoğunluklu, daha kısa süreli, değişken frekans ve büyüklükte olup doğada düzensizdir. Su hasadı sisteminin tasarlanması için yağışın sıklığı, miktarı ve yoğunluklarının olasılığı, yıllık toplam yağış miktarı kadar önemlidir. Su toplama projelerinin planlamasında; günlük, haftalık veya aylık yağış verilerine erişim olması istenmektedir. Su hasadı çalışmaları dâhil olmak üzere çoğu su kaynaklarının planlanması ve tasarımı için belirli bir alan üzerinde yağış bilgisi gereklidir.

Belirli bir süre boyunca oluşabilecek yağış miktarı, tahmin edilmesi en zor parametrelerdendir. Belirli bir bölgenin yağış-akış potansiyelinin belirlenmesi için uzun yıllar boyunca kaydedilmiş yağış verileri çok önemlidir. Bu veriler özellikle yağışların yıldan yıla büyük ölçüde değiştiği kurak ve yarı kurak bölgeler için geçerlidir. Küresel iklim değişikliği nedeniyle gelecekteki yağışlarda değişiklikler olacağı tahmin edilmektedir (Himat, 2018). Tüketicinin alışkanlıklarına ve yaşadığı ortama göre değişiklik gösteren su miktarı, özellikle konutlarda farklılık gösterir. Şehirde yaşayan insanlar ile kırsal kesimlerde yaşayan insanların tükettiği su miktarlarının birbirinden farklı oranlarda olduğu tespit edilmiştir (Gleick, 2000).

2.2. Yağmur Suyu Hasadında Kullanılacak Sistem Bileşenleri

Yağmur suyu toplama sistemleri, sistemin büyüklüğünden bağımsız olarak Şekil 1’de verilen altı temel bileşeni içermektedir.

1. Toplama yüzeyi / çatı: Yağmurun üzerine düştüğü yüzey veya çatıdır. Tercihen depolama ve iletim yönüne doğru eğimli olmalıdır.

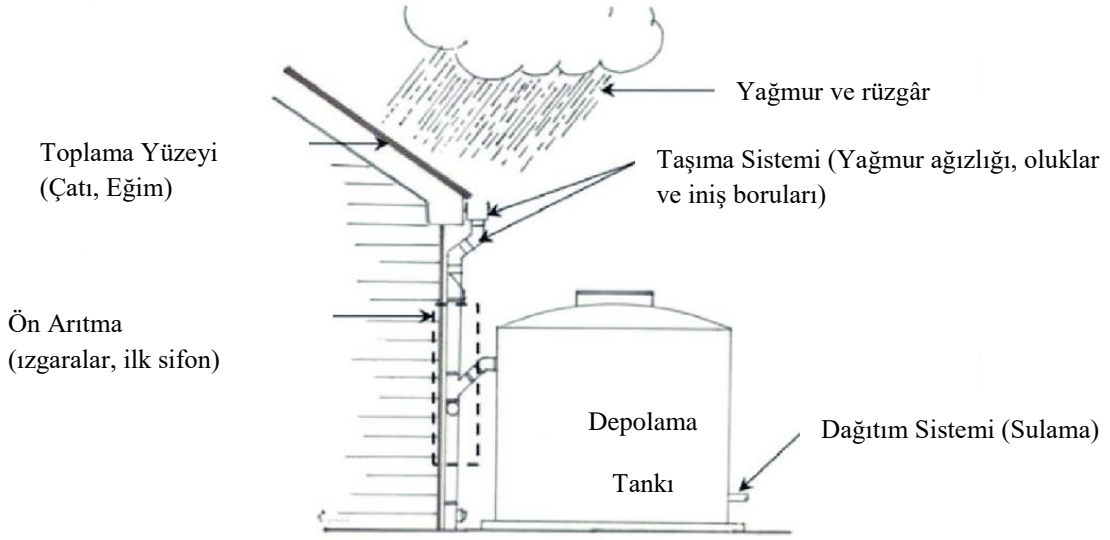
2. Oluklar ve iniş boruları: Toplama yüzeyinden depoya taşıma kanallarıdır. Bu kanallar toplama alanına, yağış özelliklerine ve çatı özelliklerine bağlı olarak tasarlanmalıdır.

3. Izgaralar (İlk sifon): Kirletici maddeleri ve kalıntıları temizleyen sistemlerdir. İlk yağın yağmuru yönlendirmek ve yönetmek için ilk yağmur ayırıcısı yerleştirilmelidir.

4. Depolama tankı: Toplanan yağmur suyunun güvenli bir şekilde depolandığı alanlardır.

5. Taşıma: Yerçekimi veya pompa ile yağmur suyunun iletilmesidir.

6. Su arıtma: Yağmur suyunda bulunan katı ve organik maddeleri gidermek/çöktürmek için filtreler kullanılmaktadır. Filtrelemek ve dezenfekte etmek için katkı maddeleri eklenebilir.



Şekil 1:

Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinin Bileşenleri (Pradhan ve Sahoo, 2019)

2.2.1. Toplama Yüzeyi

Yağmur suyu toplama sisteminin toplama alanı, doğrudan yağış alan ve sisteme su sağlayan yüzeydir. Binanın çatısı döşenmiş, çim veya açık zemin olabilir (Anonim a, 2005). Toplama alanı, çoğu durumda binanın çatısıdır. Toplama alanı yüzeyi tipi yağmur suyu hasadının kalitesini, büyüklüğü ise yağmur suyu miktarını etkilemektedir (Ling ve Benham, 2014).

Toplanan yağmur suyunun miktarı ve özelliği, çatının konumu, boyutu ve malzemesinden etkilenir. Örneğin bambudan yapılmış bir çatı düşük kalitede su sağladığından çatıda kullanılan yapı malzemesi olarak bambu yerine, galvaniz, demir, alüminyum, çimento gibi diğer malzemeler tercih edilmelidir. Yağmur suyunu toplama yüzeyindeki kir, yaprak ve kuş dışkılarından arındırmak için yüzeyin sık sık temizlenmesi gerekmektedir (Pradhan ve Sahoo, 2019). Kiremitli çatılar veya yumuşak çelik vb. ile kaplanmış çatılar, kullanımlarının kolay olması ve temiz su vermelerinden dolayı daha çok tercih edilmektedir (Alpaslan ve diğ., 1992).

