

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



MUNZUR ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE YAĞMUR SUYU HASADI

Gölsüm ÇAKMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK

TUNCELİ-2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MUNZUR ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE YAĞMUR SUYU HASADI

Gülsüm ÇAKMAK
(200150024)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK

TUNCELİ-2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MUNZUR ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE YAĞMUR SUYU HASADI

Gülsüm ÇAKMAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 04/04/ 2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

İmza
Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK
(Munzur Üniversitesi)
DANIŞMAN

İmza
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ERDEM
(Munzur Üniversitesi)
ÜYE

İmza
Doç. Dr. Sibel ASLAN
(Fırat Üniversitesi)
ÜYE

Bu tez, Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Altuğ KAZAR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu seminerde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Öğrenci
Gülsüm ÇAKMAK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK

TEŞEKKÜR

Seminer çalışmam boyunca yakın ilgisini eksik etmeyen, güler yüzlü ve destek veren sözleriyle çalışma azmimi perçinleyen, saygı değer Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK'a Kampüs alanı ile ilgili bilgileri derlememe yardım eden Yapı İşleri Teknik Daire Başkanı Dr. Öğr. Üyesi Cihat FİDAN ve Mimar Cihan UYGURLAR'a çok teşekkür ederim. Aynı zamanda destekleriyle yanımda olan aileme, özellikle de varlığıyla ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan Sevgili Münevver ÇELİK Hanımefendiye teşekkürü bir borç bilirim.

Gülsüm Çakmak
TUNCELİ-2024



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ.....	V
SEMBOLLER LİSTESİ.....	VI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR YAĞMUR SUYU YÖNETİM SİSTEMLERİ	5
2. 1. Sürdürülebilirlik	5
2.2. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetim Sistemi Uygulamaları.....	6
2.2.1. Yeşil çatılar	11
2.2.2. Bitkili yağmur suyu hendekleri.....	14
2. 2. 3. İnfiltrasyon- sızdırma hendekleri	17
2. 2. 4. Sarnıçlar	19
2.2.5. Geçirimli yüzeyler	21
2. 2. 6. Geciktirme hazneleri	23
2. 2.7. Yağmur suyu toplama sistemli pavilyonlar	24
3. YAĞMUR SUYU HASADI	26
3.1. Yağmur Suyu Hasat Teknikleri	28
3.2. Yağmur Suyu Hasadına Etki Eden Faktörler.....	32
3.3. Yağmur Suyu Toplama Miktarına ve Depolama Alanına Etki Eden Faktörler.....	39
3.3.1. Yağış miktarı.....	39
3.3.2. Yağış yoğunluğu	39
3.3. 3. Yağış deseni	40
3.3.4. Toplama alanı yüzölçümü.....	40
3.3.5. Kayıp katsayısı.....	40
3.6. Yağmur Suyunun Depolanma Yöntemleri.....	41
4. MATERYAL METOT	42
4. 1. Çalışma Alanı.....	42
4.2. Meteorolojik Veriler	43
5. BULGULAR	45
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
7. KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kırsal ve kentsel alandaki suyun hareketi	9
Şekil 2.2. Yağmur suyu sürdürülebilirliğinin genel düzeni	10
Şekil 2.3. Yeşil çatı uygulaması	12
Şekil 2.4. Yağmur hendeğinin genel görünüşü	16
Şekil 2.5. Kuru yağmur hendeği	19
Şekil 2.6. İnfiltrasyon hendeği örnekleri	19
Şekil 2.7. Yağmur suyu toplama sistemi	21
Şekil 2.8. Modern pavilyon	24
Şekil 2.9. Pavilyon sisteminin şematik gösterimi	25
Şekil 3.1. Tipik yağmur suyu kullanma sistemi	34
Şekil 3.2. Yağmur suyu toplama sistemlerinden kir tutucu süzgeç veya ızgaraya bir örnek	35
Şekil 3.3. Yağmur suyu için depolama tankı	36
Şekil 3.4. Yağmur suyu toplama sistemlerinin bileşenleri	37
Şekil 4.1. Munzur Üniversitesi Aktuluk Kampüsü	43
Şekil 4.2. Tunceli konum haritası	44
Şekil 5.1. Munzur Üniversitesi çalışma alanı bölgeleri.....	45
Şekil 5.2. Munzur Üniversitesi kampüs alanının bölümleri	46

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Geçirimli kaplamaların avantaj ve dezavantajları	22
Tablo 3.1. Yağmur suyunun kullanılabileceği yerler	27
Tablo 3.2. Arıtma teknolojileri	38
Tablo 3.3. Çatı malzemesine göre kayıp katsayıları	40
Tablo 5.1. Munzur Üniversitesi bina bilgileri.....	47
Tablo 5.2. Tunceli ili aylık yağış miktarı.....	48
Tablo 5.3. Bölgelere göre binalara ait çatı alanlarından toplanan su miktarları ve depo kapasiteleri	51
Tablo 5.4. Bölgelere göre binalara ait çatı alanlarından toplanan su miktarları sulama alan ve ihtiyaçları	52



SEMBOLLER LİSTESİ

V_y	: Toplanan yağmur suyu miktarı (m ³)
A	: Yağmur suyu toplama alanı (m ²)
Y	: Aylık veya yıllık yağış miktarı (mm)
e	: Yağmur suyu toplama yüzeyinin verimlilik katsayısı
I	: Yağış verimi (L/sn/sa)
İ	: Yağış şiddeti (mm/dk)
T_s	: Toplanabilen su miktarı (L)
Y_s	: Çatı alanına göre toplanması hesaplanan yağmur suyu (L)
C_r	: Kayıp katsayısı



KISALTMALAR LİSTESİ

BÇS	: Bitkilendirilmiş çatı sistemleri
DEK	: Düşük etkili kalkınma
EİYU	: En iyi yönetim uygulamaları
IUCN	: Dünya Doğayı Koruma Birliği
SDKT	: Suya duyarlı kentsel tasarım
SKDS	: Sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri



ÖZET

Dünya nüfusunun hızla artması, su talebinin her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Bu artan talep, su kaynaklarının sabit olduğu gerçeğiyle birleştiğinde, su sıkıntısının önlenmesi için alternatif çözümlere olan ihtiyacı daha da belirgin hale getirmektedir. Bu sebeple, günümüzde su sıkıntısını hafifletmek amacıyla alternatif su kaynaklarına yönelik teknolojilerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çerçevede, Munzur Üniversitesi kampüsü gibi büyük alanlarda, su kullanımının optimize edilmesi ve çevreci sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

Kentsel alanlardaki plansız büyüme sonucunda, geçirimsiz yüzeylerin artması ciddi yağmur suyu kaynaklı sorunlara neden olmaktadır. Yağmur suyunun yüzeyde akıp giden miktarının artmasıyla birlikte, yağmur suyunun yüzeyden akış süresinin kısalması ve kentsel alanlarda seller ve taşkınlarla karşı daha savunmasız hale gelmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, bu durum yer altı su seviyelerinin azalması, yüzey sularının kalitesinin bozulması gibi çevresel etkileri de beraberinde getirmektedir. Bu durumda, suyun bir tarafta alıcı ortamı kirletirken diğer tarafta temiz içme ve kullanma suyu temininde yaşanan problemler arasındaki dengeyi sağlamak zorlaşmaktadır. Ancak, bina çatılarından toplanacak yağmur sularının sulama gibi amaçlar için kullanılması gibi çevreci uygulamalar, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine katkı sağlayarak bu dengeyi yeniden sağlayabilir. Çatı alanından toplanan yağmur sularının bina içi rezervuarlarında veya çevre sulamada kullanılması ile temiz şebeke suyu kullanımından da tasarruf sağlanabilir. Bu tür çözümler, suyun etkin ve verimli kullanımını teşvik ederken, çevresel etkileri en aza indirerek kentsel alanların su yönetimini iyileştirebilir. Bu sorunlarla mücadele etmek için, yağmur suyunu geri dönüşümlü olarak tekrar kullanılması için bütüncül stratejilerin oluşturulması artık bir gereklilik haline gelmiştir.

Bu tez kapsamında Munzur Üniversitesi Kampüsü'nde bulunan binaların çatı alanlarında toplanacak yağmur sularının bina içi rezervuarlarında ve çevre sulamada tekrar kullanımını mümkün kılmak için gerekli depo hacmi, çatılardan toplanacak yağmur suyu miktarı, bina içlerindeki rezervuarlarda kullanılacak su miktarı ve çevre sulamada tüketilecek su miktarlarının hesapları yapılmıştır. Bu hesaplar Munzur Üniversitesi Kampüsünde bölgeler bazında yapılmış olup, her bölge için gerekli yağmur suyu deposu, bulunduğu bölgenin rezervuar ve çevre sulama su ihtiyacı olan suyu depolayacak kapasitede seçilmiştir. Toplamda 13 bölgeye ayrılmış üniversite kampüsü için yapılan projelendirmede sonuç olarak çatı alanlarından toplanıp depolanan yağmur suyunun, bulunduğu bölgenin su ihtiyacının ne kadarını karşıladığı hesaplanıp tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yağmur suyu hasadı, çatı, su tasarrufu

ABSTRACT

Rainwater Harvesting at Munzur University Campus

The rapid increase in the world population causes the demand for water to increase day by day. This increasing demand, coupled with the fact that water resources are fixed, makes the need for alternative solutions to prevent water shortage even more evident. For this reason, the use of technologies for alternative water resources to alleviate water shortage is becoming increasingly widespread today. In this context, it is of great importance to optimise water use and adopt sustainable practices in large areas such as the Munzur University campus.

As a result of unplanned growth in urban areas, the increase in impervious surfaces causes serious stormwater-related problems. With the increase in the amount of stormwater runoff on the surface, problems such as shortening the runoff time of stormwater from the surface and becoming more vulnerable to floods and floods in urban areas arise. In addition, this situation brings with it environmental impacts such as decreasing groundwater levels and deterioration of the quality of surface waters. In this case, it becomes difficult to balance between the pollution of the receiving environment on the one hand and the problems experienced in providing clean drinking and potable water on the other. However, environmental practices such as the use of rainwater collected from building roofs for purposes such as irrigation can restore this balance by contributing to the sustainable management of water resources. The use of rainwater collected from the roof area in indoor reservoirs or for landscape irrigation can also save on the use of clean municipal water. Such solutions can improve the water management of urban areas by minimising environmental impacts while promoting the effective and efficient use of water. To combat these problems, it is now a necessity to establish holistic strategies for recycling and reusing rainwater.

Within the scope of this thesis, the required storage volume, the amount of rainwater to be collected from the roofs, the amount of rainwater to be collected from the roofs, the amount of water to be used in the reservoirs inside the buildings and the amount of water to be consumed in environmental irrigation have been calculated in order to enable the reuse of rainwater to be collected in the roof areas of the buildings on the Munzur University Campus. These calculations were made on the basis of regions in Munzur University Campus, and the rainwater tank required for each region was selected with the capacity to store as much water as the reservoir and environmental irrigation water needs of the region where it is located. As a result of the project design for the university campus, which is divided into 13 regions in total, it was calculated and determined how much of the rainwater collected and stored from the roof areas meets the water demand of the region where it is located.

Keywords: Rain water harvesting, roof, water saving

1. GİRİŞ

Sera gazı emisyonlarının artması sonucu meydana gelen dünya sıcaklığındaki artışlar nedeniyle yağışlarda ciddi değişiklikler gözlenmektedir. Bu durum dünyanın bazı bölgelerinde yüksek şiddetli yağışların görülmesine, Türkiye gibi bazı ülkelerde ise kuraklık kavramının ülke gündemine gelmesine neden olmaktadır. Fert başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarının 2000 yılında 1652 m³ iken, 2020 yılında 1346 m³'e gerilemiş olması Türkiye'nin su azlığı yaşayan ülkeler listesinde üst sıralara yükselmesine neden olmaktadır. Su azlığı yaşayan ülkelerde yerüstü ve yeraltı su kaynaklarına yönelik gerçekleşen bu tehditler genellikle tarım sektörünün ve hızlı büyümenin kontrolsüz olması nedeniyle oluşmaktadır. Bu negatif etkiyi arttıran bir diğer etmen ise nüfus artışıdır. % 87,5'i yüzey suyu, % 12,5'i yeraltı suyu olmak üzere Türkiye'nin yıllık potansiyel su kaynakları 112 milyon m³'dür. Ancak bu değer öngörülen nüfus artışı değerine göre Türkiye'nin 2030 yılında su kıtlığı çekecek ülkeler arasında olmasını engelleyemeyecek şekilde görülmektedir.

Nüfus artışı, beslenme ve yaşam tarzı değişiklikleri, kirlilik ve iklim değişikliği nedeniyle su kıtlığı yaşanmaktadır. Su, ülkeler arasında kârlı bir şekilde taşınamayacak kadar ağır olduğundan, doğrudan su ticaretinin söz konusu olmaması iki önemli konu üzerinde durulmasına neden olmuştur. Bunlardan birincisi “sanal su” kavramı ile ortaya atılmıştır. Sanal suyu basitçe metaların içine yerleştirilmiş su olarak tanımlamak mümkündür. Suyun büyük bir kısmı ürünün üretiminde kullanıldığı ve sonuçta nihai üründe yer almadığı için “sanal” olarak kabul edilmektedir. Sanal suyla karşılaştırıldığında, emtiaların gerçek su içeriği çoğunlukla önemsizdir. Benzer şekilde “sanal su ticareti” kavramı da “ticaretin su içeriği” anlamında kullanılmaktadır. Benzer bir kavram olan su ayak izi, “belirli bir ülkenin sakinleri tarafından tüketilen mal ve hizmetlerin üretimine katkıda bulunan her türlü tatlı su kullanımını ifade etmektedir. Bir ulusun su ayak izi, ulusal topraklar içinde emtia üretmek için kullanılan suyu kapsamaz. Bir ürünün sanal su içeriği yalnızca üründe bulunan su hacmini ifade ederken, bu ürünün su ayak izi aynı zamanda hangi tür suyun kullanıldığına ve bu suyun ne zaman ve nerede kullanıldığına da işaret etmektedir. Öte yandan ulusal düzeyde su ayak izi, sanal su ihracatının çıkarıldığı ve sanal su ithalat akışlarının eklendiği yerli su kaynaklarının kullanımı olarak tanımlanabilir (Akbostancı ve ark., 2023; Çakıroğlu, 2011).

İkincisi ise yağmur suyu hasadıdır. Akışa geçen yağmur miktarındaki artışlar nedeniyle imar alanlarında sel ve taşkınların oluşması, yeraltı su seviyesinin düşmesi, yüzeysel suların kirlenmesine bağlı olarak kalitesinin bozulması, yağmur suyu drenaj altyapılarına ait yatırım ve işletim maliyetlerinin yüksek debiler nedeniyle artması gibi olumsuzluklar nedeniyle yağmur sularının değerlendirilmesi gündeme gelmiştir. Bu durum bir yandan alıcı ortamı olumsuz olarak etkileyen büyük hacimlerde suyun oluşumuna neden olmaktadırken diğer taraftan kullanılabilir içme suyu temininde de çeşitli problemlere neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yağmur suyu drenajı için kapsamlı stratejiler oluşturulması gerekmektedir. Sağlıklı bir şekilde suyun hidrolojik çevrimini tamamlayamaması tatlı ve temiz su miktarını riske sokmaktadır. Ayrıca ani gelişen yüksek şiddetli yağışların yüzeysel akışa geçmesi sel ve taşkınlara neden olmaktadır. Bu durum kentsel alanlarda can ve mal kaybı gibi büyük problemlere neden olabilmektedir. Bu nedenle yağmur suyu yönetimi, inşaat ve çevre mühendisleri ve şehir planlamacılar için giderek büyüyen bir zorluk haline gelmektedir. Bu durum karşısında konvansiyonel sistemler yerine, sürdürülebilir ve bütünleşik sistemlerin kullanılması gerekmektedir. Bunların neticesinde, çok sayıda sürdürülebilir kentsel yağmur suyu yönetimi modelleri oluşturulmuştur. Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı ile suyun doğru ve etkili bir şekilde kullanılmasının ana hatları oluşturulmaya çalışılmış ve çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modelleri tanımlayan kavramlardan en fazla kullanılanlarından biri de yeşil altyapı terimidir. Son 10 yılda yaygın olarak yapılmaya başlanan yeşil altyapı projeleri doğal ve inşa edilen çevre arasında şehir alanlarında oluşan yağmur suyunun sürdürülebilir iletimi anlamında denge için kullanılmaktadır.

Riskleri azaltmaya yönelik çabalara rağmen, mevcut kentsel drenaj sistemlerinin yeterli olmadığı ve iklim değişikliğine uyum sağlayamadığı görülmektedir. Bu sorunu çözmek için sürdürülebilir drenaj sistemlerine yönelik doğa temelli çözümler kavramı üzerinde daha fazla durulmaktadır. Bu konuda çeşitli stratejiler geliştirilmiş olup, yeşil altyapı sistemleri kentsel bölgelerde su akışını azaltmak ve su kalitesini iyileştirmek için tasarlanmıştır. Yeşil altyapı düzeni optimizasyonun da konum, alan, tür kombinasyonları, akış ve kirleticiler dâhil olmak üzere çeşitli hususlar dikkate alınmaktadır. Yeşil altyapı planlaması için taşkınların azaltılması, kirlilik kontrolü, ısı stresinin azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve su tasarrufu dâhil olmak üzere çok çeşitli hedef değerler yükseltilmelidir. Mekânsal yerleşim faktörleri genellikle altyapı türünü, yerleşim yerini ve yerleşim alanı değişkenlerini içermektedir. Ayrıca yerleşim planının dağınıklık

derecesi, yerleşim parametreleri, yeşil altyapı parametreleri ve hidrolik parametreler de optimizasyon değişkenleri olarak kabul edilmektedir. Optimizasyon senaryoları aynı zamanda yeşil altyapı mekânsal konfigürasyon optimizasyonunda da önemli bir rol oynamaktadır. Uzun vadeli geçmiş yağış verilerinin eksikliği nedeniyle, araştırmacıların tasarım yağışlarını optimizasyon senaryoları olarak kullanma veya düzenleme yapma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Yeşil altyapı sistemlerinin kurulumu bakımı ve işletimi konvansiyonel altyapı sistemlerine oranla genellikle daha az maliyetlidir. Yeşil altyapı yerel, bölgesel ve küresel ölçekte su kalitesini korumak için kapsamlı bir yaklaşımdır. Yeşil altyapı, ekosistem değerlerini ve işlevlerini koruyan birbirleriyle bağlantılı doğal, yarı doğal ve kültürel alanların oluşturduğu bir yeşil alan ağı olarak tanımlanır. Yeşil altyapı; doğal ekosistem şartlarının ve koşullarının korunarak yerel bölge halkına çeşitli faydalar sağlayabilmek için stratejik öneme sahip olduğu için doğal olarak korunması gereken alanlar; sulak alanlar, ormanlar, yaban yaşamı habitatları ve su yolları, yarı-doğal alanlar; yeşil koridorlar ve parklar, kamu ve özel mülkiyete ait alanlar; çiftlikler, tarım alanları ve işletme ormanları ve dış mekân rekreasyon alanlarının oluşturduğu ağı ifade ederken kentsel ekosistemlerin önemini vurgulayarak doğayı yeniden hayata döndürme ihtiyacını ortaya koymaktadır (Konyalı Dereli ve Çay, 2020; Avdan ve ark., 2015; Okaikue-Woodi ve ark., 2020; Ekşi ve ark., 2016; Tilt ve Ries, 2021; Coşkun Hepcan, 2019; Kaylı ve Güneş Gölbey, 2020; Çetinkaya, 2014; Demir, 2012; Tanrıverdi ve Aköz, 2020). Bu nedenledir ki doğal drenaj dikkate alınarak su döngüsüne uygun bir şekilde inşa edilen yağmur bahçeleri, yeşil çatı sistemleri, su toplama sistemleri gibi yaklaşımlar doğadaki su döngüsünü mümkün olduğunca korumaya yönelik çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır (Coşkun Hepcan, 2019; Ekşi ve ark., 2016; Madgundi ve ark., 2023).