Kil kiremit gibi dokulu veya gözenekli malzemeden yapılmış çatılar, metal gibi daha pürüzsüz malzemelerden yapılmış çatılara kıyasla daha fazla yağmur suyu tutmaktadır. Toplama alanının malzemesi, aynı zamanda az miktarda toksin maddelerin sızma tipini ve potansiyelini de etkileyecektir. Örneğin, ahşap, asfalt ve katranlı padavra çatılardan hasat edilen yağmur suyu sadece sulama için uygun olabilir (Ling ve Benham, 2014).

Eğimli çatı planlamalarında, metal çatı kaplama tercih edilmesinin sebebi pürüzsüzlük ve dayanıklılık özelliğidir. Kil kiremit ve kayrak gibi diğer çatı malzemesi türlerinden toplanan yağmur sularının içme suyu olarak kullanılması uygundur. Yapı malzemesi kurşun olan veya kurşun bazlı bir boya ile boyanmış çatılar, içme suyu toplamak için kesinlikle uygun değildir. Asbest kaplamadan yapılmış çatılarda, hasarlı alanlarından asbest lifleri ayrılabilceğinden bu tip özellik gösteren çatılar da içme suyu toplamak için kesinlikle uygun değildir. Asbest; kimyasal olarak işlenmiş ahşap katmanlı çatılarda ve bazı boyalı çatılarda, çatı yüzeyine temas ettiğinde yağmur suyuna toksik maddeler sızdırabilir. Bundan dolayı içme suyu harici su kullanımları için uygundur (Anonim a, 2005).

Bazen boyalar, gres, yağ gibi maddelerin çatıdaki varlığı toplama alanından elde edilen yağmur suyunu kirletebilir. Özellikle yağış mevsimi boyunca toplama alanı her zaman temiz tutulmalıdır. Toplama yüzeyi, oluklu çatı alanı ile sınırlıdır. Toplama yüzeyinin alanı hesaplamak için, çatı yüzeyinin genişliği ile uzunluğu çarpılır.

Çatılarda yağmur suyunun akışı sırasında; rüzgâr etkisi, çatı eğimi, çatı malzemesinin türü, buharlaşma, sızıntılar ve dökülmeden kaynaklı kayıplar gibi nedenlerden dolayı yağın yağmurun tamamı toplanamaz (Singh, 1992). Akış katsayısı, yağmur suyu hasadı sistemi tarafından toplama alanına düşen toplam yağışın yüzdesini gösterir ve çatının malzeme tipine bağlıdır (Tomas, 2009). Bu nedenle çatı yağmur suyu toplama sisteminde Eşitlik (1)'de (e) olarak ifade edilen katsayı eklenmektedir. Tablo 1'de literatürde çatı türüne göre kullanılan verimlilik katsayısı değerleri (e) verilmektedir.

Tablo 1. Çatı materyaline göre kullanılan e katsayıları (Farreny ve diğ., 2011)

Çatı	e Katsayısı	Kaynak
Çatılar (Genel)	0,7-0,9	Pacey ve Cullis (1986)
	0,75-0,95	ASCE (1969), McCuen (2004), Singh (1992), TxDOT (2009), Viessman ve Lewis (2003)
	0,85	McCuen (2004), Rahman ve diğ. (2010)
	0,8-0,9	Fewkes (2000)
	0,8	Ghisi ve diğ. (2009)
	0,8-0,95	Lancaster (2006)
	0,9-0,95	Tomas (2009)
Eğimli Çatılar		
Beton/Asfalt	0,9	Lancaster (2006)
Metal	0,95	Lancaster (2006)
	0,81-0,84	Liaw ve Tsai (2004)
Alüminyum	0,7	Ward ve diğ. (2010)
Düz Çatılar		
Ziftli /Bitümlü	0,7	Ward ve diğ. (2010)
Çakıl	0,8-0,85	Lancaster (2006)
Çimento	0,81	Liaw ve Tsai (2004)

2.2.2. Oluklar ve İniş Boruları / Taşıma Sistemi

Oluk taşıma sistemi; toplanan yağmur suyunu, çatıdan borulara ve depolama tankına taşıyan oluklardan ve iniş borularından oluşur. Oluktan tanklara kadar olan kısım, çıkış ağzının önünde yer alan dikey borudan ve oluk iniş ağzından oluşur (Anonim, 2002). Mevcut yağmur suyu taşıma sistemlerinin çoğu, toplama alanındaki yağmur suyunu en yakın yağmur suyu drenajına veya kanalizasyon sistemine boşaltmak için tasarlanmıştır. Taşıma sistemi yağmur suyu toplama sistemlerinde, toplanan yağmur suyunu depolama tankına iletmekle görevlidir. Çatı oluklarına bağlı bir dizi iniş borusu Şekil 1’de gösterilmiştir.

Oluklar veya borular, hasat edilen su miktarını en üst düzeye çıkarmak için uygun boyutta eğimli olarak monte edilmelidir. Oluklar ve borularda kullanılan en yaygın malzeme galvanizli çelik, fiberglas, plastik ve paslanmaz çeliktir. Oluklar ve iniş boruları genellikle binanın duvarına monte edilmekte olup inşaat sırasında duvarın içine de monte edilebilir. Olukların boyutu, çatının alanına ve yağış miktarına bağlı olup kullanılan olukların çapı genellikle 20-50 cm arasındadır (Alpaslan ve diğ., 1992). Oluğun boyutu, en yüksek yoğunluklu yağmur sırasındaki akışa göre tasarlanmalıdır. Olukların su ile yüklendiğinde sarkmaması veya düşmemesi için desteklenmesi gerekir. Olukların sabitleme şekli binanın yapımına bağlıdır; demir veya ahşap braketleri duvarlara sabitlemek mümkündür, ancak daha geniş saçaklı evler için kirişlere bazı bağlantı yöntemleri gerekebilir. Oluklar standart biçimlerde ve boyutlarda kolayca temin edilebilirken toplam hasat edilen yağış miktarını en üst düzeye çıkarmak için eğimle monte edilmiş özel imalat profiller de kullanılabilir (Abdulla ve Al-Shareef, 2009).

Oluklar yarı dairesel veya dikdörtgen olabilir ve aşağıdaki malzemeler kullanılarak yapılabilir:

- Gerekli şekillere katlanmış, düz galvanizli demir sac gibi yerel olarak temin edilebilen malzemenin yapılan oluklar,
- Boruların iki eşit yarı dairesel kanala kesilmesiyle kolayca hazırlanabilen PVC malzemenin yapılan oluklar,
- Bambu gövdelerinin dikey olarak ikiye kesilmesi ile yapılan oluklar.

Borular; çatılardan toplanan yağmur suyunu hasat sistemine taşıyan boru hatları veya drenajlardır. Borular, polivinil klorür (PVC), asbest veya galvanizli demir gibi malzemelerden olabilir. Yağmur suyunu, depolama tankına toplamak ve taşımak için kullanılacak borular eğimli bir çatının kenarında olmalıdır (Anonim a, 2005). Oluk ve iniş boruları da çatı yüzeyleri gibi, su kalitesi üzerinde olumsuz etkileri önlemek için ahşap, plastik, alüminyum veya fiberglas gibi kimyasal olarak reaksiyon göstermeyen malzemelerden yapılmalıdır (Abdulla ve Al-Shareef, 2009). Yağış yoğunluğuna (saatte mm cinsinden ortalama yağış oranı) ve çatı yüzey alanına göre yağmur suyunun boşaltılması için gerekli borunun çapı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yağış Yoğunluğuna ve Çatı Yüzeyi Alanına Göre Boru Çapları (Anonim a, 2005)

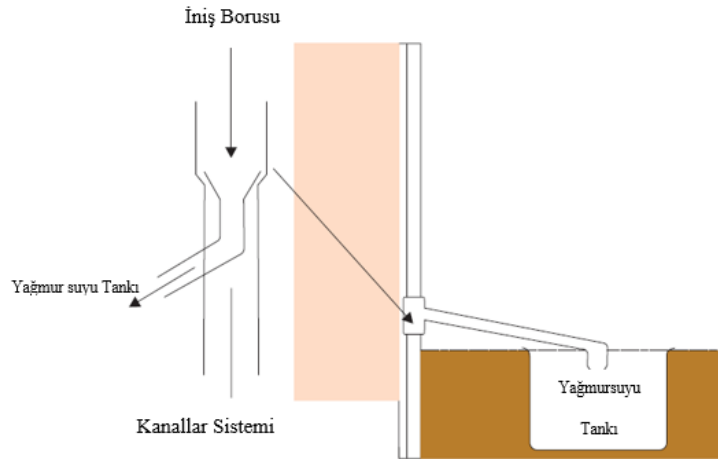
Boru Çapı (mm)	50	75	100	125	150	200
Çatı Alanı (m ²)	Ortalama Akış Hızı (mm/sa)					
50	13,4	8,9	6,6	5,3	4,4	3,3
65	24,1	16,0	12,0	9,6	8,0	6,0
75	40,8	27,0	20,4	16,3	13,6	10,2
100	85,4	57,0	42,7	34,2	28,5	21,3
125	-	-	80,5	64,3	53,5	40,0
150	-	-	-	-	83,6	62,7

- Oluk ve boru sistemi tasarlanırken göz önüne alınması gereken bazı genel parametreler ise;
- İniş boruları yuvarlak veya kare kesitli olabilir. Kare kesitli borulardaki sürtünme yuvarlak kesitli borulara göre daha fazladır. Yağmur olukları en az 4 inch (10,16 cm) genişlikte olmalıdır. Çatı eğimi arttıkça oluk genişliği de artmalıdır. Yağmur oluğunun minimum eğimi, % 0,5 olmalıdır (fit başına 1/16 inch)
 - Yağmur oluklarından düşey boruya bağlantı parçaları, donmaya karşı daha dayanıklı olan sac metal malzemeden olmalı, yerden 1,5 m yükseklikte olmalıdır.
 - Yer altı borusuna bağlantıda düşey borunun döküm demir olması gerekmektedir.
 - Oluklardan borulara iniş parçası minimum 1.75 inch x 2 inch (4,45 cm x 5,08 cm) ölçüde olmalı, iki iniş parçası arasındaki mesafe en fazla 23 m olmalıdır.
 - Konutlar için minimum 5 adet yarım daire kesitli oluklar kullanılmalı, düşey boru çapları 3 inch (7,62 cm) veya 4 inch (10,16 cm) olmalı, düşey kare kesitli parçalarda 2 inch (5,08 cm) x 3 inch (7,62 cm veya 2 inch (5,08 cm) x 4 inch (10,16 cm) olmalıdır (Önen, 2001).

2.2.3. Izgaralar

Yaprak gibi büyük çaplı döküntülerin sisteme girmesini önlemek için, 0,635 cm (1/4 inch) tel örgüden yapılmış ızgara şeklindeki yaprak elekler, oluk girişine monte edilebilir. Oluk kelepçeleri genellikle her 1,5 metrede bir yerleştirilir (Anonim a, 2005). Şekil 1’de görüldüğü gibi toplanan yağmur suyu depolama tankına veya dağıtım sistemine girmeden önce yaprakların ve döküntülerin sisteme girişi önlemek için iniş borularına da filtre takılabilir (Ling ve Benham, 2014). Oluklar eğim çizgisinin yaklaşık 0,635 cm altına yerleştirilmelidir, böylelikle döküntüler oluğu düşürmeden temizlenebilir. Depolama tankına bağlanmadan önce boruda ilk yıkama cihazı bölümü bulunmalıdır. Depolanan su içme amacıyla kullanılacaksa filtre sistemi eklenmelidir (Anonim a, 2005). Filtrasyon sistemi, temizlenmesi kolay olan moloz, kir, döküntü ve hayvan dışkısının depolama tankına girişini önlemek için kullanılan ızgaralardan oluşur (Harb, 2015).

2.2.3.1. İlk Yıkama Cihazı (İlk Sifon)



Şekil 2:

Taşıma Sistemi (UNEP, 1982)

İlk yıkama cihazı Şekil 2’de görüldüğü gibi, depolama tankının hemen yukarisına ve iniş borularının aşağı akışına monte edilen bir süzgeç veya 30 mikron filtreye sahip bölümdür. Yağmur suyunun “ilk sifonu” toz, polen, yapraklar, böcekler, kuş dışkısı ve diğer kalıntılar gibi son yağıştan bu yana toplama yüzeyinde toplanan malzemeleri içermektedir. İlk yıkama cihazı,

büyük miktarda kirletici içeren suyun tanka girmesini engelleyen bir valftir. Birikinti miktarı ve türü, son yağıştan bu yana kuru gün sayısına ve suyun kullanım amacına bağlıdır. Her bir iniş borusunun kendi ilk yıkama cihazı olması gerekir, ilk yıkama cihazı toplama alanının iniş borusuna göre boyutlandırılmalıdır (Ling ve Benham, 2014).