Gelişmekte olan birçok ülkede en yaygın karşılaşılan sorunlardan biri olan su kıtlığı krizi için getirilen çözümlerden biride yağmur suyunun toplanmasıdır. Yağmur suyu hasadı, yağmurun yağdığı dönemlerde yağmur suyunun doğrudan bir sisteme toplandığı bir tekniktir. Yağmur suyu toplama tekniği esas olarak çatılardan yağmur suyunun toplanması şeklinde değerlendirilmektedir. Bu nedenledir ki doğal drenaj dikkate alınarak su döngüsüne uygun bir şekilde inşa edilen yağmur bahçeleri, yeşil çatı sistemleri, su toplama sistemleri gibi yaklaşımlar doğadaki su döngüsünü mümkün olduğunca korumaya yönelik çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır (Coşkun Hepcan, 2019; Ekşi ve ark., 2016; Yağmur Bahçesi Uygulama Kılavuzu, 2018). Sürdürülebilirlik kavramının büyük önem taşıdığı bu zamanlarda yağmur suyu toplama ve depolama sistemlerinin sürdürülebilir

oluğu, doğal su kaynaklarının gelecek nesillere aktarılması için büyük bir umut olmaktadır (Can, 2020).

Bu tez kapsamında Munzur Üniversitesi Kampüs alanında bulunan binaların çatı alanlarında toplanacak yağmur sularının değerlendirilebilmesi amacıyla bina içi rezervuarlarda ve evre sulamada tekrar kullanılabilirliğinin tespit edilebilmesi için çatılardan toplanacak yağmur suyu miktarı hesaplanarak bina içlerindeki rezervuarlarda kullanılacak su miktarı ve evre sulamada tketiccek su miktarlarının hesaplanması amaçlanmıştır. Böylelikle Munzur Üniversitesi Kampüs alanında yağmur suyu hasadının hidrolojik uygulanabilirliğini değerlendirilmiştir.



2. SÜRDÜRÜLEBİLİR YAĞMUR SUYU YÖNETİM SİSTEMLERİ

2. 1. Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik kavramının çıkış noktası, ekonomik ve teknolojik gelişmelere paralel bir şekilde ortaya çıkan çevre sorunlarının engellenebilmesi ile canlı ve cansız çevrenin korunması üzerine olmuştur. Sürdürülebilirlik kavramının, yaşam alanları ile birlikte düşünölmeye başlanması oldukça yeni bir gelişmedir. Sürdürülebilir kentleşmenin dayandığı neden ya da bu nedenlerin yol açtığı sonuç sürdürülebilir gelişmenin bir parçasıdır (Karakurt Tosun, 2009).

Sürdürülebilirlik terimi, belli oranda muhafaza etme kabiliyeti olan anlamda ‘sürdürülebilir’ kelimesinden gelmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı 1980’lerde ortaya atılmış bir kavramdır. Dünya Doğayı Koruma Birliği (IUCN) tarafından 1982 yılında kabul edilen Dünya Doğa Şartı belgesinde yer almıştır. 1987 Birleşmiş Milletler Komisyonu’nda sürdürülebilirlik olgusu “Gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, insanlığın günlük ihtiyaçlarının temin edilmesi, kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneğine sahip olmasıdır” tanımıyla yer almıştır. Bu kavramın uygulamalara entegre edilerek uygulanabilirliğinin belirlenmesi tartışmaları da beraberinde getirmiştir. Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal dengeyi sağlamaya yönelik ana eksen hedefine rağmen üç eksenli olması gereken organizasyonlar sıklıkla ayrı ayrı ele alınmaktadırlar. Bu nedenledir ki ekonomik, çevresel ve sosyal alanlardaki sürdürülebilirlik yaklaşımları ayrı ayrı ele alınmıştır (Avdan ve ark., 2015; Zheng ve ark., 2023).

Sürdürülebilir kalkınmanın bütün dünya genelinde bilinen bir kavram olması ve kullanılmaya başlanması ise 1992 yılında gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda yayınlanan Rio Deklarasyonu ile gerçekleşmiştir. Günümüzde sürdürülebilir üretim ve tüketim, düşük karbon emisyonlu gelişim, yeşil ekonomi, iklim farklılıklarının etkilerini en aza indirme ve iklim değişikliği ile entegre yaşam gibi terimlerle daha fazla kullanılan, gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ölkelerde dikkatleri çeken sürdürülebilirlik anlayışı, 2015 yılında Birleşmiş Milletler tarafından yayınlanan 2030 Gündemi Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile uluslararası kalkınma, gelişme ve ilerlemeyi gündeminin merkezine oturtmuştur (Karakurt Tosun, 2009; Çalışma Grubu Raporu, 2018).

Toplumların tüketim ihtiyaçlarının zaman içinde artması ve var olan mevcut kaynaklardaki azalma, devletleri proaktif çözümler bulmaya ve mevcut enerjinin korunumunun önemine dikkat çekmeye yöneltmiştir (Tavşan ve ark., 2022). Sürdürülebilirlik kavramı bu bağlamda, var olan kaynaklardaki azalmanın verdiği zararın minimize edilmesine yardımcı olmaktadır. Son zamanlarda Türkiye'nin de gündeminde olan sürdürülebilirlik, araştırma konumuzu da kapsayan çatılardan yağmur suyu hasadı sisteminin de amaçladığı bir olgudur. Var olan kaynakları verimli kullanmak ve enerji korunumuna katkıda bulunmak amacıyla üzerine çalışmalar yapılan bu olgu Türkiye de dâhil olmak üzere tüm dünyanın gündeminde olmasının birçok faydası yapılan çalışma ve araştırmalar ile kanıtlanmıştır.

2.2. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetim Sistemi Uygulamaları

En eski kentsel kanalizasyon yapıları günümüzden yaklaşık 5000 yıl önce yaşamış olan; Minos, İndus, Fars ve Mezopotamya uygarlıklarında kentsel kanalizasyon yapılarının inşa edilmiş olduğu çeşitli arkeolojik kazı çalışmalarıyla ortaya çıkarılmıştır. Eski dönemlerde yerleşim alanlarındaki drenajın asıl amacı halkın hijyeninin sağlanması, taşkınının neden olacağı etkilerin ortadan kaldırılarak çevrenin sağlıklı hale getirilmesi veya mevcut sağlıklı durumun korunmasını sağlamaktır. Ancak çok çeşitli etkenler; yerleşim alanlarındaki zemin ve arazi durumlarına bağlı olarak bağlı olarak geçirimsiz yüzey alanlarının az olması nedeniyle geçirimsiz yüzeylerden akışa geçen su miktarının artması, su kalitesinin nitelik ve nicelik olarak bozulması, yeraltı suyunun seviyesinin düşmesi, kirlenmesi ve yerleşim yerlerinde su baskını gibi yeni sorunlara neden olabilmektedir. Tüm canlılar için temel yaşam kaynağı olan su sınırlı bir doğal kaynaktır. Temiz olması gerekli olan su kaynakları kurak iklim başta olmak üzere tüm iklim tipleri için önemli ve ulaşılması giderek zorlaşan bir kaynak halini almıştır. Mevcut tatlı suyun hızla tükenmesi ve kirlenmesi nedeniyle nitelik ve nicelik kaybeden suyun yüzyıllardır kullanılan alternatif bir kaynak olan yağmur suyu formunda tekrardan kullanılması veya ekolojik olarak geri kazandırılması oldukça önemlidir (Sevimli, 2021; Üstün ve ark., 2020; Okaikue-Woodi ve ark., 2020).

Kentsel yerleşim alanlarında yağmur sularının sürdürülebilir olarak yönetimi karşılaşılan sorunların asgariye indirilmesi için gerekli görülmektedir. Kentsel alanların hidrolojik yapısının bozulmadan korunması, yağmur sularının toplanarak yeraltı sularını

beslemesi ve yağmur suyu toplama ve kullanmada yapısal çözümler yerine ekolojik çözümlerin göz önünde bulundurulması, sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi modellerinin temel ilkeleridir. Bu nedenle son zamanlarda yerleşim yeri drenaj sistemleri, yağmur suyu veya yüzeysel akışa geçebilecek suyun akışa geçmesini engelleyerek biriktirmek veya bulunduğu çevresel ortam ile uyumlu hale getirmeyi amaç edinen “Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (SKDS)” veya “En İyi Yönetim Uygulamalarına (EİYU)” ilgiyi arttırarak yerleşim alanlarında kullanılan klasik drenaj sistemlerinin yerini almıştır (Müftüoğlu ve Perçim, 2015; Sevimli, 2021; Karadağ, 2007).

Su kaynaklarının sürdürülebilir yöntemi, uzun dönemli ekonomik kalkınmada önemli bir role sahiptir. Sürdürülebilir ve ekolojik bir çevre için su yönetiminde yağmur sularının kazanılması, kullanılmış/atık suyun geri dönüştürülmesi, yeraltı sularının niteliklerinin korunması ve beslenmesi, sürdürülebilir kentsel alanların oluşturulması, içilebilir suyun kullanımının en aza indirilmesi gibi konular yer almaktadır. Kentsel çevrelerdeki başlıca hidrolojik kaygılar, geniş geçirimsiz alanların varlığı, yüzeysel akış ve nehir akışı düzenindeki değişiklikler nedeniyle sızma ve yeraltı suyu beslemesinin azalmasıdır (Saygın ve Ulusoy 2011; Nachshon ve ark., 2016).

Yağmur suyunun geri kazanımı, sınırlı olan su kaynaklarının korunması için yağmur suyunun depolanmasını ve çeşitli kullanım alanlarına bağlı olarak yeniden kullanılmasını içermektedir. Su tüketiminin çok olduğu, su kaynaklarının yeterli olmadığı durumlarda yoğun olarak uygulanması önerilmektedir. Böylelikle birçok yararı olan sürdürülebilir yağmur suyu sistemi alternatif su kaynağı oluşturarak temiz su kullanımında tasarruf elde edilmesini sağlayıp arıtılacak su miktarında da azalma avantajı sunmaktadır. Sistem yüzey suyu akışını kontrol ederek geleneksel yöntemlerin oluşturduğu sel, su kirlenmesi, su kalitesinde bozulma ve taşkın gibi problemleri önler. Ekolojik yağmur suyu sistemi geleneksel yağmur suyu altyapı sistemlerine göre daha ekonomiktir ve kentsel alanda daha estetik bir görünüm oluşturmaktadır (Saygın, 2017).

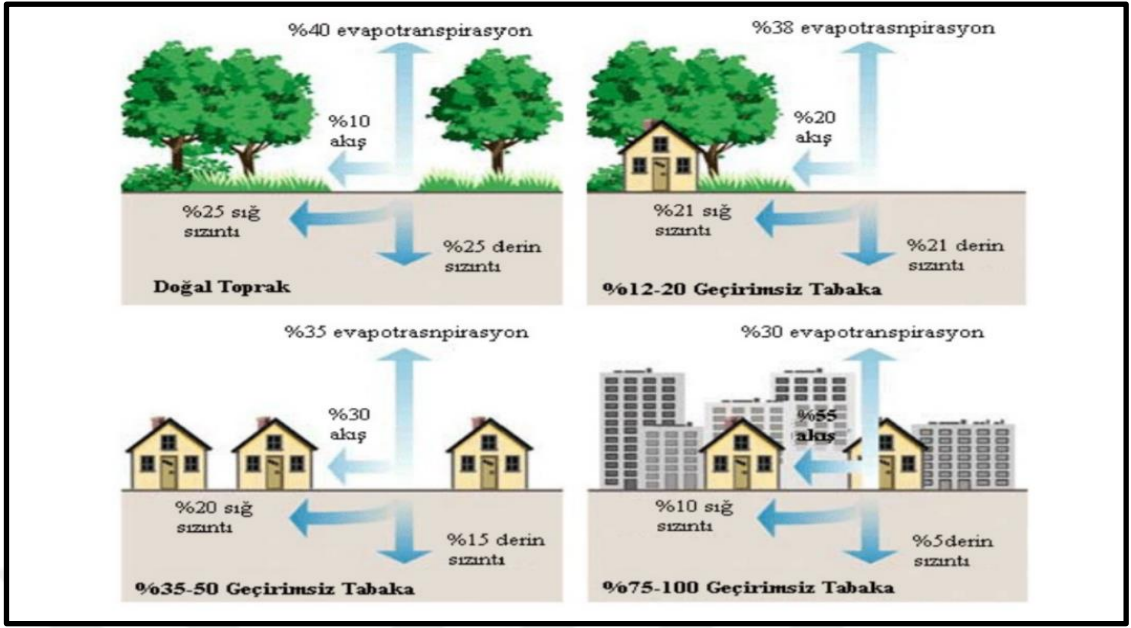
Günümüzde karşılaştığımız; iklim değişikliği, ormansızlaşma, havza alanlarının zarar görmesi, dere yataklarının yönlerinin değiştirilmesi, su kaynaklarının bilinçsiz bir şekilde aşırı kullanımı gibi nedenler hidrolojik çevrimdeki unsurları etkilemektedir. Ancak en büyük olumsuz etki kentleşme ile gerçekleşmektedir. Doğal su toplama havzalarının koruma altına alınmaması, dere yataklarının yönlerinin değiştirilerek imara açılması, tabii bitki örtüsünün tahrip edilerek yerine geçirimsiz yüzeylerin yüzölçümünün arttırılmasıyla derine sızma işlemini gerçekleştiremeyen ve döngüsünü tamamlayamayan suyun, yerleşim

alanları içerisinde yüzeysel akışa geçmesi gibi çok çeşitli olumsuz etkiler söz konusudur. Nüfus yoğunluğunun ve yapılaşmanın fazla olduğu yerlerde akışa geçen su; taşkınlara, kuraklığa, düşük su kalitesine neden olmaktadır. Yüzeysel akışa geçen su aynı zamanda yıkadığı zemine bağlı olarak çeşitli atıkları ve kirleticileri, ağır metalleri havza alanına taşımaktadır. Kentsel yağmur suyu askıda katı maddeler, fosfor, nitrojen, kurşun ve çinko bulundurabilmektedir. Yanlış yönetilen yağmur suyu ile kirleticiler doğal su kütlelerine taşınarak ekosisteme zarar verebilmektedirler. Böylelikle daha büyük su kaynakları da kirlenmektedir.

Doğal alanların yapılaşmaya açılması ile arazilerin doğal eğimleri doğal infiltrasyon yolları da değişmeye başlamıştır. Şekil 2.1’de kentsel ve kırsal alandaki suyun hareket yönü ve miktarı görülmektedir (Konyalı Dereli ve Çay, 2020; Rashid ve ark., 2022). Yapılan çalışmalar göstermektedir ki geleneksel şehirleşme içerisinde yağmur suyu yönetim sistemleri sürdürülebilir değildir. Yeşil altyapı; doğal olarak yağmur sularının yerinde yönetilebilirliğini artırarak bitki örtüsünü ve toprağı canlandırarak geleneksel kentleşme ile tahrip edilmiş hidroekolojik prosesleri onararak sayısız sürdürülebilirlik sunmaktadır (Karpuz ve ark., 2015; Dhakal ve Chevalier, 2017).

Yağmur suyunun yönetimi ve yüzeysel su akışını azaltmak için yapılan çalışmaların başında yeşil altyapı teknikleri gelmektedir. Bu konuda öncü ülkelerden biri olan İngiltere sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri (SKDS), yaklaşımını tanımlaması ile önem taşımaktadır. Son yıllarda Avrupa’da sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri kullanımı artmıştır. SKDS’de, çoğunlukla tercih edilen yeşil mühendislik uygulamaları ve yağmur suyu drenajının doğal süreçlerini olumsuz etkileyen unsurların engellenebilmesi için doğal süreçlerin kopyalanmasını esas alan çözüm yöntemleri üretilmiştir. Bu çözümlerden bazıları; yağmur suyu kanalları, yüzey drenajları, hendekler, yağmur bahçeleri, filtrasyon şeritleri, açık akarsular ve havuzlar, yağmur suyu havzaları, yeşil çatılar vb.’dir.

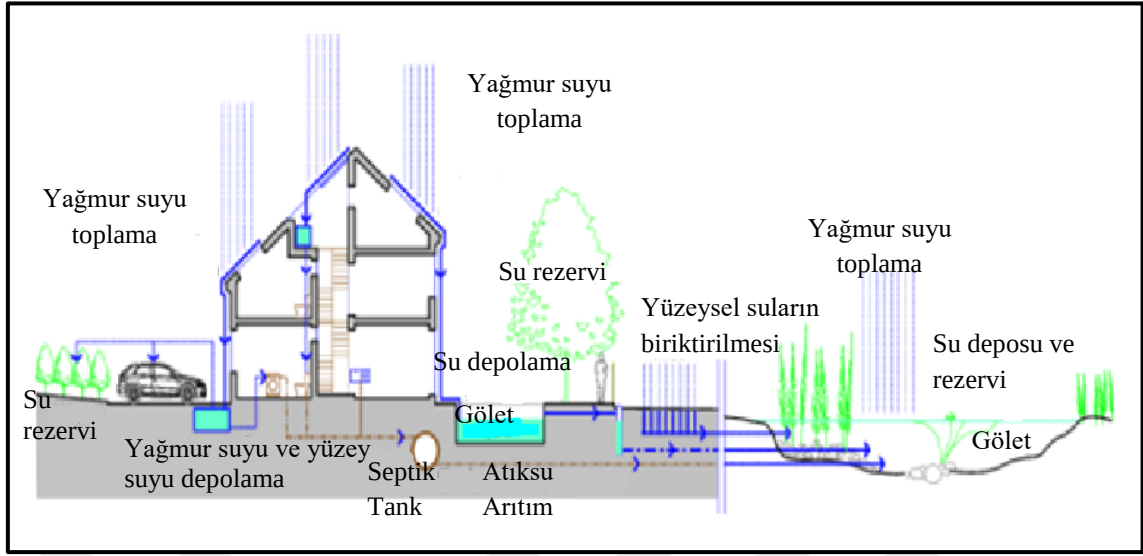
Farklı zamanlarda farklı ülkelerde benzer yaklaşımlar gerçekleştirilmiştir. “En İyi Yönetim Uygulaması (EİYU)” ve “Düşük Etkili Kalkınma (DEK)” kavramları Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada’da su yönetimi alanında yaygın olarak kullanılan terimlerdir. EİYU, standartlarda belirtilen ve öngörülen su kalitesi sağlamak için kirliliğin önlenmesi veya en azından azaltılabilmesi için uygun yolları tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu sistem hem kirliliğin oluşmaması için önlemleri hem de oluşmuş kirliliğin bertaraf edilmesi için alınan önlemleri içermektedir.



Şekil 2.1. Kırsal ve kentsel alandaki suyun hareketi (URL-1, 2021).

İlk başlarda EİYU terimi oluşturulan mühendislik tasarımlarının onarım ve kullanım özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılmıştır. Ancak günümüzde yağmur suyu yönetiminde ve sadece temiz yağmur suyu değil aynı zamanda kirlenmiş yağmur sularının arıtılabilmesi için çeşitli sistemlerde kullanılmaktadır. Bu nedendir ki EİYU'yu doğrudan ve dolaylı yönetim uygulamaları olmak ikiye ayırmak mümkündür. Doğrudan yönetim uygulamalarında kirli yağmur suyu ve yüzeysel su akışının arıtılmasını içeren yapısal unsurlar söz konusudur. Yapısal olmayan uygulamalar: Yağmur suyu içerisindeki tortuların teknik bir şekilde uzaklaştırılması, kar birikiminin uygun giderimi ve karın depolanması, tehlikeli ilaçlama ve gübre yönetimi, doğal bitki örtüsü ve kıyı bitki örtüsünün korunması, atıkların geri dönüşümü, sokak temizliği gibi uygulamaları içermektedir.