İlk yıkama cihazı, genellikle 15-20 cm PVC boru ve bir valften oluşup alttan temizlenir. Cihaz, oluk iniş borusundan gelen su üstten taşmayacak şekilde takılır ve kapatılır. Boru dolduğunda, suyun geri kalanı depolama tankına bağlı olan iniş borusuna akar. Bu sistemler, her 1000 m²'lik toplama alanı için en az 50 litre su yönlendirilecek şekilde tasarlanmalıdır. İlk sifon suyu, çim veya bahçe sulama gibi içilemeyen uygulamalarda kullanılabilir. Tavsiye edilen su miktarının 0,2 mm'den 2 mm'ye kadar olduğu tahmin edilmektedir (Doyle, 2008). Brezilya'daki NBR 15527 Standardına göre de ilk yıkama miktarı için belirli bir veri yoksa yağmurun ilk 2 mm'sinin sistemden tasfiye edilmesi önerilir (ABNT, 1998).

İlk yağmur suyu, borularda ön arıtma işlemi gerçekleştirildikten sonra depolama tanklarına yönlendirilir. Kanal elle veya otomatik olarak çalıştırılabilir ve böyle bir yapıyla su toplama kalitesi kontrol edebilir. Huni şeklindeki bir yapı, iniş borusuna eklenir. Huni yapısı ile iniş borusunun iç yan duvarı arasında bir boşluk bırakılıp huniden geçen yağmur suyu filtrelenirken, yağmur suyunun fazlalığı boşluklar aracılığıyla sistemden tasfiye edilir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, fazla su depolama tankına borular yoluyla gönderebilir. Bu sistemi, suların aşındırıcı etkisinden korumak için metal boru yerine, plastik, PVC veya diğer inert yapıdaki borular kullanır (Shijila, 2014).

2.2.4. Depolama Tankları

Depolama tankı, diğer bileşenlere kıyasla yüksek maliyetli olduğundan yağmur suyu hasadı sisteminin en önemli bileşenidir. Uygun boyutu düşük maliyetle sağlamak için doğru tasarım gerektirir. Depolama tankı, depolanacak su miktarına göre tasarlanır. Konumu yer altında veya yer üstünde olabilir (Worm ve Hattum, 2006).

Depolama tanklarının malzemesi, boyutu ve yeri, toplanan yağmur suyunun kullanım amacına bağlıdır. Tankın kapasitesi, tahmini aylık su talebi, kullanımın yeri, aylık yağış ve toplama alanının büyüklüğü ile orantılı olmalıdır (Stringer, 2017; Che-Ani ve diğ., 2009; Kumar ve diğ., 2019).

Depolama tankları, plastik, fiberglas, ahşap, beton ve galvanizli metal gibi çeşitli malzemelerden yapılabılır; sağlam, pürüzsüz bir iç yüzeye sahip su geçirmez olmalıdır ve toksik olmayan malzemelerle donatılmalıdır. Depolanan yağmur suyu, içme suyu olarak kullanılacaksa olası sızıntıyı önlemek için özel sızdırmazlık malzemeleri gerekebilir (Stringer, 2017). Bu tankların inşası için şekle (silindirik, dikdörtgen ve kare), inşaatın boyutuna ve malzemesine (tuğla, taş işçiliği, çimento tuğlaları, düz çimento betonu ve betonarme beton) göre çok sayıda alternatif vardır. Beton tanklar genellikle yerinde yapılırlar, uzun ömürlü ve dayanıklıdırlar (Anonim b, 2005).

Depolanan suyun kirlenmesini azaltmak için önlemler alınmalıdır. Depolama tankında alg büyümesini ve sivrisinek üremesini önlemek için depolama tankının sıkı bir kapakla kapatılması gerekir. Alg büyümesini engellemek için tank opak (mat, şeffaf olmayan) olmalıdır; yarı saydam malzemeden yapılmış tanklar genellikle kullanımdan önce boyanır (Pradhan ve Sahoo, 2019). Yer altı depolama tanklarında güvenliği sağlamak için tankın üst kısmında kapaklar bulunmalıdır. Kapakların konumu, temizlik ve bakım için kolaylıkla erişilebilir olmalıdır. Kapaklar, yanlışlıkla yüzeysel suların veya yer altı suyunun depolama tankına girişini önlemek için mühürlenmelidir. Yer altına sızan sular, depolama tankının boş olduğu zamanlarda tankın zeminden yukarı doğru çıkmasına neden olabilir (Stringer, 2017).

Yer üstü depolama tankları, kazı ve bakım kolaylığı sağlarken, yer altı depolama tankları depolanan suyu daha serin tutar. Tanklar kullanım noktalarına yakın yerleştirilmeli ve tankların ekipman ihtiyacı azaltılmalıdır. Güvenli bir su temini sağlamak için depolama tankları, tuvalet suları gibi herhangi bir kirlilik kaynağından en az 15 m uzakta ya da tank yerin altındaysa septik

tanklardan uzakta konumlandırılmalıdır. Depolama tankının tabanı eğimli olmalıdır ve dipte çökelen tortuların temizlenebilmesi için tankın tabanına yakın bir açıklık bulunmalıdır. Tank belirli aralıklarla klor çözeltisi kullanılarak yıkanmalı ve iyice durulanmalıdır. Tankların çift bölmeye sahip olması temizlemeyi kolaylaştırır.

Depolama tankında bulunan musluklar ve pompalar, depolanan suyu kirletmemelidir. Musluklar, tank tabanının en az 10 cm üzerine monte edilmelidir. Yağmur suyu boruları, içme suyu boruları ile karıştırılma riski olmayacak şekilde kalıcı olarak işaretlenmelidir (Anonim a, 2005).

Literatürde yer alan ve yaygın olarak kullanılan yağmur suyu tanklarının inşası için gerekli malzemeler ve özellikleri Tablo 3'te derlenmiştir (Anonim, 2004; Anonim a, 2005; Anonim b, 2005; UNEP, 1997; Ling ve Benham, 2014).

Tablo 3. Malzeme Türüne Göre Depolama Tanklarının Özellikleri

Malzeme Türü		Özellikler
Beton		Zeminin üzerine ya da gömülü olarak inşa edilebilir. Ağırlıkları nedeniyle taşınması oldukça zordur. Çatlamaya bağlı sızıntı olabilir. Depolama tankı, yapısında sahip olduğu CaCO ₃ 'ün duvarlardan ve zeminden çözünmesine izin vererek yağmur suyunun aşındırıcılığını azaltır.
Çimento/ Betonarme		Demir çerçeve etrafında örülmüş çelik hasır ve çimento harcından oluşmaktadır. Diğer malzemelere göre daha ucuz olmasına rağmen bakım sıklığı fazladır. Buharlaşmayı azaltmak ve suyu serin tutmak için beyaz renge boyanabilir. Toksik bileşik içeriği kontrol edilmelidir.
Plastik	Fiberglas	Hafif, uygun fiyatlı ve uzun ömürlüdür. Temin edilmesi ve taşınması kolaydır. Çeşitli boyutları mevcuttur. Güneş ışığının geçişini önlemek için dış yüzeyi kaplanmalıdır.
	Plastik Astar	Kontrplak gibi malzemelerden yapılmış düşük maliyetli depolama tanklarında kullanılabilir. İçme suyu kullanımı için uygundur.
	Polietilen	Boyut, şekil ve renkleri çeşitlidir. Yer altında veya yer üstünde inşa edilebilirler. Maliyeti nispeten düşüktür. Fiberglasa göre daha dayanıklıdır. İç yüzeyleri pürüzsüz olduğundan kolay temizlenebilir. Hafif olduklarında dolayı kolaylıkla taşınabilir. Alg büyümesini engellemek için boyanmalıdır.
Metal		Temin edilmesi kolaydır ve uygun fiyatlıdır. Çok tercih edilir. Nispeten hafiftir ve taşınmaya elverişlidir. Asidik koşullarda korozyona uğrayabilir.

2.2.5. Taşıma

Depolanan yağmur suyunun kullanım alanlarına iletilmesi işlemine taşıma denir. Depolama tankının ve suyun kullanım amacına bağlı olarak, istenen su basıncını elde etmek için sisteme pompa veya basınç tankı eklenebilir. Geri akışı ve basınç kaybını önlemek için pompa ve basınç tankı kombinasyonları kullanılabilir. Pompa ve depolama tankı arasında tek yönlü bir çekvalf vanası gerekir. Basınç ihtiyacını ve gerekli boşluğu sağlamak için pompa kullanılabilir (Ling ve Benham, 2014).

Yağmur suyu toplama sistemlerinin ilk yatırım maliyeti büyük ölçüde toplama, taşıma, tank büyüklüğü ve kullanılan depolama tankı malzemelerinin türüne bağlıdır. Bileşenlerin maliyetlerinin yanında sistemin kurulum maliyeti de vardır (Anonim, 2002).

2.2.6. Su Arıtma

Kir, pas, kireç, silt ve diğer askıdaki partiküller, kuş ve kemirgen dışkıları, havadaki bakteriler ve kistler; ilk-sifon, elekler ve kapaklar tasarıma uygun bir şekilde monte edilemediğinde depolama tankına kadar ulaşır. Toplanan yağmur suyunun içilebilir kullanımında, içme suyu standartlarını karşılayacak şekilde tortu ve patojenlerin giderilmesi için arıtma ve dezenfeksiyon gerekir. Depolanan suyun hangi yöntemle arıtılacağına karar vermeden önce akredite bir laboratuvar tarafından analiz edilip suyun içilebilir veya içilemez kullanımlar için uygun olup olmadığı belirlenmelidir.

Tortu giderimi genellikle kartuş filtreler kullanılarak gerçekleştirilir. İçme sistemleri için kullanılan filtreler, çatı oluklarında kullanılan eleklerden çok daha incedir ve genellikle seri olarak kullanılır. Örneğin yaygın kurulumda, askıya alınmış materyali ve tozu temizlemek için 5 mikronluk bir filtre; ardından mikroskobik partikülleri gidermek ve organik kirletici maddeleri emmek için 3 mikron aktifleştirilmiş karbon filtresi kullanılmaktadır. Kartuş filtreler, üreticinin belirlediği aralıklara göre düzenli olarak değiştirilmelidir.

Yağmur suyunun içilebilir kullanımı için ultraviyole (UV) ışığı, ozonlama veya klorlama dezenfeksiyonu yapılabilir. Dezenfeksiyon için mevcut UV lambalar dakika/litre olarak derecelendirilir. Ozon (O₃) jeneratörleri, reaktif bir oksijen molekülü olan ozon üretmek için kullanılır. Ozon, sudaki herhangi bir organik molekülü oksitler ve daha sonra hızla reaktif olmayan oksijene dönüşür. Klorlama ile dezenfeksiyonda ayrı bir enjeksiyon pompası takılmalıdır. Bakteri giderimini sağlamak için sistem yeterli temas süresine göre tasarlanmalıdır. Tek başına klorlama *Giardia* veya *Cryptosporidium* kistlerini öldürmek için yeterli olmadığından, 1 mikronluk filtreye ihtiyaç vardır. Tüketicilerin çoğu, klorun tadını ve kokusunu sakıncalı bulduğu için suyu kullanmadan önce aktif karbon filtresi kullanmayı tercih etmektedir (Ling ve Benham, 2014).

Toplanan yağmur suyunun kullanılabilir olması için kirlilik yükü içermemesi, güvenli ve uygun maliyetli olması gerekir. Şartların sağlanması için uygun şekilde yapılmış; kum çakıl filtresi, odun kömürü filtresi, PVC boru filtresi ve sünger filtre gibi filtreleme sistemleri kullanılabilir (Gould ve McPherson, 1987). Yağmur suyunun arıtılmasında kullanılan arıtma teknolojileri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Arıtma Teknolojileri (Anonim a, 2005)