Avustralya da “Suya Duyarlı Kentsel Tasarım (SDKT)” konsepti devlet tarafından yağmur suyu yönetimine dikkat çekmek için kullanılmaktadır. SDKT, suyun sürdürülebilir bir şekilde yeniden kullanımını ve yönetimini oluşturmaktadır. Bu tasarım yaklaşımı, yağmur suyu, yüzeysel su akışını, yeraltı suyu, şebeke suyu ve atık su da dahil olmak üzere tüm kaynaklardan gelen toplam su döngüsünü ve suyu kentsel gelişim ile yapıya entegre etmektedir. Şekil 2.2’de yağmur suyu sürdürülebilirliğinin genel düzeni görülmektedir (Sevimli, 2021).



Şekil 2.2. Yağmur suyu sürdürülebilirliğinin genel düzeni (URL-2, 2024).

Geleneksel kentsel gelişim çoğunlukla yağmur suyu akışını drenaj ve kanalizasyon sistemleri yoluyla gidermeye yönelik mekanizmalara odaklanmıştır. Bu durum sonucunda yağmur sularının toprağa sızması beklenmeden taşınmasıyla yeraltı su kaynaklarının yeteri kadar beslenememesi, kentsel alanlardan yağmur sularıyla taşınan yabancı maddelerle yağmur sularının deşarj olduğu alıcı ortamların kirlenmesi söz konusu olabilmektedir. Ayrıca aşırı yağışlar da geleneksel yağmur suyu toplama sistemlerinin yetersiz kalmasıyla birlikte sel, taşkın ve erozyon sorunlarının ortaya çıkması kaçınılmazdır. Klasik drenaj sistemleri özellikle iklim değişikliği nedeniyle ihtiyaca cevap verememektedir. Şehirlerin üzerine yağan yüksek miktardaki kaliteli su, belediye drenaj sistemine yönlendirilerek beslemeden çekilmektedir. Ayrıca aşırı yağışlarda drenaj sistemleri taşabilmekte bu da ekolojik ve ekonomik tehlikelere yol açabilmektedir. Karşılaşılan bu sorunların ortadan kaldırılabilmesi veya kabul edilebilir düzeylere çekilebilmesi için yerleşim alanlarındaki yağmur sularının sürdürülebilir olarak yönetimi gerekmektedir. Bu sürdürülebilir sistemler, aşırı yağışların oluşturabileceği olumsuz sonuçları ortadan kaldırmak, yerüstü ve yeraltı su kaynaklarını korumak, sel ve taşkın riskini minimize etmek ve yağmur sularının faydalı amaçlar için tekrardan kullanımını sağlamayı amaçlamaktadır. Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi modelleri kapsamında kentsel alanlarda sık kullanılan çözümler; yağmur bahçesi, geçirimli döşemeler, yağmur hendekleri, sızma çukurları, çatı bahçeleri, yağmur varilleri ve sarnıçlardır (Müftüoğlu ve Perçin, 2015; Demir, 2012; Qiao ve ark., 2018).

Günümüzde, kentsel yağmur suyu akışı bir kaynak olarak görülmektedir. Bu nedenledir ki artık şehirler, daha fazla yağmur suyunun akışını koruyacak şekilde tasarlanmaktadır (Lim ve Lu, 2016). Yeşil çatılar, geçirgen kaldırımlar, yağmur bahçeleri, bitki örtülü hendekler ve diğer çeşitli yöntemler kullanılarak oluşturulan yeşil altyapı, ekosistem unsurlarını onarır, biyo çeşitliliği canlandırır, taşkın kontrolü, su kalitesinin iyileştirilmesi, iklim değişikliğine uyum ve yeraltı suyu yenilenmesini içeren ve sadece bunlarla da sınırlı olmayan ekosistem unsurlarını yeniden oluşturur. Başka bir deyişle, yeşil altyapı kentleşme ile yok edilen sosyoekolojik bağlantıyı yeniden yapılandıran ve yaşam kalitesini yükselten bir teknolojidir (Dhakal ve Chevalier, 2017).

Fazla maliyetli olmayan, gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden vazgeçmeden kendi ihtiyaçlarımıza cevap verebileceğimiz çevre dostu bir yaklaşım olarak yeşil altyapı yönetim yaklaşımları ve teknolojileri, doğal su sistemlerinin devamlılığının oluşturulabilmesi için üç ana prensibe dayanmaktadır. Bunlar; yağmur sularının infiltrasyonu (süzülme), tutulması ve tekrar kullanılmasıdır (Aslan ve Yazıcı, 2016).

2.2.1. Yeşil çatılar

Yeşil çatılar bina enerji tasarrufu ve sürdürülebilir kalkınma açısından büyük ilgi görmektedir. Yeşil çatı sistemleri, yağmur suyunu yapıların çatılarından, seralardan, yollar da dâhil olmak üzere benzeri geçirimsiz zeminlerden suyun toplanıp depolanmasını ifade etmektedir (İncebel, 2012; Ayçam ve Kınalı, 2013).

Çatı kaplama malzemesi yerine bitkilerin kullanıldığı sistemlere bitkilendirilmiş çatı sistemleri (BÇS) denilmektedir. BÇS’i çatı yüzeyinde bitki yetiştirilmesi olarak düşünülebilir. BÇS, uygulamaları yapılmaya başlandığı yıllarda İngilizce kaynaklardan çevirisi yapılarak “yeşil çatı” ya da “çatı bahçesi” gibi isimlerle adlandırılmıştır (Bulut Karaca, 2020) .

En basit açıklama şekli ile yeşil çatı sistemini, binanın çatı bölümünde bitki yetiştirilmek olarak tanımlamak mümkündür. Yeşil çatı sistemleri, çatı membranları, koruma katmanı, drenaj katmanı , filtre katmanı, kuru iklimler için sulama sistemi ve farklı bitki örtüsü türleri dahil olmak üzere tümü yalıtımlı bir yapıya dayanan birçok bileşenden oluşmaktadır. Yapılan çeşitli çalışmalarda yeşil çatı sistemi, ekolojik çatı, yaşayan çatı, kahverengi çatı, çatı bahçesi ve yeşil çatı olarak çeşitli tanımlamalar ile ifade edilmektedir

(URL-1, 2021; Balasbaneh ve ark., 2024). Yeşil çatıların en büyük uygulama kolaylığı ise binaların yapısal sistemini ya çok az değiştirmeleri ya da hiç değiştirmeden, çok fazla sulama ya da bakım gerektirmeden, şehirdeki çatıları yaşayan bir bitki örtüsüyle kaplamak olarak tanımlanabilir. Görsel amaçlarla oluşturulan çatı bahçelerinin tarihi M. Ö. 2000 yılına kadar uzanmaktadır. Tarihsel olarak çatı bahçeleri estetik birer obje iken, günümüzde çevresel yararları için de tesis edilen alanlardır (Ekşi, 2012).

Yeşil çatılar, çok sayıda işlevi yerine getirerek ve çeşitli ölçeklerde çok çeşitli etkileşimli hizmetler ve faydalar sağlayarak kentsel sürdürülebilirliği artıran yapay ekosistemler olarak tasarlanmakta ve uygulanmaktadır. Bu nedenle, son birkaç on yılın bilimsel literatürü, çok çeşitli sürdürülebilirlik alanlarını kapsayan ve yeşil çatıyı iklim değişikliğiyle mücadele, ada etkisini hafifletme ve kentsel hava ve su kalitesini iyileştirme konusunda dünya çapında popüler bir mühendislik uygulaması haline getiren dikkate değer sayıda çalışma yapılmıştır.

Yeşil çatılar, iklim değişikliği ve kentsel ısı adası gibi çevresel sorunlara doğa temelli bir çözüm sunan yapay ekosistemlerdir. Yeşil çatılar hem soğutma hem de ısıtma enerjisinin korunmasına yardımcı olur; partiküllerin birikmesi ve hava kirliliğinin azaltılması; akış ve su kirliliğinin kontrolü; biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi; estetik ve sağlık açısından çeşitli faydalar sunmaktadır (Mihalakakou ve ark., 2023; Tohum, 2011; Temizkan, 2020). İmara açık meskûn bölgelerde yağmursuyu akışının azaltılmasında geçirimsiz yüzeylerin % 40' lardan fazla olduğu durumda daha fazla etkinlik sağlanmaktadır. Bu nedenle genellikle yağmursuyu yönetimi üzerine yapılan çalışmaların kapsamında yeşil çatı oldukça yaygın olarak görülmektedir (Erkul, 2012). Şekil 2.3'de yeşil çatı uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.3. Yeşil çatı uygulaması (Pouya, 2019).

Ekolojik çatı olarak da ifade edilebilecek yeşil çatı sistemleri çeşitli tabakalardan teşekkül etmektedir. Yeşil çatılar çatıdaki bitkiler, yetiştirme ortamı, drenaj, su yalıtımı ve yalıtım katmanlarından oluşmaktadır (Kahraman ve ark., 2018). Su yalıtımı, drenaj, ısı yalıtımı, filtre, toprak ve bitki katmanları yeşil çatı sisteminin bileşenleridir. Nem matı sayesinde fazla su drenaj tabakasından emilir ve kök bariyeri sayesinde bitki köklerinde maddi zarar gelmesi önlenir. Toprak ekstra nemi emebilir. Suyun bir kısmı drenaj tabakası tarafından tutulur ve böylece kurak mevsimlerde kullanıma hazır hale gelir. Drenaj katmanı özellikleri ve yetiştirme ortamı, buharlaşma-terleme seviyesinde kritik rol oynamaktadır. Bitki örtüsü ile çatı plakası arasındaki yalıtım katmanı, bitki köklerinin sıcaklık değişimlerine karşı koruma katmanı olarak düşünülür.

Yeşil çatının termal davranışını en üst düzeye çıkarmak için bitki örtüsünün kapsama alanlarının ve alt tabaka özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Yeşil çatıların sağladığı en büyük avantaj geçirimsiz olan çatı yüzeylerin geçirimli hale dönüşümüne olanak vermesidir. Yeşil çatı uygulamalarında çatı yapısının suyu yavaş yavaş emmesi ve daha sonra bırakması öngörülmektedir. Artan yüzey nemi büyük ölçüde yağış yoğunluğundan (yağış olayının büyüklüğüyle ilişkilidir) ve dolayısıyla yağmur suyu tutma kapasitesinden ve akıştan etkilenmektedir. Ayrıca, yağış olayından önceki hava koşulları da artan substrat nemini etkiler; daha yüksek çevresel nem koşullarında, büyüyen substratın tutma kapasitesi düşüktür, dolayısıyla sistemde akış artar. Bu nedenle, tutma kapasitesi özellikle kısa süreli fırtına olayları için etkilidir. Yapılan çalışmalarda kapsamlı bir yeşil çatı kapasitesi ortaya koyulması için tutma kapasitesinin yağış özellikleriyle (derinlik, süre, yoğunluk ve yağmursuz önceki günler) önemli ölçüde ilişkilendirildiği görülmektedir. Öte yandan, kapsamlı yeşil çatı sistemleri, bitki örtüsü olmayan çatılara kıyasla akışı ve tepe akışını büyük ölçüde azaltarak, olayın başlangıcında yağışları verimli bir şekilde depolama imkânı vermektedir. Yeşil çatı uygulamaları bitkilendirme çeşitlilik ve yoğunluğuna göre de farklılık göstermektedir. Akış katsayısının azaltılmasına katkıda bulunup su tutma kapasitesini arttıran çalışmalarda, bitki seçiminin su tutma kapasitesini arttırıcı yönde fayda sağlayacak şekilde yapılması önem taşımaktadır. Öte yandan bitkilendirilmiş yüzey altında derinliğin boyutu da önemlidir. Bitkilendirilmiş yüzey altı derinlik arttıkça su tutma kapasitesi artmaktadır. Bu bağlamda projelendirme hesap ve kapasitesine uygun şekilde bitkilendirme yoğunluğu/seçimi ve bitkili yüzey altı derinliğinin boyutlandırılması gerekmektedir (Monterio ve ark., 2023).

Bitkili yeşil çatılarda yağmur suyunun bir kısmı ise sistemde kullanılan bitki örtüsü tarafından tutularak buharlaşma yoluyla atmosfere bırakılmaktadır. İhtiyaç fazlası su ise, çatı drenajı ile sistemden uzaklaşmaktadır. Suyun gözenekli alanlar ve emici malzemeler tarafından tutulduğu, bitkiler tarafından fizyolojik süreçlerde buna terleme de dâhil olmak üzere kullanıldığı ve yetiştirme ortamı tarafından alıkonulduğu gözlemlenmektedir. Yeşil çatı kurulumu, dış ve iç ortamlar arasındaki ısı alışverişini azaltarak bina enerji tüketiminin azalmasını sağlamaktadır. Yeşil çatıların ekolojik, teknik ve sosyal yararları dünyanın birçok yerinde kabul görmektedir (Erkul, 2012; Ekşi, 2012).

Retrospektif çalışmalar, ülkemizin batı bölgelerindeki kentsel alanlar üzerinde büyük bir ısı bloğunun etkisi olduğunu ortaya çıkarmıştır. Geleceğe dair senaryolarda yaz mevsimlerinde öngörülen sıcaklık artışı kentsel ortam üzerinde büyük ısı bloğunun oluşmasına etki etmektedir. Bu nedenle ülkemizde, iklim değişikliğine uyum sağlayabilecek teknolojiler inşa etmeye ihtiyacımız vardır. Uluslararası çalışmalarda, iklim değişikliğine uyum sağlayan bitkili çatı sistemi olarak bilinen çatı bahçeleri, yeşil çatılar veya ekolojik çatılar olarak bilinen yapı sistemleri üzerinde durulmaktadır (Beyhan ve Erbaş, 2013).

2.2.2. Bitkili yağmur suyu hendekleri

Bitkili yağmur suyu hendeği, şiddeti yüksek yağışlar sırasında sel riskini azaltmak amacıyla çoğunlukla da kentsel bölgelerdeki yol kenarlarında inşa edilen doğrusal, içi yeşillendirilmiş ve alçak eğimli bir çukur şeklindedir. Yağmur suyunun yüzeyde akışa geçen kısmını toprak yapısına kazandıran bitkili yağmur suyu hendekleri aynı zamanda toprak yapısına bu suyu kazandırırken yağmur suyu ile taşınan kirletici atık veya istenmeyen tortuları da filtre etmektedir. Bitkili yağmur suyu hendekleri tasarımında kullanılan bitkiler çeşitlilik arz eder. Kullanılan bitkilerin derin köklü olma durumu göz önünde bulundurularak tutacağı su kapasitesi arttırılabilir ve uygulaması yapılmış yağmur suyu hendeklerini daha elverişli hale getirebilmektedir.

Yağmur suyunun akışlardan toplanması, iç mekân veya dış mekân kullanımı için yeterli miktarda su kaynağı sağlamaktadır. Ayrıca yağmur suyu toplama sistemleri; sel, erozyon ve kirlilik gibi kentleşme etkilerini de azaltmaktadır (Harb, 2015).

Sürdürülebilir kentsel drenaj sistemlerinin en büyük avantajı yağışın daha fazla yeraltına sızmasını sağlamaktır. Böylelikle yağışın geçirimsiz yüzeylerde daha az

dolaşması sağlanarak kirlenmesi de önlenmektedir. Çünkü hendek üzerindeki bitki örtüsü sayesinde yüzeysel akış hızı yavaşlatmakta ve su arıtılmaktadır. Bitkili yağmur suyu hendekleri, yüzeyde akışa geçen ve üzerine düşen yağmur suyunda olabilecek maksimum verimi elde etmeyi hedefleyen sürdürülebilir kentsel yağmur suyu sistemleri arasında yerini almıştır (Ünal ve Akyüz, 2017a). Bitkili su hendekleri, bir tür yapay sulak alan olarak inşaa edilmiş sulama ve fırtına olaylarından oluşan fazla suyun uzaklaştırılmasına ve depolanmasına yardımcı olurlar (Bulc ve ark., 2010). Kentsel yağmur suyu yönetim sistemleri arasında en ekonomik olan sistem olan bitkili su hendeklerinin uygulama aşaması da diğer sistemlere göre daha kolaydır (Ünal ve Akyüz, 2017b).

Bitkili su hendekleri yalnızca belirli peyzaj özelliklerinden uzaklaşmak yerine, suyu bahçe yataklarına yönlendirmenize yardımcı olurlar. Çoğu hendek, yüksek bir noktadan bahçenin alt kısmına uzanan sığ bir çöküntü içerir. Her iki tarafta da toprağı yığmak, daha da fazla su taşıma kapasitesi sağlayabilir. Nemi seven bitkilerin çoğu, su akışını engellemeden hendek boyunca büyüyebilir (URL-2, 2021).

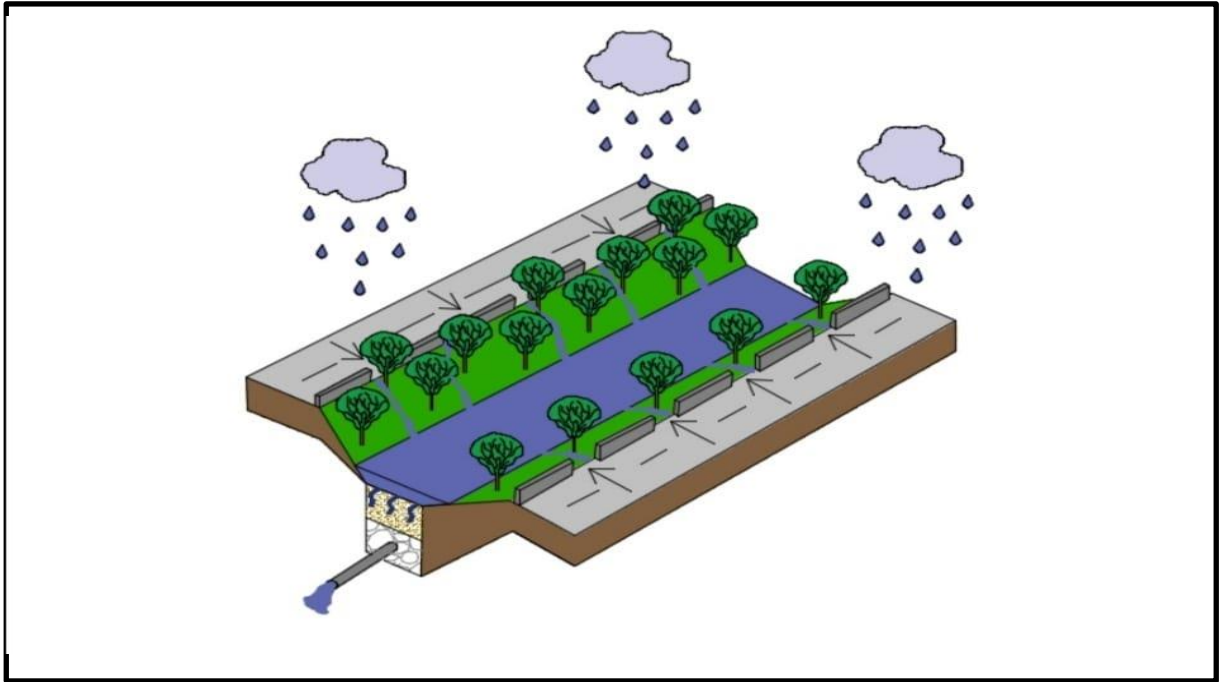
Su tutma peyzajları; bozulmuş peyzajların restorasyonuna olanak tanımakta, doğal ve merkezi olmayan su yönetimi için bir model oluşturmaktadır. Bu bütüncül model konut, enerji, gıda ve su gibi başlıklarda da sürdürülebilir ve yerel politikaların oluşmasını sağlamaktadır (Lancaster, 2008).