Yöntem	Yer	Sonuç
Izgaradan geçirme		
Süzgeçler ve yaprak süzgeç	Oluklar ve başlıklar	Yaprakların ve diğer kalıntıların tanka girmesi önlenir.
Çökeltme		
Çökeltme	Tank içinde	Partikül madde giderimi.
Filtrasyon		
Sıralı / çoklu kartuş	Pompadan sonra	Tortu elekten geçirilir.
Aktif Karbon	Muslukta	Klor uzaklaştırma.
Ters Ozmos	Muslukta	Kirleticiler (iyon ve metaller) uzaklaştırma.
Karışık Medya	Ayrı tank	Partikül madde giderme.
Yavaş Kum Filtrasyonu	Ayrı tank	Partikül madde giderme.
Dezenfeksiyon		
Kaynama/Damıtma	Kullanımdan önce	Mikroorganizma giderimi.
Kimyasal Arıtma (Klorlama ya da İyotlama)	Tank içinde ya da pompada	Mikroorganizma giderimi. (sıvı, tablet ya da granüle halde)
UV	Akif karbon filtresinden sonra yerleştirilmelidir.	Mikroorganizma giderimi.
Ozon	Musluktan önce	Mikroorganizma giderimi.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su kaynaklarının kirlenmesi ve bilinçsizce kullanımı, yanlış tarımsal uygulamalar, iklim değişikliği, çarpık kentleşme, nüfus artışı ve endüstrileşmeye bağlı olarak su tüketiminin artması günümüzde birçok ülkenin tatlı suya ulaşmasında sıkıntı yaratmaktadır. Küresel ısınmayla bağlantılı olarak dünya tarihi boyunca yaşanan en sıcak yaz mevsimleri son 10 yılda yaşanmış olup tatlı su kaynaklarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu yarı kurak iklim, su kullanım alışkanlıkları, nüfus artış hızı ve su kaynaklarının mevcut miktarı göz önüne alındığında gelecek yıllarda su fakiri ülkeler arasında yer alması yüksek bir ihtimaldir. Dolayısı ile su kaynaklarının korunması için su tasarrufu çok önemlidir. Tatlı su kaynaklarına olan ihtiyacın artmasıyla birlikte yağmur suyu hasadı gibi alternatif yöntemlere ilgi gün geçtikçe daha cazip hale gelmektedir. Binalarda çatılardan doğrudan toplanan yağmur suyu, içme suyu şebekesinden temin edilen suya alternatif bir kaynaktır. Yağmur suyu hasadı sadece su kaynaklarının miktarını arttırmakla kalmayıp aynı zamanda halkı, su yönetimine dâhil ederek su yönetimini herkes tarafından benimsenir hale getirebilir. Yağmur suyu hasadı sistemlerinin kullanımı, ekonomik kazanç elde etmenin yanında alternatif su kaynaklarının kullanımını teşvik ederek su kaynaklarının korunmasını sağlamaktadır.

Yağmur suyu hasadı sistemleri, günümüzde dünyanın birçok ülkesinde uygulanıyor olmasına rağmen yakın zamanda su sıkıntısı çekecek ülkeler kategorisinde yer alan Ülkemizde, bu konu ile ilgili gelişmeler henüz yeterli seviyede değildir. Oysa yağmur suyunun binalarda kullanımının yaygınlaştırılması, farklı ülkelerde farklı teşvik ve yasalarla desteklenmektedir.

2017 yılında yürürlüğe giren “Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik” çerçevesinde su ihtiyacının ve kuraklığın fazla olduğu bölgelerdeki uygulamaların hayata geçirilmesi desteklenmelidir. Yönetmelikte binalardan yağmur suyu hasadı ile ilgili açıklamalar bulunmamakta olup herhangi bir teşvikten bahsedilmemektedir. Bundan dolayı uygulamalar sınırlı sayıda kalmaktadır. Yeşil binalarla ilgili mevzuat çalışması ise mevcut olup hiçbir zorunluluk bulunmamaktadır. Çevre dostu yeşil binaların yaygınlaştırılması ancak devlet tarafından teşvikler ile sağlanabilir.

Yağmur suyu hasadı yöntemlerinin Ülkemizdeki kullanımının artması için aşağıdaki öneriler hayata geçirilebilir;

- Ülkemize ait iklim, coğrafya, tüketim alışkanlıkları, politika, yönetmelikler, inşaat uygulamaları ve inşaat yapı malzemeleri, altyapı gibi etkenler göz önünde bulundurularak yerel ölçekli sistemler oluşturulmalıdır. Gelecekte su sıkıntısı yaşanması muhtemel bölgeler, nüfusa bakılarak belirlenmeli ve ülkenin illere göre yağış belirleme çalışmalarıyla yağmur suyu hasadı profilleri çıkarılmalıdır.

- Kamu binalarında ve ticari binalarda yağmur suyu hasadı sistemleri uygulandığında bireysel konutlara kıyasla daha fazla su tasarrufu sağlandığı için çatı alanı büyük olan bu tip binalarda yağmur suyu hasadı projelerine öncelik verilmelidir. Özellikle havalimanlarında, askeri bölgelerde, stadyumlarda, toplu konut alanlarında, otel gibi turistik tesislerde ve çatı alanı yeterince büyük olan binalarda yağmur sularının toplanarak, basit arıtma işlemlerinden geçirilip kullanıma sunulması binalarda su korunumu için alınabilecek önlemlerdir. Farklı ülkelerde uygulanan yönetmeliklerdeki gibi (Han ve Park, 2005) yağmur suyu hasat ve yönetiminin teşvik edilmesi için Su Kanunu Yasası çıkarılmalıdır. 2500 m² ve üzeri büyük çatı alanlarını ve spor tesislerini kapsayacak şekilde yağmur suyu hasat sistemleri zorunlu hale getirilebilir. Yeni yapılacak olan büyük ölçekli kamu binalarında, alışveriş merkezlerinde, yüksek katlı iş merkezlerinde veya kentsel dönüşüm projelerinde yağmur suyunun çatı yüzeyinden toplanarak suyun tuvalet rezervuarlarında, bahçe sulamada, araç yıkama ve peyzaj uygulamalarında kullanımı zorunlu hale getirilmelidir. Böylelikle yağmur suyu hasadı gibi çevre dostu alternatif kullanımların ülke içinde yaygınlaşması sağlanacaktır.

- Yeni inşa edilecek olan bireysel ve ticari konutlarda suyun verimli kullanılması ve su korunumunun sağlanması için yağmur suyu hasadı zorunlu hale getirilmeli, yapılacak olan binalara “su kimlik belgesi” verilmelidir. Bu belgeye sahip olmayan binaların alım-satımı yasaklanmalıdır.

- Sanayi sektöründe yağmur suyu hasadı uygulamaları ve su tasarruf modelleri geliştirilmelidir. Sanayi sektörlerine yönelik özel yönetmelikler çıkartılıp yağmur suyu hasadı zorunlu hale getirilmelidir.

- Binalarda yağmur suyunun kullanılması ve yaygınlaştırılması ancak vergi indirimleri ve finansal devlet teşvikleri ile mümkündür. Su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanılması ve su tasarrufunun sağlanması için binalarda yağmur suyu kullanım teknolojileri geliştirilmelidir. Mevcut kısıtlı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için yenilikçi projeler hayata geçirilmeli ve yağmur suyu hasadı ile ilgili donanımlı kişilerin yetiştirilip gelecek nesiller için su kaynaklarının korunması amaçlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Abdulla F.A., Al-Shareef A.W. (2009) Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan, *Desalination*, 243,(1-3),195–207. doi:10.1016/j.desal.2008.05.013.
2. Abdulla, F. (2019) Rainwater Harvesting in Jordan: Potential Water Saving, Optimal Tank Sizing and Economic Analysis, *Urban Water Journal*, 1–11. doi:10.1080/1573062X.2019.1648530.
3. ABNT, (1998) Associação Brasileira de Normas Técnicas (Brazilian Association of Technical Standards). NBR 5626: Instalação predial de água fria, NBR 5626: Cold water installation, 41 p., in Portuguese.
4. Aladenola, O. and Adeboye, O.B.(2010) Assessing The Potential For Rainwater Harvesting, *Water Resources Management*, 24, (10), 2129-2137, doi:10.1007/s11269-009-9542-y
5. Alpaslan N., Harmancioglu N.B., Singh V.P. (1992) Cisterns as a water supply alternative for sparse establishment, *Hydrology Journal of Indian Association of Hydrology (IAH)*, vol.XV, No.1-2, Jan-June 1992, pp. 1–13.
6. Alparslan N., Tanık A., Dölgen D. (2008) *Türkiye’de Su Yönetimi Sorunlar ve Öneriler*, Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği (TÜSİAD) Yayın No: T/2008-09/469.
7. Anonim, (2002) An Introduction to rainwater harvesting general description, *Global Development Research Center*, Osaka, Japan, 2002. Access address: <http://www.gdrc.org/>
8. Anonim, (2004) *Harvesting the Heavens Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries*, The South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC) and the Secretariat of the Pacific Community (SPC), Suva, Fiji Islands, SOPAC Joint Contribution Report 178.
9. Anonim a, (2005) *Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Programı (UN-Habitat), Yağmur Suyu Toplama ve Kullanma, Mavi Damla Serisi, Kitap 3: Yararlanıcılar ve Kapasite*, Nairobi: Un-Habitat. (Erişim Tarihi: 12.03.2019)
10. Anonim b, (2005) *Texas Water Development Board*, Texas manual on rainwater harvesting, Austin, TX, www.twdb.state.tx.us.
11. Anonim, (2008) *Guidelines for Drinking-water Quality (WHO), 3rd Edition. Incorporating The First and Second Addenda*, Vol. 1 Recommendations, Geneva.
12. Asano T., Levine A.D. (1996) Waste Water Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present, and Future, *Water Science and Technology*, 33(10-11): 1-14, doi:10.1016/0273-1223(96)00401-5.
13. ASCE, (1969) Design and Construction of Sanitary Storm Sewers. In: *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice*, vol. 37. ASCE, New York.
14. Che-Ani AI., Shaari N., Sairi A., Zain MFM., Tahir M.M. (2009) Rainwater Harvesting as an Alternative Water Supply in The Future, *European Journal of Scientific Research*; 34(1): 132-140.
15. Choudhury, I., Vasudevan, L. (2003) *Factors of Biological Contamination of Harvested Rainwater For Residential Consumption in Proceedings of The Hawaii International Conference on Social Sciences*, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. USA. Access address: <http://www.watercache.com/docs/rwquality1.pdf>.

16. Doyle, K. (2008) Sizing the First Flush and its Effects on the Storage-Reliability Yield Behavior of Rainwater Harvesting in Rwanda, *M.S. Thesis*, Massachusetts Institute of Technology.
17. DIN, (1989) Regenwassernutzungsanlagen. Deutsches Institut Normung DIN: 1989, German.
18. Eren, B., Aygün, A., Likos, S., Damar, A.İ. (2016) Yağmur Suyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüs Örneği. *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES)*, 3-5 Kasım, Antalya.
19. Farreny, R., Morales-Pinzo'n T., Guisasola, A., Taya, T., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2011) Roof Selection For Rainwater Harvesting: Quantity and Quality Assessments in Spain, *Water Research*, 45, 3245-3254. doi:10.1016/j.watres.2011.03.036.
20. Fewkes, A. (2000) Modelling The Performance of Rainwater Collection Systems: Towards a Generalised Approach, *Urban Water*, 1, 323-333. doi:10.1016/S1462-0758(00)00026-1.
21. Hammes, G., Ghisi E., Thives, L.P. (2020) Water end-uses and rainwater harvesting: a case study in Brazil, *Urban Water*, 17, (2), 177-183. doi: 10.1080/1573062X. 2020.1748663.
22. Han, M., Park, J. (2005) *Rainwater Water Management in Korea: Public Involvement and Policy Development, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use*, Tokyo, Japan.
23. Ghisi, E., Bressan, D.L., Martini, M. (2007) Rainwater Tank Capacity and Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater in The Residential Sector of Southeastern Brazil, *Building and Environment*, 42, (4), 1654-1666. doi: 10.1016/j.buildenv.2006.02.007.
24. Ghisi, E., da Fonseca T., Rocha, V.L. (2009) Rainwater Harvesting in Petrol Stations in Brasilia: Potential for Potable Water Savings and Investment Feasibility Analysis, *Resources, Conservation and Recycling*, 54, (2), 79-85. doi:10.1016/j.resconrec.2009.06.010.
25. Gleick, P.H. (2000) The Changing Water Paradigm a Look at Twenty-First Century Water Resources Development, *Water International*, 25, (1), 127-138. doi:10.1080/02508060008686804.
26. Gould, J.E., McPherson, H.J. (1987) Bacteriological Quality of Rainwater in Roof and Ground Catchment Systems in Botswana, *Water International*, 12,(3), 135-138. doi: 10.1080/02508068708686604.
27. Harb, R. (2015) Assessing the Potential of Rainwater Harvesting System at the Middle East Technical University-Northern Cyprus Campus, *M.S. Thesis*, Middle East Technical University Northern Cyprus Campus, Kıbrıs.
28. Herrmann, T., Schmida, U. (2000) Rainwater Utilisation in Germany: Efficiency, Dimensioning, Hydraulic and Environmental Aspects, *Urban Water*; 1,(4), 307-316. doi:10.1016/S1462-0758(00)00024-8.
29. Himat, M.A. (2018) Çatılardan Yağmur Suyu Hasat Potansiyelinin İl Bazında Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
30. Imteaz, M.A., Adeboye, O., Rayburg, S., Shanableh A. (2012) Rainwater Harvesting Potential for Southwest Nigeria Using Daily Water Balance Model, *Resources, Conservation and Recycling*, 62, 51-55. doi: 10.1016/j.resconrec.2012.02.007.