Yüzey yapısı bitki örtüsü ile kaplı ve yüzeyde akışa geçen suyu iç yapısına yönlendirebilecek eğime sahip bitkili su hendekleri akış hızı yüksek yağmur suyunun hızını azaltıp toplayarak, iletim hatlarına aktaran sığ, derin veya açık kanallar olarak ifade edilebilir. Hendek içerisindeki bitkiler suyun süzülmesini ve toprakta depolanmasını sağlamak amacıyla yüzey akışını yavaşlatmaktadırlar. Suyun bekletilme süresine, bitki örtüsü tip ve yüksekliğine bağlı olarak kirleticilerin konsantrasyonu değişmektedir (Konyalı Dereli ve Çay, 2020). Hendeklerin temel fonksiyonları; akıntının hızını düşürürken bir filtreleme aracı gibi davranmalarıdır. Çökelme, tortu birikimi birincil kirletici uzaklaştırma mekanizmasıdır. Ona eklenen ikincil mekanizmalar da filtreleme ve emilimdir.

Bitkili su hendekleri diğer bir ismi ile çöküntü kanallarının performans kalitesi, kanalın uzunluğuyla, boylamasına eğimi ve su akış hızını düşürecek engel setlerinin kullanılmasıyla arttırılmaktadır. Tasarımda önemli olan bu üç unsurun bulunduğu bölgedeki akışa geçen suyu iyi derecede toplayabilmesi için uygun bir şekilde tasarlanması

gerekmektedir (Sert, 2013). Şekil 2.4’de yağmur hendeğinin genel görünüşü görülmektedir.

En etkin arklar genellikle % 4’ den az bir eğimle yapılanlardır. Eğim en fazla % 6 olmalıdır. Bitkili su hendeklerinin daha estetik ve güvenli bir uygulama olması için derinlik miktarı aşırı derecelerde olmamalıdır (Demir, 2012). Hidrolik kalış süresi ağırlıklı olarak hendek geometrisinin ve genel akış engelinin bir fonksiyonudur (Scholz ve Trepel 2004).



Şekil 2.4. Yağmur hendeğinin genel görünüşü (Ünal ve Akyüz 2017a).

Genel olarak; yağmur hendeğinin şekli, hendeğin boyuna eğimi ve şev eğimi, bitki örtüsünün yoğunluğu ve yüksekliği, hendeğin uzunluğu, hendek altında bulunan zeminin geçirimsizlik durumu, hendek içinde depolanan su derinliği, kontrol barajlarının sayısı ve yüksekliği, hendek içindeki suyun kalış süresi ve hendeğin maruz kaldığı taşkınların özellikleri yağmur hendeğinin performansını belirlemektedir. Performans olarak kaliteli addedilebilecek bitkili su hendeklerinin genel yapısı şu şekildedir: Boyuna eğimi az, hendek kanal uzunluğu fazla, kontrol baraj sayısı bakımından yüksek, parabolik veya trapez en kesitli, hendek alt zemini yüksek geçirgenliğe sahip yapıda yoğun ve derin köklü bitki örtüsüne sahiptirler. Taşkın gibi olayların fazla sayıda

görülmendiği bölgelerde bu şekilde tasarımılanan bitkili su hendeklerinin bulunmuş olması yapılan tasarımın performansa olumlu yönde etki eden bir faktör olduğunun göstergesidir. Dik boyuna eğime sahip, üçgen en kesitli, kontrol barajlarının hiç olmadığı ya da sayıca az olduğu, su derinliğinden daha düşük boylu ve seyrek bitki örtüsünün bulunduğu, altında sıkıştırılmış veya doymuş zemin tabakası bulunan, yüksek hızlı akımlara sahip ve çok sık taşkın olaylarının yaşandığı bölgelere inşa edilen yağmur hendekleri ise düşük performanslıdır (Ünal, 2018).

Bitkili su hendekleri kentsel alanlarda yağmur suyunun sürdürülebilir yönetimi amacıyla kullanılan doğa dostu çözümler içerisinde en işlevsel ve uygulanabilir çözümlerden biridir (Müftüoğlu ve Perçin 2015).

2.2.3. İnfiltrasyon - sızdırma hendekleri

İnfiltrasyon kapasitesi belli şartlar altında birim zamanda zemine sızabilecek maksimum su miktarı olarak ifade edilebilir. Yağış olayının başlangıcında birim zamanda yağın yağmur miktarı yani yağışın şiddeti zeminin sızma kapasitesinden küçük ise zemine gelen yağışın tümü zemine nüfus eder. Suyun zemine girişi ile suyun zemin yüzeyinden aşağıya doğru olan hareketi infiltrasyon olarak adlandırılır. Zemin ıslandıkça doymun hale geçeceğinden zeminin infiltrasyon kapasitesi düşer. Yağış olayının devam etmesi sonunda yağış zemin tarafından emilemeyip yüzey birikimleri veya yüzey akışı oluşmaya başlar. Bu durum yağış şiddetinin zeminin infiltrasyon kapasitesini aştığını gösterir.

Aslında infiltrasyon olayına etki eden unsurlar su çevrimini oluşturan unsurlardır. Dolayısıyla infiltrasyonu artıran veya azaltan faktörlerin başında yağış ve yüzeysel akış gelmektedir. Bu bileşenler meteorolojik faktörler altında mevsimsel şartlar içinde zaman ve yer bakımından farklı özellikler gösterirler.

İnfiltrasyonu etkileyen bir diğer ana faktör ise zemin şartlarıdır. Yüzeysel şartlar arazi kullanımı, arazinin geçirgenliği, bitki örtüsü, eğim ve atmosferik şartlar (donma) gibi faktörler nedeniyle infiltrasyonu etkileyebilmektedir. Yüzeyaltı şartlar ise zeminin sınıfına, hidrolojik grubuna, zemin porozitesine, zeminin tabakalaşma gösterip göstermediğine göre değişebildiği gibi ayrıca zemin heterojenliğine, üzerinde bulunan bitki örtüsüne ve kök sistemine, kökün uzunluğuna, hidrolik iletkenliğine, su tutma kapasitesine, başlangıç nem içeriğine, ısisına, içinde hapsolmuş hava kabarcıklarına, sürekli boşluk oranına, organik

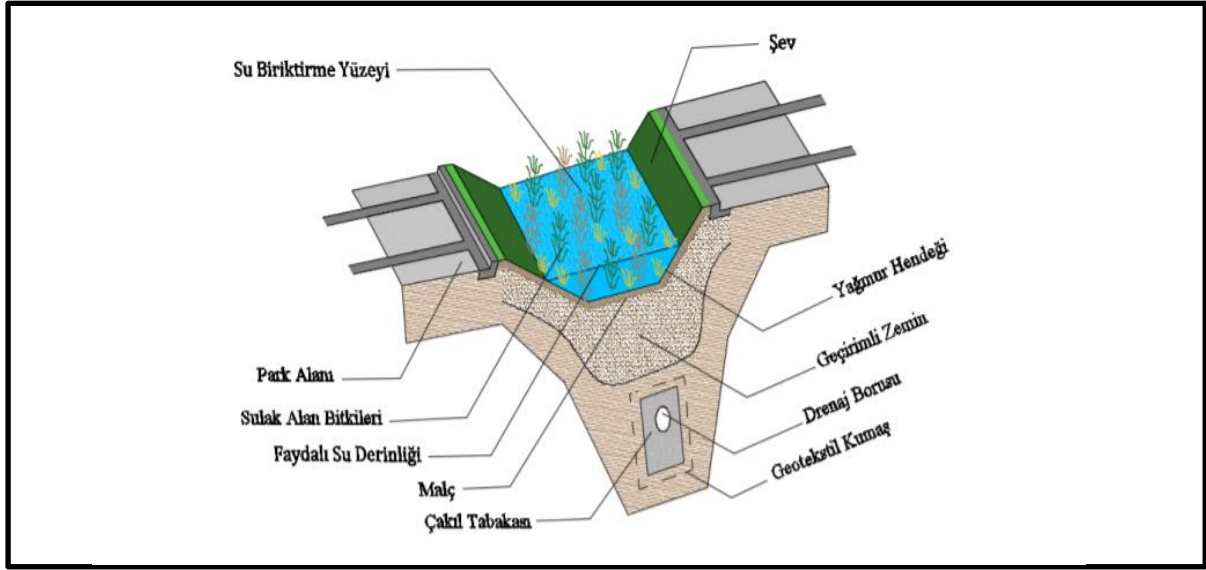
madde içeriğine, tuzlara ve içinde meydana gelen kimyasal ve biyolojik aktivitelerle beraber pek çok faktöre de bağlıdır (Aslan, 2008).

Sızma hendekleri, jeotekstil kumaşla kaplı ve temiz granüller taşla doldurulmuş dikdörtgen hendeklerdir ve yağmur suyu akışı için geçici yeraltı deposu oluştururlar. Sızma hendekleri, çatı üstlerinden, araba yollarından, park alanlarından vb. yönlendirilen yağmur suyunu alacak şekilde tasarlanabilirler. Bu yağmur suyu, geçici olarak taş arasındaki boşluklarda depolanır. Zamanla, yağmur suyu infiltrasyon hendeği etrafındaki toprağa doğal olarak sızmaktadır. Sızma hendekleri konutlarda, ticari, endüstriyel ve yüksek yoğunluklu alanlarda yağmur suyu rezervuarları olarak kullanılabilir ve böylelikle sel riskini azaltabilirler.

Yapılacak çalışmalarda ıslak yağmur hendekleri inşa edilebileceği gibi kuru yağmur hendekleri de inşa edilebilir. Islak yağmur hendekleri yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu ve altında geçirimsiz veya bozulmamış zemin tabakasının bulunduğu bölgelere inşa edilir. Kuru yağmur hendekleri yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olmadığı, suya doymuş olmayan zeminlerde inşa edilmektedir. Şekil 2.5’de kuru yağmur hendeğinin şematik gösterimi görülmektedir. Şekil 2.6’da ise infiltrasyon hendeği örnekleri görülmektedir.

Havza ölçeğinde yapılan saha ve modelleme çalışmaları şunu göstermiştir: hendekler doğal drenaj düzenlerini önemli ölçüde değiştirirler. Yükselen pik akışların ve kısmen sığ akışların bu hendekler ile engellenmesiyle ekolojik olarak önemli ölçüde toprak nemi değişiklikleri oluşmaktadır (Buchanan ve ark., 2013).

Sürdürülebilir peyzaj tasarımında topoğrafik verilerin etkin şekilde kullanımı gerekmektedir. Bu nedenle ki yağmur suyunun biriktirilmesi için mevcut drenaj kanallarının yetersiz kaldığı tespit edilmiş olan alanlarda özellikle yüzeylerde biriktirmenin de bulunması durumunda yağmur suyu toplama yöntemlerinden biri olan infiltrasyon hendeği için uygun alanlar değerlendirilebilir. Böylelikle araziden kaynaklanan altyapı, üstyapı sorunları minimize edilebilir. Sızdırma hendeğinin arıtma kapasitesi tabanına organik madde içeren toprak serilerek ve yıkanmış çakıl kullanılarak artırılabilir (Aydoğdu 2018; Demirezen, 2019; Bayramoğlu ve Demirkır, 2020).



Şekil 2.5. Kuru yağmur hendeği (Ünal ve Akyüz, 2017a).



Şekil 2.6. İnfiltrasyon hendeği örnekleri (Konyalı Dereli ve Çay, 2020).

2.2.4. Sarnıçlar

Günümüz dünyasında tüm su varlıkları ile oranlandığında kullanılabilir su miktarının düşük olduğu gerçeği göze çarpan bir gerçektir. Bununla birlikte iklimsel değişikliklerin sebep olduğu kuraklık, nüfusun sürekli artarak hâlihazırda kısıtlı olan kaynaklarımızda yetersizliğe sebep olmaktadır. Kentleşme ile birlikte geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla akışa geçen yağmur suyu kaybedilmektedir. Bu gibi kayıp ve israfın önüne geçmek amacıyla yağmur sularının toplanması ile ve buna ek olarak kirli su olarak bilinen gri suyun arıtılarak tekrar kullanılması günümüzün önemli hususları arasındadır (Akaydın Sel, 2017). Sürdürülebilir yağmur suyu sistemleri arasında yer alan yağmur suyu hasat teknikleri uzun yıllardan beri kullanılan teknolojik ve ekonomik, çevre dostu

uygulamalar arasında yerini almaktadır. Yağmur suyu toplama ve depolama sistemi toplama yüzeyi (çatı), yatay ve dikey oluklar, filtreler, pompa, yağmur suyu deposu ve dağıtıcı sistemlerden oluşmaktadır (Buçak, 2015). Bu ve bunun gibi uygulamalar, su temini konusunda sıkıntıların yaşandığı, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarından yoksun kurak bölgeler için ekonomik ve güvenilir çözümler sunması açısından oldukça önemlidir. Kurak bölgelerin yanı sıra su kaynakları bakımından zengin bölgeler için anlık veya dönemlik su kesintileri esnasında fayda sağlayan yağmur suyu mevcut su kaynaklarına alternatif oluşturmaktadır (Akaydın Sel, 2017). Bir yağmur suyu toplama sisteminin başarı oranı, tasarrufta bulunan su miktarının fazlalığıyla ilişkilendirilmektedir. Yağmur suyu toplama sistemi tasarımı; yağışın zaman ve mekânla olan ilişkisindeki miktarına, yağmur suyunun hasat edildiği alanın büyüklüğüne, depolama hacmine ve projelendirildiği bölgenin su ihtiyacı gibi bileşenlerine göre farklılık göstermektedir (Temizkan ve Tuna Kayılı, 2020).

Yağmur suyu toplama sistemleri; su zinciri, borusu vb. yardımıyla çatıya gelen yağışın genellikle uygulamalarda direk olarak toplanmasına rağmen suyun iletildiği sistemin toplama bölümüne doğru aktarıldığı, suyun geçişi sırasında herhangi bir engel oluşturmayacak biçimde detaylandırılabilir, bitkilerin, toprağın ve materyallerin arıtma işlevi ile birlikte düşünülmesi gereken sistemlerdir (Sert, 2013). Konut içerisinde basit bir yağmur suyu toplama sisteminde, çatıdan toplanan yağmur suyu, büyük parçaları tutan filtreden geçirildikten sonra yağmur suyu deposuna gelmektedir. Yağmur suyu deposundan ise çamaşır makinesi ya da tuvalet rezervuarı gibi konut içerisinde ihtiyaç duyulan alanlara pompalanmaktadır (Şekil 2.7). Bu sistemde sistemin ilk kurulum maliyeti dışında toplanılan yağmur suyuna ücret ödenmemektedir. Ancak yağmur suyunun az olduğu dönemlerde ya da yağmur suyu toplama sisteminde herhangi bir sorun çıktığında binada oluşacak su kesintisi bu sistemin dezavantajıdır.

Yağmur suları sarnıç adı verilen depolarda toplanmaktadırlar. Sarnıçlar genellikle yere gömülü olarak ve su sızdırmayacak biçimde yapılırlar. Çatı, teras ve temiz beton avlulardan toplanan sular sarnıca verilmektedir (Tanık, 2017). Sarnıçlar, suyu depolamaya yarayan yapılardır. Genellikle yağmur suyunu toplamak ve depolamak için kullanılmaktadır. Sarnıçların kullanılabileceği yerler arasında kırsal alanlar, kıyı bölgeleri, kurak, yarı kurak alanlar, adalar ve dağınık yerleşimler yer almaktadır (Tanık, 2017; Demir, 2012).



Şekil 2.7. Yağmur suyu toplama sistemi (Buçak, 2015).

2.2.5. Geçirimli yüzeyler

Yaşam alanlarının betonarme yapılarla donatılmasının sonucu olarak değerlendirilen kentleşme olayı ormanlar, yeşil alanlar, bahçeler veya çayırlar gibi geçirimli ve toprağa hava aldırان yapıların aksine beton yollar veya geçirimsiz yüzeyleriyle hidrolojik çevrimi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple yağmur suyu yönetimine kent bazında yaklaşıldığında, kentlerdeki yağmur suyu yönetimi hidrolojik çevrime olumlu yönde katkı sağlayan, yeraltı ve yer üstü yapılarına zarar vermeden yeraltı akiferlerine pozitif yönde besleyebilecek bir sistem olarak değerlendirilir (Müftüoğlu ve Perçin 2015; Wcislo, 2015). Belirli bir bölgedeki insan nüfusu yoğunluğu ile o bölgenin geçirimsiz yüzeye sahip olması arasında doğru bir orantı mevcuttur. Geçirimsiz yüzey oranı, insan nüfusunun bulunduğu bölgeyi çevresel ve yaşanılabilir bir alan olarak ne şekilde değerlendirdiğinin göstergesidir. Kentleşmenin bir sonucu olarak yeşil alan, bahçe veya peyzaj alanlarının geçirimsiz yüzeylerle kaplanması ile doğal su döngüsü bozulmakta ve suyun doğru bir şekilde iletilip depolanmasına engel olmaktadır. Su depolanması gereken alanlardan uzaklaşıp yer altında akiferlere ulaşamayarak yer altı su kaynaklarını olumsuz etkilemektedir (Korkut ve ark., 2016; Sert, 2013). Geçirimli yüzeyler, yağışla yüzeyde toplanan yağmur suyunun akışa geçip kaybedilmemesi, toplandığı alanda yer altına sızdırılmasının sağlanması amacına dayanan pratik, ekonomik ve kolay bir

uygulamadır. Toprağın suyu bir sünger gibi emebilmesine katkıda bulunan bu kaplamalar yüzeysel akışta olan su miktarı ve debisi azaltılarak, çeşitli kirleticilerden arındırılması ile yer altına sızdırılıp yeraltı su kaynaklarının beslenmesine yardımcı olmaktadır. Geçirimli yüzey tabakası için çok sayıda alternatif vardır. Gözenekli asfalt tabakası olabilir, gözenekli bloklar olabilir, su geçişine izin veren bir malzemeden yapılmış kaplama (beton) olabilir veya gözenekli olmayıp su geçişini kendisinde sağlamayan bloklar arasından sızdıran bloklar olabilir. Geçirimsiz yüzey miktarının çok olduğu kentlerde, buharlaşıp doğal su döngüsüne dönmesi gereken miktarı azdır, bunun sebebi geçirimsiz yüzeylerden hızla akışa geçip bulunduğu geçirimsiz alandan hızla uzaklaşmasıdır. Bunun sonucu olarak kentlerin enerji ve su döngüsü olumsuz etkilenmektedir (Demir, 2012; Öztürk, 2017; Sert, 2013; Uçar ve Özbora Tarhan, 2018). Tablo 2.1’de geçirimli kaplamaların avantaj ve dezavantajları görülmektedir.

Tablo 2.1. Geçirimli kaplamaların avantaj ve dezavantajları (Topçu, 2019).

Geçirimli kaplama türü	Avantajı	Dezavantajı	Kullanım ömrü
Geçirimli beton	Yapısal olarak en sağlam, geçirimli kaplamadır. Park alanları ve konut sokaklarına ek olarak yol şeritleri ve daha büyük araçlar için kullanımda uygundur. Düzenli bakım maliyetleri geçirimli kilit taşı beton kaplamalara göre daha düşüktür.	Geçirimsizlik özelliklerinin kaybedilmemesi maksadıyla karıştırma ve imalat tekniğine uygun yapılmalıdır. Başlangıç geçirimsizlik değerlerinde meydana gelen kayıpları restore etmek zordur. Bundan dolayı yeniden yapılması gerekebilir	20-30 yıl
Geçirimli asfalt	Geniş alanlarda geçirimli asfalt kullanımı geçirimli beton kullanımına göre daha ekonomiktir.	Geçirimli betonlara göre daha kısa ömürlü ve daha az dayanıklıdır. Geçirimsizlik özelliklerinin kaybedilmemesi maksadıyla karıştırma ve imalat tekniğine uygun yapılmalıdır.	15-20 yıl
Geçirimli kilit taşı beton kaplamalar	Meydan, bahçeler, küçük park alanları ve konut sokakları için çok uygundur. Geçirimli beton ve asfaltla karşılaştırıldığında tıkanma sonrası değiştirme maliyetleri daha düşüktür	En yüksek başlangıç yapım maliyetine sahip olması ve drenajı sağlayan çakılların bakımının, yenilenmesinin sürekli yapılması gerektiğinden geçirimli beton ve asfalta göre daha pahalıdır.	20-30 yıl
Izgara tipi beton bloklar	Geçirimli kilit taşı beton kaplamalara göre biraz daha ucuzdur	Uygulama yapıldığı alanlarda farklı oturma problemleri yaratabilir. Boşluk bölgesi zamanla bitki ve toprak dolayla tıkanabilmektedir.	-

2. 2. 6. Geciktirme hazneleri

Su toplama alanlarının hidrolik ve hidrolojik rejimlerinin anlaşılması taşkın olaylarının meydana gelmesini önlemek açısından önemlidir. Yaşam alanlarının geçirimsiz yüzeyler ile donatılmasının bir sonucu olarak yağmur suyu infiltrasyonu olumsuz etkilenmektedir. Olumsuz etkilenecek giderek azalan yağmur suyu infiltrasyonu ile birlikte yüzeysel akışa geçen geçen su miktarı, debisi ve hızı taşkın olaylarının artmasına sebebiyet verir ve mevcut yağmur suyu yönetimini elverişsiz hale getirir. Mevcut yağmur suyu yönetim sistemlerine bekletme ve geciktirme haznelerinin entegrasyonu ile mevcut yağmur suyu yönetim sistemlerinin ömrü uzatılabilir. (Macedo ve ark., 2019).

Geciktirme hazneleri, kentleşme öncesi geçirimli yüzeylerin altına inşa edilen yapıyı ve montajı kolay, projeye göre boyut çeşitliliği sunan, geri dönüşümü mümkün kılan ve depoladığı suya kimyasal olarak zarar vermeyen malzemeden üretilen yapılardır. Yağmur suyu modülleri olarak da bilinen geciktirme haznesi meydan, otopark, otoyol gibi alanların olduğu bölgelere de inşa edilebilmektedir. Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi sistemi kapsamında yer alan bu sistem yüzeyde yer kaplamayan görüntü kirliliği oluşturmayan çatılardan ve asfalt gibi alanlardan yağmur suyu tedarik eden sistemlerdir.

Geciktirme hazneleri infiltrasyon, buharlaşma ve yüzeysel akış gibi hidrolojik döngü aşamalarının düzenli işleyişine katkıda bulunarak kentleşme öncesi bulunduğu alanın hidrolojik ve sürdürülebilir ekolojik yaşam dengesini oluşturmaktadır. Öte yandan geciktirme hazneleri yüzeysel akış ile meydana gelen kirliliğin azaltılarak depolanmasına diğer bir deyişle arıtılarak bekletilmesine ve oluşabilecek herhangi bir taşkın durumunda bu durumun kontrol altına alınmasına yardımcı olan sürdürülebilir yağmur suyu yönetim sisteminin bir elemanı olarak karşımıza çıkar.

Yağmur suyu veya birleşik sistem kanallarının kapasitelerinin üstünde bir debiye maruz kalmalarını önlemek amacıyla da geciktirme hazneleri kullanılmaktadır. Yağmur suyunun yönetiminde sürdürülebilirliğe katkıda bulunan bekletme/geciktirme hazneleri kendisinden sonra inşa edilecek yağmur suyu kanal çaplarının düşürülmesine katkı sağlayarak kanal maliyetinin azaltılmasında etkili olmaktadır. Bekletme/geciktirme hazneleri bir bölgenin suyunun iletilmesi için mevcuttaki yağmur suyu kanalına vermek maksadıyla teşkil edilebilir (Toy, 2011; Demir 2012)

2. 2. 7. Yağmur suyu toplama sistemli pavilyonlar

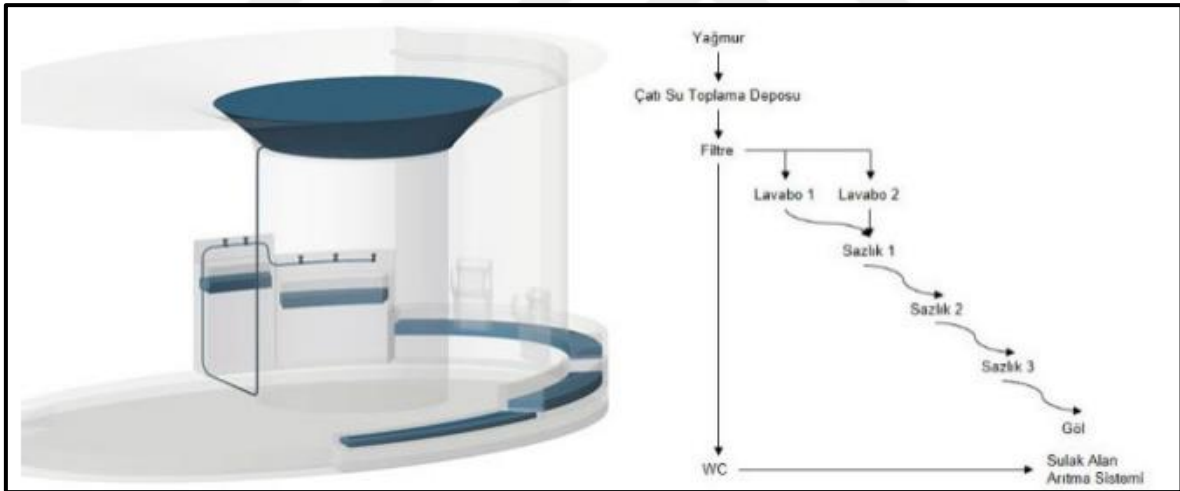
Latince kökenli olan pavilyon kelimesinin kökeni papilio yani “kelebek” anlamına gelen kelimedir. Fransızcada türetilerek “çadır, gölgelik” anlamlarına gelen pavilion haline gelmiştir. Pavilyon TDK’ya göre, bir kuruluşun, bir kurumun bir bahçe içinde ayrı ayrı yerlerde bulunan yapılarından her biri şeklinde tanımlanmaktadır. Pavilyonun güncel tanımı ise, açık-yeşil alana tasarlanmış hafif dekoratif mimari yapılar veya yaz evi manasında kullanılmaktadır. İnsanları içerisinde ve çevresinde zaman geçirmeye davet eden açık alanlarda üstü örtülü veya kapalı alan oluşturarak geçici veya kalıcı olacak rekreasyonel faaliyetlerine fırsat tanıyabilen yapılardan biri olarak da tanımlanabilmektedir. Pavilyonlar çeşitli biçim ve işlevlerde inşa edilebilmektedirler. Bu nedenle pavilyonlar la ilgili çok çeşitli kavramlar kullanılabilmektedir (Kuzulugil ve ark., 2020; Tavşan ve ark., 2022; Yossef ve Khalife, 2015).

Şekil 2.8’de eğitim amaçlı bir kurum tarafından yönetilen ve çevreci bir ziyaret merkezi olması için tasarlanan pavilyon görülmektedir. Şekil 2.9’da ise bu pavilyonun şematik anlatımı görülmektedir.



Şekil 2.8. Modern pavilyon (Tavşan ve ark., 2022)

Yağmur suyundan olabilecek maksimum faydayı sağlayarak suyun verimli şekilde kullanımına katkıda bulunarak tasarruf amaçlı olarak da dizayn edilebilen mimari öğelerden biri olan pavilyonlar yağmur suyunu toplayıp arıtarak ihtiyaç dahilinde kullanıma uygun olacak şekilde depolayabilen yapılardır. Daha çok yurtdışında örneklerine rastlanabilen pavilyonlarda mimari dizayn boyutuna uygun seviyede yağmur suyunu toplayıp çeşitli teknolojik yöntemlerle suyu arıtarak bina içi veya yapı içi iç ihtiyaçlar dahilinde kullanıma hazır hale getirilmektedir. Pavilyonlar, yağmur suyunun sürdürülebilirliğine katkıda bulunarak toplanılan yağmur suyunun verimli kullanılması ile şebeke suyundan tasarrufta bulunulmasına destek olan estetik, düşük maliyetli, portatif, kurulumu ve bakımı kolay mimari yapılardır. Pavilyonların yapıya ek şeklinde dizayn edilebilmesinin yanı sıra yapıdan ayrı olarak gölgelik oluşturma ve oturma alanı amaçlı kullanımı da mümkündür. Mimari tasarım ürünü olan pavilyonlardan yağmur suyunun değerlendirilebilmesi adına fayda sağlamak amaçlı çalışmalar günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır (Tavşan ve ark., 2022).



Şekil 2.9. Pavilyon sisteminin şematik gösterimi (Tavşan ve ark., 2022)

3. YAĞMUR SUYU HASADI

Yağmur suyu hasadı, yağış nedeniyle oluşan suyun çeşitli yollarla metot ve tertibatlarla toplanması esasına dayanmaktadır. Bu yönüyle, sürdürülebilir su yönetiminin başlıca unsurlarından birini oluşturmaktadır. Yağmur suyu hasadı, yağış süresince zemin yüzeylerinden ve bina çatılarından akan suyun toplanarak muhafazası için olması gereken boyutlardaki depolara iletilmesini ifade etmektedir. Yağmur suyu hasadı sistemine örnek teşkil eden birçok uygulama yöntemi vardır. Bina çatı ve çevresinden toplanmak suretiyle elde edilen yağmur suyunun depolanıp çeşitli işlemlerden geçtikten sonra ihtiyaçların giderimi için bina içi veya çevresinde kullanılması oldukça ekonomik, güvenli ve teknolojik bir sistemdir (Can, 2020).

Yağmur sularından elde edilecek maksimum faydanın sağlanabilmesi için birçok teknik geliştirmeyi hedefleyen yağmur suyu hasadı yöntemi, çatı gibi alanlardan toplanan yağmur suları ile yüzeysel akıştaki suyun toplanıp biriktirilmesi ve bu suyun canlıların fayda sağlayabilmesi için kullanılmasına olanak sağlayan yöntem olarak tanımlanabilir (Mengü ve Akkuzu, 2008).

Bina içi kullanım amacıyla bina çevresinden çeşitli yöntemlerle toplanan yağmur suyunun sürdürülebilirliğine katkıda bulunan ve kaynakların verimli kullanılmasına yardımcı olan bir teknik olarak karşımıza çıkan yağmur suyu hasadı günümüzde oldukça önem arz eden bir sistem haline gelmiştir. Yağmur suyu hasadı özellikle su kıtlığı yaşayan coğrafyalar için oldukça kurtarıcı bir yöntemdir. Yağmur suyu hasadı ile su sıkıntısı yaşayan bu kurak bölgeler için temiz ve kullanılabilir sudan tasarruf edilerek halihazırda kısıtlı olan su kaynaklarının akılcıca ve gelecekte de kullanım süresini uzatacak hamleler ile suyun sürdürülebilirliğinin dinamik bir süreç olarak devam edebilmesi bu yöntemi diğerlerinden avantajlı kılmaktadır.

Yağmur suyu hasadı, sel veya toprak heyelanı gibi sorunlarla mücadele etmenin pratik ve ucuz bir yoludur. Yağışlardan elde edilen suyun toplanıp depolanması, dünya genelinde susuzluk sorunuyla mücadeleye destek olunması açısından da azımsanmayacak öneme sahiptir. Birbirinden ayrılamaz iki kaynak olan su ve enerji, bir ülkenin sürdürülebilir ekonomik kalkınması için hayati öneme sahiptir (Can, 2020; Wanjiru ve Xia, 2017).

Yağmur suyu hasadından elde edilen suyun kullanım alanı oldukça geniştir. Gerekli düzenlemeler teşvikler ve projelendirmeler yapıldığı takdirde olabilecek maksimum fayda

sağlanabilir. Yağmur suyu hasadından elde edilen suyun kullanım alanları Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1. Yağmur suyunun kullanılabileceği yerler (Akaydın Sel, 2017)

Kullanım Yeri	Hedeflenen Uygulama
Şehir	• Park, bahçe ve yeşil alanların sulanması • Ticari faaliyetler için kullanım • Şehrin estetiğine katkıda bulunan yeşillendirilmiş alanların sulamasında kullanım • Çevre temizliği amacıyla kullanım • Yapı malzemelerinin üretim ve içeriğinde kullanım • Yangında kullanım • İş, okul veya bina gibi alanların temizliğinde kullanım
Endüstri	• Soğutma suyu olarak kullanımı • Kazan besleme suyu Mekanik teçhizat için gerekli su kullanımı (kazanlar için) • Proses suyu • Tesislerin yeşil alanlarının sulaması • Kişisel amaçlı su kullanımı
Kişisel Kullanım	• Kişisel amaçlı; mutfak, tuvalet, banyo, temizlik veya filtreden geçirilip içilen içme suyu amaçlı kullanım
Tarım	• Üretimde kullanılan sulama suyu amaçlı kullanım
Restorasyon/Rekreasyon	• Sulak bölgelerin iyileştirilmesi/geliştirilmesi • Rekreasyon amaçlı kullanım (Su sporları, balık tutmak, vb.) • Doğal veya yapay oluşumlu akarsu gibi alanların beslenmesi amacıyla kullanım • Diğer (Balık üretimi, yapay kar, vb.,)
Yeraltısuyu besleme	• Tuzlu su girişimini engellemek maksadıyla kuyulara engel teşkili amacıyla kıyı bölgelerinde kullanım • Arıtma ve temizleme amacıyla kullanım • Akiferler de su rezervuarının artırılmasında kullanım • Arıtılmış suyu muhafaza edilip depolanması amacıyla kullanım • Yeryüzünde meydana gelen çökme gibi sorunların kontrolü ve engellenmesi amacıyla kullanım
İçme suyu kaynağı	• Doğrudan veya dolaylı yollarla suyun içilmesi amacıyla kullanım

Yağmur suyu hasadı önemli olduğu kadar birçok avantajı da barındıran bir sistemdir. Yağmur suyunun ücretsiz ve alternatif bir su kaynağı olduğu düşünüldüğünde söz konusu alanın yağmur suyunu muhafaza edebilme miktarına bağlı olarak ve kullanılan sistemin uygunluğunun sağlanması halinde şebeke suyu kullanımında %55 civarında tasarruf elde edilebilmektedir. Bununla birlikte günümüzde gelişmeye devam eden sürdürülebilir birçok alternatif su hasadı yöntemleri ile su kullanımı miktarı düşürülebilir. Uygulanması düşünülen projenin büyüklüğü ile orantılı olarak yatırım ve işletme maliyeti genellikle azdır. En büyük özelliklerinden biride mevcut su temini sistemleri ile bütünleştirilebilir olmasıdır. Alternatif olarak karşımıza çıkan su temini yöntem ve projelerine kıyasla, çevreye etki eden olumsuzlukları daha düşüktür. Yangın, deprem ve kuraklığın sebep olduğu susuzluk gibi doğal afet ve sorunlarla mücadelede kullanılabilir. Yağmur suyu hasadı askeri alanlarda, hava limanlarında, otellerde veya stadyum gibi çatıdan toplanabilecek su miktarının fazla olduğu büyük alanlarda suyun toplanıp arıtma işleminden geçirilmesi ile suyun tekrar kullanılması ve sürekli ihtiyaç duyulan kısıtlı kaynaklarımızdan biri olan suyun korunması için yapılabilecek en verimli işlerden biridir (URL-3, 2024).

3.1. Yağmur Suyu Hasat Teknikleri

“Su hasadı” genellikle atmosferdeki su buharının yoğunlaşması sonucunda oluşarak yeryüzüne düşen sıvı formdaki yağışın farklı amaçlar için kullanılmasına katkıda bulunan bir sistemdir. Yağışlardan elde edilen yağmur suyunun hasat edilmesi tekniğinde su eğim yönünde hareket edeceğinden bu doğrultuda akışa geçen suların toplanması gerekmektedir. Eş yükseklik eğrileri doğrultusundaki geçirimsiz addedilen yapılardan suyun geçişi esnasında su, katı parçacıklar içerisinden geçerek bünyesindeki kirleticilerin ortam tarafından tutulmasına imkân vermektedir. Çatılardan veya taşlık, kayalık alandan gelen yağış sularının bir depolama sisteminde depolanarak çeşitli amaçlar için kullanımı mümkündür. Bir bölgedeki yıllık yağış miktarına bağlı olarak yağmur suyu depo hacmi hesaplanabilmektedir. Bu işlem oldukça düşük maliyetli olup, şebeke suyundan tasarruf sağlamaktadır. Bu suyun rekreasyon alanlarında veya bahçe sulamasında kullanımı söz konusu olabileceği gibi tuvalet rezervuarlarında, temizlikte ve endüstriyel alanlarda çeşitli proseslerde kullanılması mümkündür (Kantaroğlu, 2009; Yetik ve Şen, 2020).

21. yüzyıl da yağıştan elde edilen yağmur suyunun sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için geliştirilen uygulamalar ile yeniden gündeme gelen yağmur sularının toplanarak tekrar kullanımı yeni bir teknoloji değildir. Güneybatı Asya ve Orta Doğu bölgelerinde inşa edilmiş, yapımında su sızıntısının önlenmesi maksadıyla kireç kullanılan su sarnıçları, Neolitik Çağ'a ait buluntular insanların yağmur suyunu kullanma becerisini çok uzun zaman önce edindiklerini göstermektedir (Barbosa ve ark., 2012).

Eski zamanlarda kullanılan yağmur suyu hasadı, belirli bir yerde yağışın alınması, depolanması ve kullanılması olmak üzere üç aşamayı içermektedir. Yağmur suyu tankları Antik Roma, Avusturya ve Hindistan da Yaklaşık 4000 yıl boyunca Ürdün'deki kültürel alanların sulanması için yüzey akışlarında kullanılmıştır. İtalya'nın Venedik kentinde yapılan bir çalışmanın sonuçları, Orta Çağ döneminde evsel tüketim için yağmur suyunun toplanması amacıyla yaklaşık 6000 yer altı tankının kullanıldığını göstermektedir. 20. yüzyılın ikinci yarısında yağmur suyu hasadı Afrika'da nüfus gelişimi için bir strateji olarak doğrudan (kalıcı toplama ve depolama elemanları) veya dolaylı olarak (çatıların kenarlarındaki özel kaplar kullanılarak) kullanılmaktadır (Sepehri ve ark., 2018).