31. Kantaroğlu, Ö. (2011) Yüksek Performanslı Binalarda Su Stratejileri, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 34-38.
32. Lancaster, B. (2006) Guiding Principles to Welcome Rain into Your Life and Landscape, *In: Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond*, vol. 1. Rainsource Press, Tucson, Arizona.
33. Liaw, C.H., Tsai, Y.L. (2004) Optimum Storage Volume of Roof top Rain Water Harvesting Systems for Domestic Use, *Journal of the American Water Resources Association*, 40, 901-912. doi:10.1111/j.1752-1688.2004.tb01054.x.
34. Ling, E., Benham, B. (2014) Rainwater Harvesting Systems, *Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech*, Virginia State University, Lecture Notes.
35. Lu, Y.P., K. Yang, Y. Che, Z. Y. Shang, H. F. Zhu, Jian Y. (2013) Cost effectiveness-based Multi-criteria Optimization for Sustainable Rainwater Utilization: A Case Study in Shanghai, *Urban Water Journal*, 10,(2), 127–143. doi:10.1080/1573062X.2012.682591.
36. Marinoski, A., A. Vieira, A. Silva, Ghisi E. (2014) Water End-uses in Low-income Houses in Southern Brazil, *Water*, 6, (7), 1985-1999. doi:10.3390/w6071985.
37. Maykot, J. K., Ghisi E. (2020) Assessment of a Rainwater Harvesting System in a Multi-Storey Residential Building in Brazil, *Water*, 12, (2), 546. doi:10.3390/w12020546.
38. McCuen, R. (2004) *Hydrologic Analysis and Design Third ed.*, Pearson Education Inc, Upper Saddle River, NJ.
39. Ndeketeya, A., Dundu, M. (2019) Maximising the Benefits of Rainwater Harvesting Technology Towards Sustainability in Urban Areas of South Africa: A Case Study, *Urban Water Journal*, 16,(2), 163–169. doi: 10.1080/1573062X.2019.1637907.
40. Önen İ. (2001) Binalarda Yağmur Suyu Tesisatı, *TTMD (Türk Tesisat Mühendisleri Derneği) Dergisi*, Yayın No: 11.
41. Örs İ., Safi S., Ünlükara A., Yürekli K. (2011) Su Hasadı Teknikleri; Yapıları ve Etkileri, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4, (2), 65-71.
42. Pacey, A., Cullis, A. (1986) *Rainwater Harvesting: The Collection of Rainfall and Runoff in Rural Areas*, SRP, Exeter.
43. Pradhan, R., Sahoo, J. (2019) *Smart Rainwater Management: New Technologies and Innovation, Smart Urban Development*, Vito Bobek, Intech Open. doi:10.5772/intechopen.86336.
44. Rahman, A., Dbais, J., Imteaz, M. (2010) Sustainability of Rainwater Harvesting Systems in Multistorey Residential Buildings, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 3, (1), 73-82. doi:10.3844/ajeassp.2010.73.82.
45. Shijila, E. (2014) Development of a Filter System for Roof Water Harvesting, *Doctoral Dissertation*, Tavanur: College of Agricultural Engineering and Technology.
46. Singh, V.P. (1992) *Elementary Hydrology*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
47. Strangeways, I. (2006) *Precipitation: Theory, Measurement and Distribution*, Cambridge University Press, Cambridge, UK., 106-120.
48. Stringer, A., Vogel, J., Lay, J., Nask, K. (2017) Design of Rainwater Harvesting Systems in Oklahoma. *Division of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Oklahoma State University.

49. Sturm, M., Zimmermann, M., Schutz, K., Urban, W., Hartung, H. (2009) Rainwater Harvesting as an Alternative Water Resource in Rural Sites in Central Northern Namibia, *Physics and Chemistry of the Earth*, 34,(13-16), 776-785. doi:10.1016/j.pce.2009.07.004.
50. Şahin, N.İ. (2010) Binalarda Su Korunumu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
51. Thomas, T. (1998) Domestic Water Supply Using Rainwater Harvesting. *Building Research and Information*, 26, (2), 94-101. doi:10.1080/096132198370010.
52. Tomas, P. (2009) *Aproveitamento De Água De Chuva Em Áreas Urbanas Para Fins Não Potáveis (Use of Rainwater in Urban Areas for Non-potable Purposes)*, Livrodigital, Capítulo 5-Coefficiente de runoff, Digital Book, Chapter 5-Run off coefficient. Access address:<http://www.pliniotomaz.com.br> (Accessed July 2018)
53. TxDOT, (2009) *Hydraulic Design Manual*, Texas. Access address: <http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/hyd.pdf> (accessed July 2020)
54. UNEP, (1997) *Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean*. IETC Technical Publication Series by UNEP International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga, Japan.
55. UNEP, (1982) *Rain and Storm Water Harvesting in Rural Areas*. Tycooly International Publishing Ltd., Dublin.
56. Viessman, W. Lewis, G.L. (2003) *Introduction to Hydrology Fifthth ed.*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
57. Wada, Y., Flörke M., Hanasaki N., Eisner S., Fischer G., Tramberend S., Satoh Y., et al. (2016) Modeling Global Water Use for the 21st Century: Water Futures and Solutions (Wfas) Initiative and Its Approaches, *Geoscientific Model Development*, 9, (1), 175–222. doi: 10.5194/gmd-9-175-2016.
58. Ward, S., Barr S., Memon F., Butler D. (2013) Rainwater Harvesting in the UK: Exploring Water-user Perceptions, *Urban Water Journal*, 10, (2), 112–126. doi: 10.1080/1573062X.2012.709256.
59. Ward, S., Memon, F.A., Butler, D. (2010) Harvested Rainwater Quality: The Importance of Appropriate Design, *Water Science and Technology*, 61, (7), 1707-1714. doi:10.2166/wst.2010.102
60. Worm, J., Hattum, V. (2006) *Rainwater Harvesting For Domestic Use*, Agrodok 43. Agromisa Foundation and CTA. Wageningen. The Netherlands. 82. ISBN Agromisa:90-8573-053-8, ISBN CTA: 92-9081-330-X.
61. Willis, R. M., Stewart, R.A., Panuwatwanich, K., Williams, P.R., Hollingsworth, A.L. (2011) Quantifying the Influence of Environmental and Water Conservation Attitudes on Household End Use Water Consumption, *Journal of Environmental Management*, 92, (8), 1996–2009. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.03.023
62. WWAP, World Water Assessment Programme, (2018) *Nature-based Solutions for Water. Paris: United Nations World Water Development Report*, UNESCO.
63. Yayılı Kılıç, M., Abuş, M.N. (2018) Bahçeli Bir Konut Örneğinde Yağmur Suyu Hasadı, *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD)*, 4, (2), 209-215. doi: 10.24180/ijaws.426795.

- 64.** Zhang, Y., Grant A., Sharma, A., Chen, D., Chen, L. (2010) Alternative Water Resources for Rural Residential Development in Western Australia, *Water Resource Management*, 24, 25-36. doi:10.1007/s11269-009-9435-0.