Günümüzde ise daha çok mevcut su kaynaklarının miktarının, nitelik ve nicelik olarak kalitesinin korunması amacıyla kullanılmaktadır. Bir başka ifade ile de yağmur suyunun hasat edilmesi, akışa geçen kısmının yeraltına ulaşmasının engellenip depo edilmesi olarak ifade edilebilir. Depolama sistemlerinde, suya ulaşım imkânının zor olduğu bölgelerde sarnıç sistemleri kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra depolama tankları veya variller kullanılarak da yağmur suyunun depolanabilmesi mümkündür. Yağmur suyunun toplanabileceği farklı yapı malzemelerindeki çatı veya teras gibi alanlardan elde edilecek yağmur suyu bir kum filtresi ünitesinden geçirilerek yeraltında depolarda depolanabilmektedir. Binalarda, suyun niteliği kullanım ihtiyacına göre belirlenir ve içme suyu ile içme suyu kalitesinde olmayan su olarak ikiye ayrılır. Çatı veya teras alanlarından hasat edilen yağmur suyu bina içi kullanım suyu ihtiyacını karşılamakla beraber, arıtma işleminden geçirildikten sonrasında içme suyu olarak da kullanılabilir. Çatı alanlarında hasat edilip depolanmış yağmur suyu içme suyu amacıyla kullanıma uygun değildir. Ancak olması gereken uygun arıtma şartlarının uygulanmasıyla içme suyu standartlarının sağlanabilmesi de mümkündür (Sevimli, 2021; Şahin ve Manioğlu, 2011).

Nüfusunun %57'sinin güvenli su kaynaklarına erişimi olmayan Meksika, kentsel su kıtlığının en fazla olduğu dördüncü ülke olarak listelenmektedir. İçme suyu kaynakları açısından ülke genelinde su kaynaklı stresin zamanla artmasıyla bu durumun daha da

kötüleşmesi beklenmektedir. Meksika'nın ikinci büyük kentsel yerleşimi olan, Guadalajara Metropolitan Bölgesinde gelişmekte olan ülkelerdeki su kıtlığına karşı hassas, çeşitli kentsel bölgelerin değerlendirilmesi için standartlaştırılmış metodolojisi ve sistematik bir yaklaşımı bulunan bir tasarım oluşturmak maksadıyla çalışmalar yapılmaktadır. Bu nedenle yağmur suyu hasadı, kentsel ortamlarda su kıtlığının azaltılması için sağlam bir alternatif olarak görülmüştür. Bu sistemin uygulanması ile, suya erişim ve suyun kullanılabilirliği arttırarak, su için kullanılan zaman ise azaltılarak, bu sistemden yararlanan nüfusun yaşam kalitesinin iyileştirmesi amaçlanmaktadır (Díaz-Vazquez ve ark., 2023).

Kenya'nın Vizyon 2030'u ve Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı, yağmur suyu toplama ve tasarruf teknolojilerini sosyo-ekonomik kalkınma, iklim değişikliğine dayanıklılık ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada hayati öneme sahip olarak kabul etmektedir. Kenya'da bitkisel çim şeritleri, kontur boyunca dikilen canlı bitki örtüsü şeritlerinden oluşmaktadır. Bitkisel şeritler toprak eğimi boyunca yüzey akışını önleyen, tortuları yakalayan ve zamanla terasların oluşmasına yol açabilen yarı geçirgen bariyerler oluşturur. Kenya'daki çim şeritleri üzerinde yapılan araştırmalar, çim şeritleri olmayan arazilerin orta Kenya'da akışı %5-33 oranında önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Taş setler, karasal akış hızını azaltmak veya durdurmak ve dolayısıyla toprak erozyonunu azaltmak için eğimli arazi boyunca kontur boyunca inşa edilmektedirler. Taş setler Afrika'daki en eski ve en sık görülen geleneksel tekniklerden birini temsil etmektedir, ancak bu tekniğin Kenya'da ne kadar süredir kullanıldığını belirlemek için çok az araştırma yapılmıştır. Setler tarımda yüzey akışını toplamak, su sızmasını arttırmak ve toprak erozyonunu önlemek için kullanılan en yaygın teknikler arasındadır. Prensipleri nispeten basittir: Kontur çizgileri boyunca setler oluşturularak su akışı yavaşlatılmakta, bu da su sızmasının artmasına ve toprak neminin artmasına neden olmaktadır (Muriu- Ng'ang'a ve ark., 2017).

Yağmur sularının çatı veya teras gibi alanlardan hasat edilmesi yönteminde su, bu alanlardan yönlendirici ve taşıyıcı yapılarla (oluk gibi) depolanacak alana iletilmektedir. Depoda biriken yağmur suyu çeşitli amaçlar için kullanıma hazır hale gelmiş bir şekilde bekletilerek su israfının önüne geçilmektedir. Su fakiri ülkemiz için oldukça önemli olan su tasarrufu sürdürülebilir yağmur suyu yönetim sistemlerinin amaçları arasında yer almaktadır. Bu sebeple yağmur suyunun tekrar kullanıma imkân tanıyan bu sürdürülebilir sistemlerin teşvik edilmesi de büyük önem arz etmektedir. Yağmur suyu kullanımının

zorunlu olduğu bir ülke olan Hindistan'da çatı alanı 100 m²'den büyük tüm yeni binalarda ve 1000 m²'den büyük inşaat alanı olan yeni binalarda bu zorunluluk doğrultusunda yeraltını beslemek amacıyla yağmur suyu çatılardan toplanmaktadır. Hindistan'da, bölgeye ve akifer türüne ( rneğin alüvyon veya kırıklı sert kaya) bağlı olmakla birlikte, yağmur suyu hasadının ana amacı sığ yeraltı suyu akiferlerini yeniden beslemek için akışı depolamaktır (Glendenning ve ark., 2012).

Ülkemizde yağmur suyu kullanımına yönelik Yağmur suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkındaki Yönetmelik 30105 sayı ve 23.06.2017 tarih ile  evre şehircilik Bakanlığı tarafından Resmi Gazete'de yürürlüğe konulmuştur. Yağıştan elde edilen yağmur sularının toplanıp tekrar kullanılması ile alakalı bilgiler Yönetmelik EK-1 de yer almaktadır. Yönetmeliğin EK-1 bölümünde, sürdürülebilir yağmur suyu sistemlerinden biri olan çatılardan yağmur suyu hasadı sistemlerinin tasarlanması, test edilip kurulması ve s rekli lik arz eden bakım talimatları ile ilgili bilgiler BS 8515 (2009) standardı ile açıklanmıştır. Bu standart içme suyu kalitesinde olmayan yıkama, tuvalet rezervuarı, bahçe sulama suyu gibi çeşitli kullanım suyu ihtiyacının, çatı gibi alanlardan yağmur suyu hasadı yöntemiyle suyun elde edilmesini içeren bilgilere yer vermektedir (T.C. Resmi Gazete, 2017). Yangınla mücadele alanında ve ticari amaçlı yağmur suyu kullanımı ile ilgili özel hususlar bu yönetmelikte yer almamakla birlikte bu alanlar da kapsama dâhil edilmiştir. Yağmur suyu hasat teknikleri ihtiyaca binaen kullanılan suyun bir kısmını karşılayarak mevcut su kaynaklarından tasarruf edilmesini ve kısıtlı olan su kaynaklarımızın verimli şekilde kullanılarak korunmasını sağlamaktadır. Yağmur sularının, hasat teknikleri veya alternatif sürdürülebilir tekniklerle tekrar kullanılması su fakiri olan ülkemiz ve ülkemiz gibi örnekler için oldukça önemlidir. Sürdürülebilir yağmur suyu hasat tekniklerinin kullanıldığı projelere ülkemizde de rastlanmaktadır. Bu projeler arasında yer alan Siemens Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde "Yeşil Bina Konsepti" çatı alanlarından topladığı yağmur suyu ile teknolojinin de desteği ile yangınla mücadele amacıyla, kullanım suyu ve yeşil alan sulama ihtiyacına binaen kullanılmaktadır.

Yeşil Bina Konsepti örneklerine dâhil olan Bursagaz'ın genel müdürlük binası ve Yeşil Yıldız Konsepti'ne örnek teşkil eden Bursa Hilton Otel, teraslarından topladıkları yağmur suyunu bahçe sulama ve rezervuar kullanım suyunu karşılamada kullanan örnek projelerdir (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018; Ekinci, 2015).

Sakarya Üniversitesi Kampüsü için yapılan bir çalışmada bahse konu olan çatı alanlarından hasat edilen yağmur suyu ile yeşil alan sulama suyu ihtiyacının bir kısmı

karşılanmıştır. İhtiyacın karşılanan miktarı oransal olarak her gün sulama, haftada bir kez sulama ve haftada iki kez sulama durumları ile değişkenlik göstermiştir. Yapılan hesaplamalar ile bu oranlar matematiksel birkaç formül ile tespit edilmiştir. Sonuç olarak çatı alanlarından toplanan yağmur sularının bahçe sulama suyundan tasarruf edilmesine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir (Eren ve ark., 2016).

3.2. Yağmur Suyu Hasadına Etki Eden Faktörler

Yağmur suyunun çatı alanlarından hasat edilmesi yönteminin kullanıldığı projelerde, suyun toplandığı çatı alanının boyutu ve toplanan suyun depolandığı deponun hacmi projelendirme aşamasında kullanılan en önemli veriler olarak karşımıza çıkar. Toplanması hesap edilen yağmur suyu, ihtiyacın kabul edilebilir bir kısmını karşılıyorsa böyle bir çalışmayı gerçekleştirmek ekonomik olarak daha sağlıklı olacaktır. Belirli bir bölgeden toplanacak yağmur suyu miktarının hesabı, o bölgeye ait meteorolojik verilere göre yapılmaktadır. Bu hesap aşağıda Eşitlik (3.1)'de verilmiştir.

$$V_y = A * Y * \frac{e}{1000} \quad (3.1)$$

Burada;

V_y : Toplanan yağmur suyu miktarı (m^3)

A : Yağmur suyu toplama alanı (m^2)

Y : Aylık veya yıllık yağış miktarı (mm)

e : Yağmur suyu toplama yüzeyinin verimlilik katsayısı (Üstün ve ark., 2020).

Yağmur suyu hasadında göz önüne alınması gereken hususlar iki madde halinde aşağıda bahsedilmiştir:

A. Yağış Özellikleri: Çalışma yapılacak bölge içerisindeki meteoroloji istasyonlarından aylık veya yıllık yağış miktarı değerlerinin alınması gerekmektedir. Bu nedendir ki çalışma alanının yağış karakteristiklerini bilmek gerekmektedir. Bölgenin yağış özellikleri yağışın şiddeti, sıklığı ve yağış süresi verileri ile hesap edilip tespiti sağlanabilir. Yağış özellikleri bölgelerin kuraklık derecelerini belirleyen önemli unsurların başında gelir.

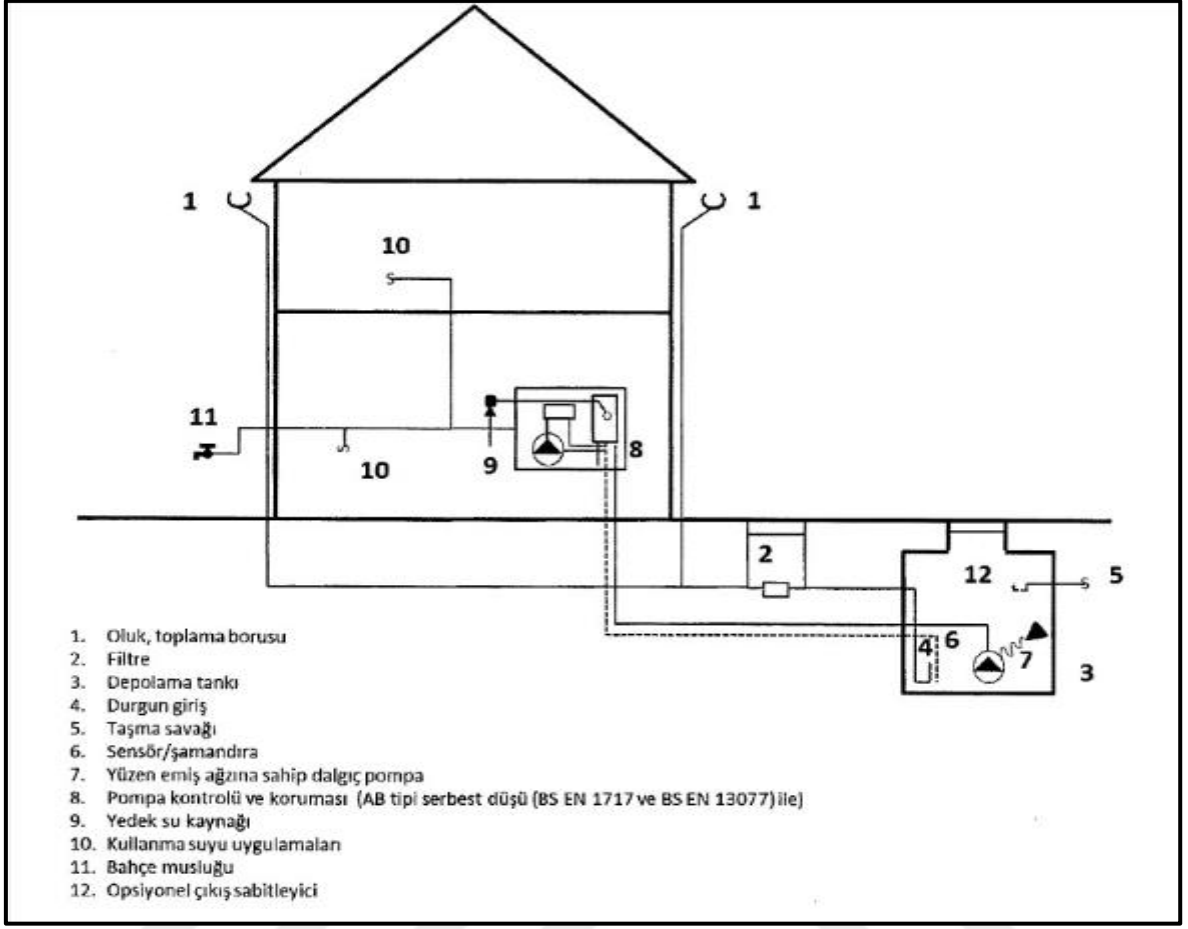
Yağmur suyu hasadı sistem tasarımı için de büyük öneme sahip bu özellikler yağış miktarını bulabilmek için kılavuzluk etmektedir. Yağmur suyu hasadı sisteminin belirli bir alan için projelendirilmesinde, projesi yapılacak alana ait yağış özellikleri bilinmelidir (Üstün ve ark., 2020).

B. Yağmur suyu toplama sistemleri, altı madde halinde aşağıda yer alan bileşenleri kapsamaktadır.

- **Toplama alanları (çatı, teras vb.):** Genel olarak binalarda yağmur suyu hasadının yapıldığı bölgeler çatılardır. Çatılardan toplanan su miktarı çatı malzemesi tipine göre değişkenlik göstermektedir. Yağış alan çatı alanının toplamdaki net yağmur suyu miktarı; rüzgâr etkisi, çatı malzemesi, çatı eğimi, iklime bağlı buharlaşma, sızıntıların sebep olduğu kayıplardan ve bunlar gibi örneklendirilebilecek hususlardan geriye kalan kısımdır. Dolayısıyla çatı alanına düşen yağmur suyunun tamamı bu gibi kayıplardan ötürü tutulamaz. Kullanılan çatı malzemesi türüne göre yağmur suyu toplama alanının (binalarda çatı alanının) incelendiği durum için bir e katsayısı değişiminin bağlı olduğu çatı malzeme tiplerine göre değişmektedir.

Yağmur suyunun çatılardan toplanabilmesi için çatının belirli bir eğimde olması gerekmektedir. Akış katsayısı, çatının malzeme tipine göre değişen ve çatıdan toplanan yağmur suyunun, çatıya düşen yağmur suyuna oranını veren bir katsayıdır. Genel olarak çatı tipleri ve kullanılan malzemeye göre 0,7 ile 0,95 arasında değer almaktadır (Üstün ve ark., 2020; Farreny ve ark., 2011).

- **Oluklar ve iniş boruları:** Yağmur suyu hasadı yapılan alandan bu suyun depolandığı bölüme aktarımını sağlayan sistem elemanlarıdır. İletimi sağlayan bu yapılar projelendirilmenin yapıldığı bölgenin en yoğun yağış miktarına göre boyutları ve kapasitesi hesaplanarak tasarlanmalıdır. Yağmur suyundan olabilecek maksimum verimi elde edebilmek için boru ve oluk boyutları yağmur suyu kaybına sebebiyet vermeyecek ölçü ve boyutlarda olması önem arz etmektedir. Oluk ve boruların tasarımı yağışı alan toplama alanının büyüklüğüne, yağış özelliklerine ve kayıp parametreleri gibi değişkenlere göre de değişmektedir. Bina çatı alanından depo alanına aktarımın kolaylıkla gerçekleşebilmesi için iletimi sağlayan bu sistemlerin boyut ve kapasitelerinin yanı sıra eğimleri de uygun değerlerde olmalıdır. Şekil 3.1’de çatı yağmur suyu hasadındaki borulama sistemi görülmektedir (Üstün ve ark., 2020).



Şekil 3.1. Tipik yağmur suyu kullanma sistemi (URL-5, 2024).

- **Izgaralar (İlk sifon):** Kirlenici maddeleri ve kalıntıların yağmur suyu depolama alanına iletilmesini engelleyen sistemlerdir. Çatı oluk veya iniş borularının uygun kısımlarına yerleştirilerek çatı kir ve kalıntıların toplayan suyun temiz duruma getirilmesi için ayrıştırma işlemi görür. Toplanan yağmur suyunun kullanım amacına göre filtreleme seviyesi değişiklik arz eder. Kullanım amacına göre filtreleme sistemi seçimi yapılmalıdır. Çatıya düşen ilk yağmur sularını yönetmek amacıyla bir yağmur ayırıcısı sisteme dahil edilmelidir (Üstün ve ark., 2020).

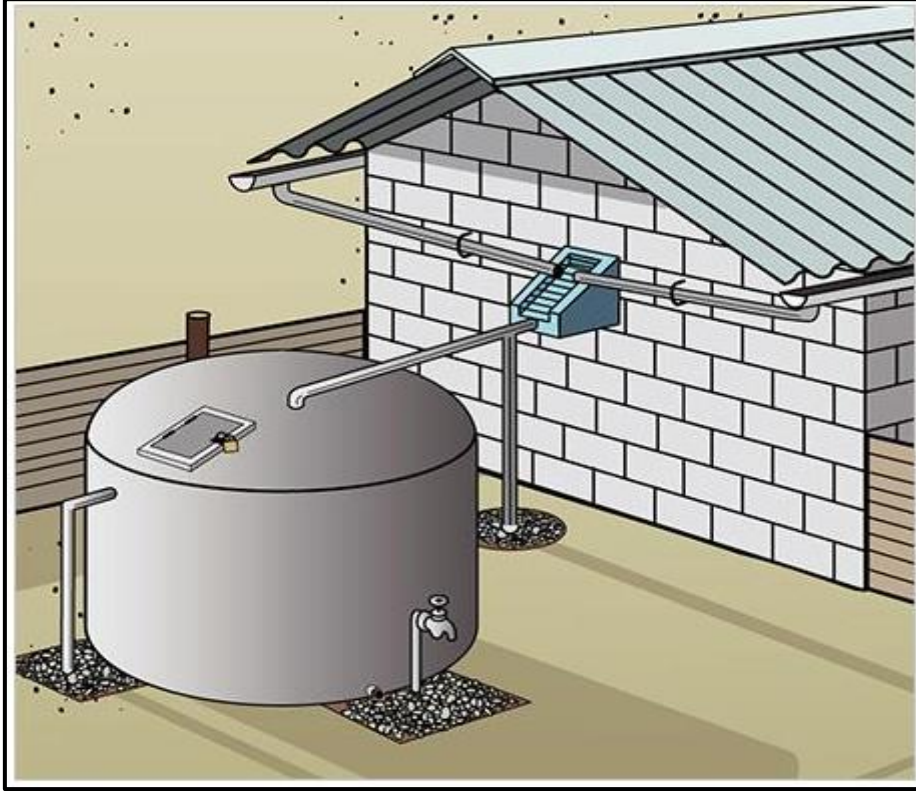


Şekil 3. 2. Yağmur suyu toplama sistemlerinden kir tutucu süzgeç veya ızgaraya bir örnek (URL-6, 2024)

- **Depolama tankı:** Hasat edilmiş yağmur suyunun uygun bir şekilde depolandığı yapılardır. Depolama işlemi farklı yöntemlerle yapılabilir bu sistemin kurulumu en basit şekilde yer altında veya yüzeyde olabilir. Depo hacmi tasarımı; depolanacak suyun toplandığı toplama alanı, birim zamandaki yağış miktarı, suyun kullanım alanı gibi faktörlere bağlı olarak yapılır. Depolama tankının dolum boşaltım sıklığı depolama tankı kapasitelerini etkileyen fiziksel kısıtlama parametresidir (Wanjiru ve Xia, 2017). Depolama hacmini boyutlandırmak için en uygun yöntem ekonomik tasarruf / kurulum maliyeti oranıdır (Matos ve ark., 2013). Toplanan yağmur suyu kullanımlarına birçok ekonomik ve çevresel fayda sağlayabilir. Yerleşim alanlarında peyzaj bakımı ve iyileştirme için önemli miktarlarda yağmur suyunun yakalanıp depolanmasıyla yoğun talepler azaltılabilir, su korunabilir ve birçok yağmur suyu yönetimi sorunu hafifletilebilir. Yağmur suyu toplama sistemleri içme suyu kalitesi gerektirmeyen amaçlar için de kullanım suyu sağlayabilmektedir (Villarreal ve Dixon, 2005)

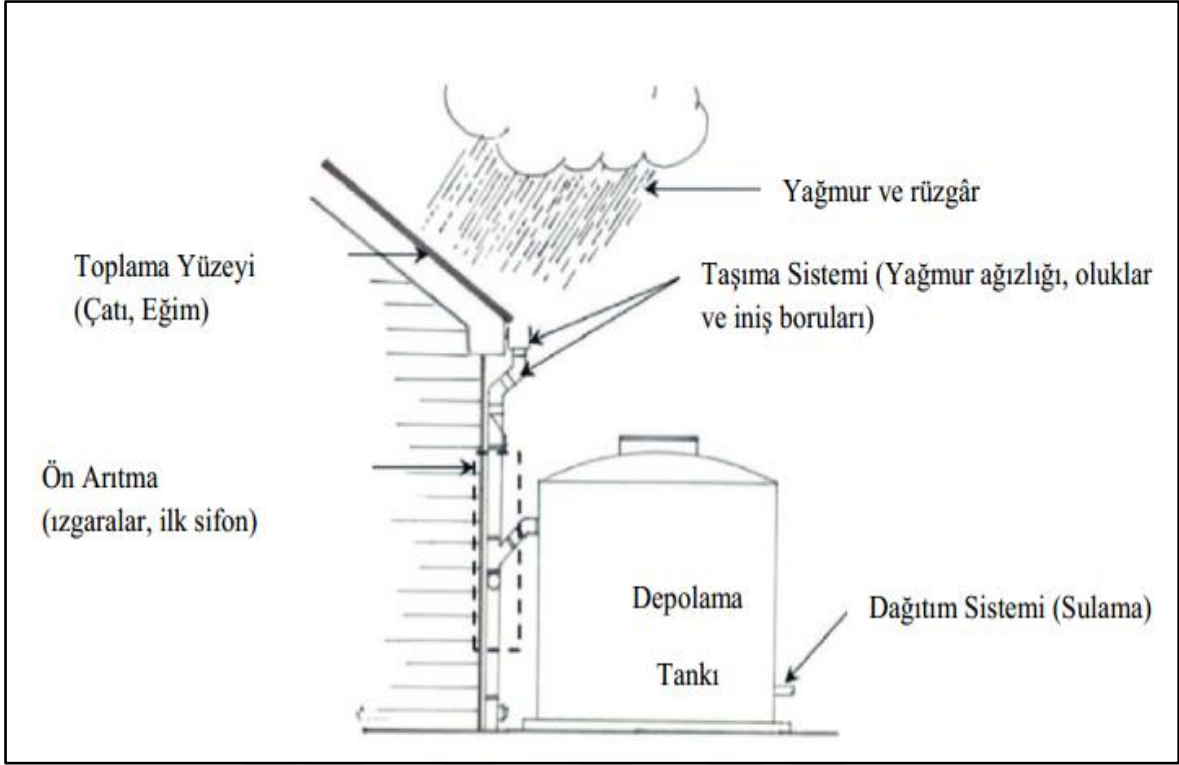
Depolama işleminden sonra dikkat edilmesi en önemli husus, depolanmış suyun hijyenik bir şekilde muhafaza edilmesidir. Çeşitli kirleticilerin depolanmış suya zarar vermesini önlemek amacıyla depoya gerekli muhafaza elemanları (ızgara, kapak vb.)

entegre edilmelidir. Depo tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de tasarımın ekonomik olmasıdır. Ekonomik bir tasarım için ilk kurulum ve bakım maliyetlerinin minimize edilmesi gerekir. Depo mümkün olduğunca yağmur suyunun toplandığı alana yakın olması gerekir.



Şekil 3.3. Yağmur suyu için depolama tankı (URL- 7, 2024).

Taşıma: Yağmur suyunun kendi cazibesi ile veya pompa vasıtasıyla toplanma alanına iletilmesidir. Toplanan yağmur suyu kendi cazibesiyle iletildiğinde pompa gibi sistem elemanı ihtiyacı olmamaktadır. Sisteme pompa entegre edildiğinde depolanmış su binaya basılarak iletimi sağlanabilir (Üstün ve ark., 2020).



Şekil 3.4. Yağmur suyu toplama sistemlerinin bileşenleri (Üstün ve ark., 2020)

Su arıtma: Yağmur suyu toplama alanından elde edilmiş su içerisinde bulunan kirleticilerin uzaklaştırılması amacıyla uygulanan sistemdir. Bina içi kullanım amacına uygun şekilde tasarlanmalıdır. Depolanan su içme suyu olarak kullanılması halinde arıtma ve filtrasyon işlemi daha ayrıntılı ve maliyetli bir tasarım gerektirirken, bu amaçla kullanılmayıp sadece temizlik maksadıyla kullanılması halinde tasarım daha ekonomik ve basit olmaktadır. Hasat edilmiş yağmur suyu içeriğinde bulunan ve istenmeyen katı inorganik veya organik atıkların bertaraf edilebilmesi için çöktürme işlemine tabi tutmak gerekmektedir. Bu amaçla filtreler kullanılmaktadır. Bu filtrelerde dezenfeksiyon işlemini de gerçekleştirebilmek amacıyla çeşitli kimyasal maddeler de ilave edilebilmektedir (Üstün ve ark., 2020). Filtreleme amacıyla kullanılan en bilindik yöntemlerden biri klorlama işlemidir.

Filtreleme sistemi teknolojileri Tablo 3.1’de gösterilmiştir (Üstün ve ark., 2020).

Tablo 3.2. Arıtma teknolojileri (Üstün ve ark., 2020).

Yöntem	Yer	Sonuç
Izgara/Süzgeç		
Çeşitli süzgeç tipleri	Başlıklar/oluklar	İstenmeyen kalıntıların depoya girmesi engellenir.
Çökeltme		
Çökeltme	Depolama tankı içinde	Partikül madde giderimi
Filtrasyon		
Sıra dışı çoklu kartuş	Pompadan sonra	Tortu elekten geçirilir
Aktif karbon	Muslukta	Klor uzaklaştırma
Ters Ozmos	Muslukta	Kirleticiler (İyon ve Metaller) uzaklaştırma
Karışık medya	Aynı tank	Partikül madde giderimi
Yavaş kum filtrasyonu	Aynı tank	Partikül madde giderimi
Dezenfeksiyon		
Kaynama /Damıtma	Kullanımdan önce	Mikroorganizma giderimi
Kimyasal arıtma (klorlama veya iyotlama)	Tank içinde veya pompada	Mikroorganizma giderimi (sıvı, tablet veya granülü halde)
UV	Aktif karbon filtresinden sonra	Mikroorganizma giderimi
Ozon	Musluktan önce	Mikroorganizma giderimi

3.3. Yağmur Suyu Toplama Miktarına ve Depolama Alanına Etki Eden Faktörler

Belirli bir alandan toplanabilecek su miktarını birçok parametreye göre değişkenlik gösterir. Bu parametrelere göre depolama alanı ihtiyacı belirlenebilir ve parametrelerin değişkenliğine bağlı olarak hesaplanacak depo hacmi de değişmektedir. Parametrelerden bazıları aşağıda açıklanarak ifade edilmiştir.

3.3.1. Yağış Miktarı

Çatı veya teras gibi alanlardan toplanarak elde edilen yağmur suyu miktarı, suyun toplandığı alana düşen toplam yağış ve suyun toplandığı alanın büyüklüğü ile doğru orantılıdır.

$$\text{Top. su miktarı (L)} = \text{Çatı alanı (m}^2\text{)} \times \text{yağış miktarı (mm)} \times \text{kayıp katsayısı (0,8-0,95)} \quad (3.2)$$

Yağış miktarı her ne kadar Eşitlik (3.2)'ye göre gibi hesaplansa da belirli bir verim eldesine göre kullanılabilecek su miktarı da değişmektedir. Toplanan yağışın ne ölçüde bir verim ile kullanılabileceği ise Eşitlik (3.3) ile ifade edilmiştir (İncebel, 2012).

Yağışın şiddeti bilindiği zaman, birim alandan oluşan debi “yağış verimi” olarak adlandırılır (Demir, 2012).

$$I(\text{lt/sn/ha}) = 166,67 \times i \quad (3.3)$$

$$I = \text{Yağış Verimi, L/sn/ha}$$

$$i = \text{Yağışın Şiddeti, mm/dk}$$

3.3.2. Yağış yoğunluğu

Birim alana belirli bir zaman aralığında düşen yağmur suyu miktarını belirten ifadeye yağış yoğunluğu denir. Yağış yoğunluğu yağmur suyu hasadı tasarımında kullanılacak sistemlerin kapasitesini belirlemeye yardımcı olur, suyun toplanacağı depoya suyun iletimini sağlayan taşıyıcı sistemlerin boyutları ve kapasitesi buna bir örnektir. Yağış yoğunluğu bu taşıyıcı ve iletili sistemin kapasite hesabının yanında sistemin ne kadarlık bir yükü karşılayabileceğinin hesabına da katkıda bulunur.

3.3.3. Yağış deseni

Yağış deseni, coğrafyaya göre değişen yağış tip ve şekilleri olarak ifade edilebilir. Bulunulan konuma göre yağış sürekli ve yaklaşık miktarlarda oluşurken farklı bir konumda yılın kısıtlı bir zamanında yoğun olarak gözlenen bir şekilde oluşur. Farklı coğrafya tiplerine göre değişen bu yağış deseni, yağmur suyu hasadı sistem elemanlarının ilk kurulum maliyetlerine, tasarım ve kapasitesine etki eden bir faktördür. Sistem tasarımına etki eden önemli bir parametre de yağış desenidir (İncebel, 2012).

3.3.4. Toplama alanı yüzölçümü

Yağmur suyu toplama alanı olarak yeşil bahçeler, çatılar, yağmur hendekleri gibi birçok farklı sistem vardır. Bunların yanı sıra bina alanları toplama yüzeylerinden olan çatı toplama alanı olarak değerlendirilebilecek alanlara teras veya balkon da örnek verilebilir. Bu gibi alanlar yağmur suyu toplama için değerlendirilebilecek sistem alanlarıdır (Üstün ve ark., 2020).

3.3.5. Kayıp katsayısı

Drenaj suyu, rüzgâr etkisi, çatı yıkama sistemi gibi nedenlerden dolayı yağın yağmurun tamamı depolanamamaktadır. Bu nedenle çatı yağmur suyu toplama sisteminin hesapların kayıp katsayısı (C_r) çarpan olarak eklenmektedir (Eşitlik 3.4). Çatı türlerine göre farklı kayıplar Tablo 3.3’de verilmiştir (İncebel, 2012).

$$C_r = \frac{T_s}{Y_s} \quad (3.4)$$

T_s :Toplanabilen su miktarı(litre)

Y_s :Çatı alanına göre toplanması hesaplanan yağmur suyu

Tablo 3.3. Çatı malzemesine göre kayıp katsayıları görülmektedir (İncebel, 2012).

Su Toplama Alanı Materyali	Materyalin Kayıp Katsayısı (C_r)
Saç -Levha	0,80-0,85
Beton Çatı	0,62-0,69
Kiremit (Makine Yapımı)	0,30 0,39

3.6. Yağmur Suyunun Depolanma Yöntemleri

Yağmur suyu toplandıktan sonra çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanıma hazır olması için öncesinde tutulduğu yer olarak depolama alanları karşımıza çıkmaktadır. Yağmur suyu; çatılardan veya geçirimsiz yüzeylerden toplandıktan sonrasında yer altı veya yer üstü depolama alanlarında muhafaza edilmektedir. Kullanım alanına göre depolanmış su arıtma işleminden de geçirilebilmektedir.

Yağmur suyu toplama sistemi içerisinde maliyeti en yüksek olan kısım depolamadır (Can 2020). Depolama işlemi yer altı ve yer üstü yapılarda yapılmaktadır. Yer üstü depolama yapılarına örnek olarak variller, su depoları, göletler, konteynerler, su tankları örnek olarak gösterilebilir. Genellikle yer üstü depolama alanları çatı yüzeyinden elde edilmiş yağmur suyunun depolanmasında kullanılmaktadır. Yer üstü depolama alanlarına örnek olarak sızma çukurları, bekletme ve geciktirme havuzları, göletler gibi yapılar örnek olarak gösterilebilir. Yapay olarak yağmur suyunu yüzeyden toplayıp tutan gölet ve havuz gibi yapılar peyzaj sistemleri dâhilinde yer almaktadır. Göletler akıp giden yüzey suyunu depolama olanağı sağlayan rezerv alanlarıdır. Biriktirilen su daha sonra ihtiyaca göre biyolojik çeşitliliği artırma (su kültürü yaratma), içme suyu veya sulama amaçlı kullanılabilir (Studer ve Liniger 2013). Bu teknik, akışın niceliksel kontrolüne, hacmin bir kısmının bir depolama havzasında tutulmasına ve alıcı su kütlelerine taşınan yaygın kirliliği azaltarak su kalitesi kontrolüne olanak sağlamaktadır (Petterson ve ark., 2016; Macedo ve ark., 2019; Studer ve Liniger, 2013).

Yer altı depolama sistemleri yer üstü depolama sistemleri ile benzerlik göstermektedir. Depolama yapıları olarak yer altında da tanklar, variller veya bekletme hazneleri örnek olarak gösterilebilmektedir. Yer altı depolama alanlarında depolanmış su ihtiyaç dahilinde kullanıma sunulması için bina içine taşınmada pompa gibi yardımcı sistem elemanları gerekmektedir. Yer altı depolamada yüzeyde kullanılabilir bir alan işgal edilmediğinden yer sıkıntısı oluşmamaktadır.

Yer altı depolamanın dezavantajları da mevcuttur. Herhangi bir sızıntı veya arıza tespiti yapmak zordur ve buna bağlı depolanmış suyun yeraltı sularından veya taşkınlardan kirlenmesi muhtemeldir. Depolamanın yapıldığı yer de önem arz etmektedir (Can 2020).

4. MATERYAL METOT

4. 1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada Munzur Üniversitesi Aktuluk Yerleşkesinde yağmur hasadı ile toplanabilecek su miktarı tespit edilmeye çalışılmıştır. Tunceli İli tümüyle Fırat Havzası içerisinde kalmakta olup doğal sınırlarla kuşatılmış rakımı yüksek bir bölgedir. Doğu Toros Dağlarının uzantıları doğu-batı yönünde uzanarak ilin kuzeybatısını, kuzeyini ve kuzeydoğusunu hemen hemen bütünüyle kaplar. Bu dağlar aşılması güç sıralar oluşturduğu için Tunceli, Türkiye'nin doğu ucunda Iğdır Ovasından başlayıp Erzincan Ovasına kadar uzanan verimli çöküntü alanıyla bütünleşememiştir. Bu dağlar, yer yer hem yüzey suları ile aşınarak hem de akarsular tarafından derince oyularak yüksek platolara dönüşmüştür. Vadiler çok dar ve dik olup vadi tabanlarında ovalar oluşmamıştır.

Bu çalışmada Munzur Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan yeşil alanların sulanmasında ve rezervuarlarda bina çatılarından toplanacak yağmur sularının kullanım potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Munzur Üniversitesi Aktuluk Kampüsünün oldukça büyük olması ve binaların alan içerisinde dağınık şekilde bulunmasından dolayı toplamda 13 bölgeye ayrılmıştır. Bölümlendirilerek ayrılmış bu alanların her biri içerisinde yer alan binaların toplam rezervuar adetleri ve bu bölgelerdeki sulanacak alanların su ihtiyacı tespit edilmiştir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan aylık yağış verileri kullanılarak her bir binadan toplanacak yağmur suyu miktarları hesaplanmıştır. Yağmur suyu sürdürülebilirliğine katkıda bulunan sistemlerden biri olan çatılardan yağmur suyu hasadı yöntemi ile hasat edilen yağmur suyunun, her bir bölgenin yukarıda bahsedilen ihtiyaçlarının yaklaşık olarak ne kadarını karşılayabileceğinin, kullanılan bazı formül ve hesaplamalar ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. Munzur Üniversitesi Kampüsünün ve binaların konumları ile yeşil alanlar Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Munzur Üniversitesi Aktuluk Kampüsü (URL-8, 2024)

4.2. Meteorolojik Veriler

Meteoroloji İstasyonları tarafından, yıllarca günlük olarak düzenli bir şekilde ölçülen yağış verileri, arşivlenerek sistemlere kaydedilmektedir. Yağış verilerinin ölçümü, yağış ölçüm aletleri (Plüviyometre, Plüviyograf) aracılığıyla meteoroloji istasyonları tarafından yapılmaktadır. Çalışmamızda, analizde kullandığımız veriler, enlem değeri 39-1058 enlem ve 39-5408 boylam olmak üzere 981 metre rakımda bulunan 17165 numaralı Tunceli Merkez Meteoroloji Rasat İstasyonunda elde edilen verilerdir.

Analiz verileri, Ocak 2012'den Aralık 2023 tarihine kadar olan 12 yıllık veriyi kapsamaktadır.



Şekil 4.2. Tunceli konum haritası

5. BULGULAR

Yapılan bu çalışmada; Munzur Üniversitesi Aktuluk Kampüsü'nde yağmur hasadı ile toplanabilecek su miktarı tespit edilmiştir. Böylelikle toplanabilecek yağmur suyu miktarı belirlenerek bu suyun rezervuarlarda ve arta kalan kısmının da sulamada kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Munzur Üniversitesi çalışma alanı bölgeleri Google Earth uygulaması kullanılarak çizim yöntemi oluşturulmuş olup Şekil 5.1'deki gibi bölümlendirilmiştir.



Şekil 5.1. Munzur Üniversitesi çalışma alanı bölgeleri

Toplamda 13 adet bölgeye ayrılmış Munzur Üniversitesi Kampüsü içerisinde yer alan binalar ve bu tez kapsamındaki hesaplamalar için gerekli olan çatı alanı, yeşil alan ve binalara ait sayısal verilere Şekil 5.2'de de yer verilmiştir.

Temin edilen bilgiler ışığında üniversitedeki toplam bina adedi, bölgelendirilmiş alanlara ait toplam sulama alanı ve toplam çatı alanı verileri tespit edilmiştir. Hesaplamalar bölge bazında yapılacağı için hangi bölgelerde hangi binalar ve her binaya ait çatı alanı bilgileri Tablo 5.1'de görülmektedir. Kampüs alanı içerisinde toplamda lojmanlar hariç 26 adet bina bulunmaktadır. Bu binaların dışında kalan alanların çoğunluğunu yeşil alanlar ve yollar oluşturmaktadır.

Merkez Aktuluk Yerleşkesi toplam açık alan	517.802, 53 m ²
Çimlendirilmiş ve sulama projesi olan Alan	120.000.00 m ²
Ağaçlandırılmış alan	60.000.00 m ²
Merkez Aktuluk Yerleşkesi toplam inşaat kapalı alanı	152.522.00 m ²
Merkez Aktuluk Yerleşkesi toplam çatı alanı	52.770.00 m ²



Şekil 5.2. Munzur Üniversitesi kampüs alanının bölümleri

Tablo 5.1. Munzur Üniversitesi bina bilgileri

MUNZUR ÜNİVERSİTESİ BİNA BİLGİLERİ				
BİNA	AKTULUK KAMPÜSÜ	KİŞİ SAYISI	ÇATI ALANI	REZERVUAR ADETİ
1	İdari Birimler Binası	140	1520	15
2	Ar-Ge Lab. Binası	100	2800	17
3	Eğitim Öğr. Lab. Binası	100	2400	17
4	Meslek Yüksek Okulu	1100	3000	17
5	Yemekhane	1500	1700	18
6	Mühendislik-Spor	500	3000	29
7	Boş Bina	-	2500	-
8	Edebiyat Fakültesi	950	3000	28
9	Güzel San. Fakültesi	700	2600	28
10	Sağlık-İletişim	300	3000	28
11	Kütüphane	750	3000	18
12	Kültür Merkezi	1000	3100	18
13	Rektörlük İdare Binası	15	1200	12
14	MUNTEAM Binası	30	2000	15
15	Misafirhane	50	2200	48
16	Rektörlük Konutu	5	400	2
17	Isı Merkezi	5	650	0
18	Sosyal Yaşam Merkezi	70	1200	6
19	Spor Salonu	1000	2400	6
20	Yüzme Havuzu	10	1300	9
21	Kreş	150	1000	13
22	3+1 Lojmanlar	200	2560	48
23	1+1 Lojmanlar	30	1280	48
24	2+1 Lojmanlar	150	2560	48
25	Gençlik Evi	5	150	2
26	Garaj Amirliği	2	750	4

Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından Tunceli iline ait son 12 yıla ait her bir ayın mm cinsinden yağış miktarları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Tunceli ili aylık yağış miktarı, mm/m²

TUNCELİ İLİ AYLIK YAĞIŞ MİKTARI, mm/m²												
YILLAR/ AYLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2012	189,0	150,2	61,9	78,1	84,7	11,0	3,9	0,1	14,6	35,2	80,5	336,0
2013	160,0	91,9	73,6	69,2	69,7	0,4	-	-	17,7	18,8	79,7	23,9
2014	108,7	49,3	90,5	93,9	36,7	27,2	3,9	1,6	59,7	68,8	86,3	85,0
2015	163,5	136,0	207,0	46,8	67,9	3,7	-	2,1	-	102,4	21,6	57,7
2016	163,7	122,2	90,8	58,6	89,4	15,8	5,8	11,3	52,2	0,9	36,1	149,0
2017	81,2	7,3	94,3	119,2	105,4	3,9	-	5,6	-	55,4	98,0	70,1
2018	166,7	63,4	67,3	7,3	129,6	29,6	4,4	0,5	9,8	113,3	68,2	279,8
2019	165,0	110,3	150,4	172,8	50,8	20,1	10,6	8,9	2,6	24,1	32,9	183,6
2020	85,2	87,3	167,9	66,5	101,2	3,5	0,7	-	5,9	0,9	99,8	92,4
2021	132,5	10,8	124,4	13,4	5,3	1,7	1,2	14,1	8,1	94,4	89,4	98,2
2022	171,4	78,7	141,6	25,9	67,5	20,3	-	0,2	22,5	13,8	109,4	35,4
2023	32,3	95,0	239,0	176,4	99,1	17,0	11,7	0,8	-	124,0	151,3	-
TOPLAM	1045,2	604,9	711,6	808,7	795,8	640,4	939,9	932,1	711,3	593,5	686,7	946,6
ORTALAMA	87,1	50,4	59,3	67,4	66,3	53,4	78,3	77,7	59,3	49,5	57,2	65,4

Bina çatı yüzeylerinden ne kadar yağmur suyunun toplanabileceğinin hesabı Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2'den yola çıkılarak Eşitlik 5.1'e göre yapılmıştır. Bu eşitliğe göre çatıdan toplanabilecek yağmur suyu miktarı (L/sa)'nın tespit edilebilmesi için her bir bölgedeki çatı alanları (m²); çatı katsayısı, filtre etkinlik katsayısı ve yıllık ortalama yağış miktarı ile çarpılmıştır.

Çatı Yağmur Suyu Miktarı (L/sa)= Çatı alanı * Çatı katsayısı * Filtre etkinlik kat. * Yıllık ortalama yağış miktarı

(5.1)

Bu eşitlik hesaplanırken Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen toplam yıllık ortalama yağış miktarı dikkate alınmalıdır. Yapılan çalışmada da Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından Tunceli iline ait son 12 yıla ait her bir ayın mm cinsinden yağış miktarları temin edilmiştir ve buna göre yıllık yağış miktarı 784,7 mm olarak hesaplanmıştır.

Alman standardı DIN1989'da çatı katsayısı 0,8 olarak belirtilmiştir. Çatı katsayısı, çatıya düşen bütün yağmurun geri dönüştürülemeyeceğini ifade etmektedir. Çatı kayıp katsayısı çatıda kullanılan materyalin cinsine göre değişiklik gösterdiğinden kullanılan çatı çok farklı çatı malzemelerinden oluşturuluyorsa bu değer yeniden gözden geçirilmelidir.

Alman standartları tarafından DIN1989'da belirtilen bir başka katsayıda filtre etkinlik katsayısıdır. Tavsiye edilen değer; 0,9'dur. Çatıdan elde edilen yağmur suyunun, görünen katı maddelerden ayrıştırılması için geçirilen ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır. Suyun bir miktarının buradan geçemeyeceği hesaplanarak verilen bir katsayıdır (URL-9, 2024).

Belirlenen değerler sonrasında Eşitlik 5.1. sadeleşerek Aşağıdaki şekle dönüştürülmüştür.

Çatı Yağmur Suyu Mik. (m³)= Çatı alanı (m²)*0,9*0,8*Yağış mik. (yıllık, mm) (5.2)

Saat cinsinden yıllık yağış miktarı=784,7/(12 x 30 x 24)=0,09074 litre/ m².saat

Yıllık yağış miktarı veri olarak kullanıldığında, saat cinsinden yıllık yağış miktarını bulabilmek için 784,7 mm değeri 12 ay, 30 gün ve 24 saate bölünmüştür. Sonuç olarak 0,09074 litre/ m².saat değeri bulunmuştur. Çatı yağmur suyu hesabı için gerekli olan bu değer: çatı alanı, filtre etkinlik katsayısı ve çatı katsayısı ile çarpıldığında çatıdan toplanan suyun miktarı litre/saat cinsinden değeri Tablo 5.3'te sütun 4'de "Çatıya Gelen Yağmur

Suyu Miktarı” sütununda her bir bölgedeki bina çatı alanlarına göre teker teker hesaplanmıştır. Tablo 5.3’de sütun 5’de ise çatıya gelen günlük yağmur suyu miktarı $m^3/gün$ cinsinden verilmiştir.

Rezervuar su ihtiyacı, TS 1258 standardına göre bir kişinin günlük tükettiği su miktarı olan, 45 L/gün’ün yaklaşık % 30’u olarak alınmıştır. Dolayısıyla 13,5 L/gün olarak hesaba katılmıştır. Bu değer her bir bölgede bulunan kişi sayısı ile çarpılarak Tablo 5.3’de Sütun 7’de verilmiştir. Sütun 8’de bulunan bu değer $m^3/gün$ olarak çevrimi bulunmaktadır. Sütun 9’da ise $m^3/gün$ olarak tespit edilen hacmin 30 ile çarpılmasıyla 1 aylık kullanım için depo kapasitesi m^3 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.3’de Sütun 10’da yer alan hasat edilen /İhtiyaç kısmında ise ihtiyaç duyulan su hacmi, sütun 5’de hesaplanan çatıya gelen yağmur suyu miktarı yazan değerden küçük ise rezervuar için ihtiyaç duyulan su miktarının tamamı karşılanacağından %100 olarak yazılmıştır. Küçük olması durumunda ise hasat edilen değer, çatıya gelen yağmur suyu miktarı değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.

Bölge bazında bakıldığında 1. 2. 3. 8. 9. 10. ve 11. Bölgelerdeki rezervuarlar için bir günlük yağış miktarı yeterli olmaktadır. Bu kısım hasat edilen /ihtiyaç sütununda %100 olarak belirtilmiştir. 4. 5. 6. 7. 12. ve 13. Bölgelerde ise rezervuar için ihtiyaç olarak hesaplanan su miktarını sırası ile %41,82, %67,18, %65,03, %40,45, %52,28 ve %13,18 oranında ancak yağmur suyu ile karşılanabilecektir. Bu bölgelerde rezervuar için gerekli olan su deposu hacmi ise bir aylık kullanım için m^3 cinsinden hesaplanmıştır. Yapılan tüm hesaplamalar Tablo 5.3’de görülmektedir. Tablo 5.4, Tablo 5.3’ün devamı niteliğinde olup rezervuar için gerekli su miktarı çatıdan toplanan toplam yağmur suyundan çıkarıldıktan sonra kalan suyun sulama alanlarının günlük su ihtiyacını ne derece karşılayabileceğini değerlendirmek için oluşturulmuştur. Sulama alanları su ihtiyacının hesaplanmasında her bir sulama için su miktarı 5 L/ m^2 alınmıştır. Bölgelere ait olan sulama alanlarının bir günlük su ihtiyacı m^3 cinsinden hesaplanmıştır. Rezervuar kullanımından arta kalan su miktarını, sulama alanı ihtiyacı için gerekli olan su miktarına oranladığımızda, sulama için gerekli olan ihtiyacın yüzdesel olarak ne kadarının karşılandığı Tablo 5.4’de son sütununda verilmiştir. Toplam satırında yer alan değerlere bakıldığında rezervuar için ihtiyaç duyulan su miktarı karşılandıktan sonra sulama için ihtiyaç duyulan suyun karşılanabildiği kısmı sadece %3,47 olarak bulunmuştur. Buda hasat edilen su miktarının rezervuarlar için kullanımının yeterli olduğu ve sulama amacıyla kullanılacak ihtiyaç fazlasının da çok az olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.3. Bölgelere göre binalara ait çatı alanlarından toplanan su miktarları ve depo kapasiteleri

BÖLGE NO	BİNA ADEDİ	TOPLAM ÇATI ALANI (m ²)	ÇATIYA GELEN YAĞMUR SUYU MİKTARI (L/sa)	ÇATIYA GELEN YAĞMUR SUYU MİKTARI (m ³ /gün)	BÖLGEDEKİ KİŞİ SAYISI	HESAP (L/gün)	BİRİM ÇEVİRİ (m ³ /gün)	1 AYLIK KULLANIM İHTİYACI İÇİN DEPO KAPASİTESİ (m ³)	HASAT EDİLEN /İHTİYAÇ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	8	2560	167,251968	4,01	150	2025	2,03	60,75	%100
2	4	1280	83,625984	2,01	30	405	0,41	12,15	%100
3	10	4860	317,517408	7,62	360	4860	4,86	145,8	%100
4	2	5400	352,79712	8,47	1500	20250	20,25	607,5	%41,82
5	2	5500	359,3304	8,62	950	12825	12,83	384,75	%67,18
6	2	5600	365,86368	8,78	1000	13500	13,50	405	%65,03
7	2	6100	398,53008	9,56	1750	23625	23,63	708,75	%40,45
8	4	4100	267,86448	6,43	52	702	0,70	21,06	%100
9	2	1850	120,86568	2,90	75	1012,5	1,01	30,375	%100
10	2	2600	169,86528	4,08	55	742,5	0,74	22,275	%100
11	2	4320	282,237696	6,77	240	3240	3,24	97,2	%100
12	2	5400	352,79712	8,47	1200	16200	16,20	486	%52,28
13	1	1700	111,06576	2,67	1500	20250	20,25	607,5	%13,18
Toplam	43	51270	3349,612656	80,39	8862	119637	119,64	3589,11	

Tablo 5.4. Bölgelere göre binalara ait çatı alanlarından toplanan su miktarları, sulama alan ve ihtiyaçları

BÖLGE NO	BİNA ADEDİ	TOPLAM ÇATI ALANI (m ²)	ÇATIYA GELEN YAĞMUR SUYU MİKTARI (L/sa)	ÇATIYA GELEN YAĞMUR SUYU MİKTARI - REZERVUAR (m ³ /gün)	SULAMA ALANI (m ³)	SULAMA ALANI SU İHTİYACI (m ³)	HASAT EDİLEN / İHTİYAÇ
1	8	2560	167,251968	1,98	12640	63,2	%3,13
2	4	1280	83,625984	1	4740	23,7	%6,75
3	10	4860	317,517408	2,76	12640	62,5	%4,41
4	2	5400	352,79712	SU KALMAMIŞTIR	7900	39,5	%0
5	2	5500	359,3304	SU KALMAMIŞTIR	6320	31,6	%0
6	2	5600	365,86368	SU KALMAMIŞTIR	9480	47,4	%0
7	2	6100	398,53008	SU KALMAMIŞTIR	15800	79	%0
8	4	4100	267,86448	5,73	15800	79	%7,25
9	2	1850	120,86568	1,89	11060	55,3	%3,41
10	2	2600	169,86528	3,34	7900	39,5	%8,45
11	2	4320	282,237696	3,53	7900	39,5	%8,93
12	2	5400	352,79712	SU KALMAMIŞTIR	6320	31,6	%0
13	1	1700	111,06576	SU KALMAMIŞTIR	1500	7,5	%0
Toplam	43	51270	3349,612656	20,83	120000	598,6	%3,47

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Munzur Üniversitesi Aktuluk Kampüsü'nde yer alan bölgeler bazında ayrılmış kısımlardaki binaların çatılarından hasat edilebilecek yağmur suyu miktarlarının kampüs içerisindeki rezervuarlarda kullanılması ve kalan su ile bu bölgelerdeki sulama alanlarının sulanmasında kullanılabilmesi için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bu amaçla projenin uygulanabilir olması açısından üniversite kampüsü toplamda 13 adet bölgeye ayrılmıştır. Her bir bölgede yer alan binaların çatı alanları hesaplanmış ve Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü' den alınan Tunceli İline ait son 12 yılın ortalama yıllık yağış değeri kullanılarak her bir binadan toplanabilecek yağmur suyu miktarları tespit edilmiştir. Ayrıca her bir bölgedeki sulanacak alanların miktarı ve yağmur suyu ihtiyacı hesaplanarak, toplanan yağmur suyunun rezervuar kullanımından arta kalan miktarı ile bu ihtiyacın ne kadarını karşılayacağı yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Bölgelere ayrılmış alanlar için yapılan hesaplamalar bir günlük ihtiyaç için belirlenmiş olup, depo hacmi ise ihtiyaca binaen bir aylık olarak hesap edilmiştir.

Bu tez kapsamında sonuçlar değerlendirildiğinde Tunceli ili yağış miktarı ve kampüs su ihtiyacı hesaplarda da görüldüğü üzere sulama alanı için gerekli su ihtiyacını karşılamada çok yetersiz kalmıştır öyle ki tüm bölgeler için toplam su ihtiyacının %3,47 karşılanabilmektedir. Dolayısı ile çatılardan toplanan suyun bölgeler bazında yalnızca rezervuarlar için kullanılması projenin uygulanabilirliği açısından daha uygun görülmektedir. Depo hacmi değerlendirildiğinde ise maliyet açısından 30 günlük veya 15 günlük depo hacmi yeterli olacaktır.

Sürdürülebilir yağmur suyu yönetim sistemlerinden biri olan çatılardan yağmur suyu hasadı sistemi, Munzur Üniversitesi kampüsü kapsamında ele alınmıştır. Su fakiri olarak değerlendirilen ülkemizde mevcut su kaynaklarından tasarruf büyük önem arz etmektedir. Sınırlı olan su kaynaklarımızda tasarruf sağlanması amacı ile çatı alanlarından toplanan yağmur suyunun bina rezervuarlarında kullanılması ile şebeke suyundan tasarruf edilmesi amaçlanmıştır. Yeşil bina konseptlerin de ele alınan çatılardan yağmur suyu hasadı, kısıtlı doğal kaynakların sürdürülebilirliğine katkıda bulunan sistemlerden biri olmuştur. Bu sistemlerin geliştirilip uygun yapıdaki binalara entegrasyonu sağlanarak doğal su kaynağı rezervleri üzerinde oluşan baskı azaltılabilecektir.

Su kıtlığı ile karşı karşıya kalınması muhtemel bölgelerde, geleceğe yönelik ve şimdiki zamanı da ele alacak şekilde yağmur suyu yönetim sistem ve projeleri geliştirilmeli çeşitli devlet destekleri, yasal düzenleme ve teşvikleriyle beraber nüfusa göre projelendirme çalışmaları yapılmalıdır. Her bir ilin yağış profilleri belirlenip bu profillere göre yağmur suyu hasadı yapılabilmesine olanak tanıyan şehir bazında yapısal düzenleme sistemleri kurulup il belediyeleri tarafından yeni yapılacak binaların yağmur suyu hasadı ve su tasarrufu belgesi veya ruhsatı alabilmesi sağlanmalıdır. Böylece kontrollü bir şekilde denetimlerle yeşil bina çalışmaları yaygınlaştırılmalı ve çatı alanları büyük binalar ve toplu yapılaşma alanlarının bulunduğu bölgelerde bu sistem zorunlu hale getirilmelidir. Mimari tasarımlar, bir amacı da su tasarrufu olarak geliştirilmeli gerekli akademik eğitimler ve halkın bu konuda bilgilendirilmesi suretiyle genel bilinçlenme oluşturulmalıdır. Yağmur suyu hasadı için gerekli olan sistem elemanlarının pazar ağı genişletilmeli, bu pazarın gelişimi için teşvik ve devlet destek programları oluşturulmalıdır. Çatı alanlarında yağmur suyu hasadı tekniği yukarıda da önerilen sistemler için bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlere global anlamda önem kazandırılıp ön plana çıkarılmalı ve tatlı su kaynaklarına alternatif oluşturan sürdürülebilir sistemler geliştirilmelidir. Kısıtlı olan su kaynaklarımızı koruma altına almak ve gelecek nesillerin su ihtiyacının karşılanabilmesi ancak sürdürülebilir sistemler ile mümkün olacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Akaydın Sel, K.**, 2017. Yağış sularının konut ölçeğinde sürdürülebilir tasarım kapsamında incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Haliç Üniversitesi, İstanbul, 77s.
- Akbostancı, E., Tunç, G. İ., Türüt-Aşık, S.**, 2023. Virtual water flows of Turkey's agricultural products: A gravity approach. *Journal of Cleaner Production*, Volume 420, 25 September 2023, 138453.
- Arslan, O.**, 2008. Yağış-yeraltısuyu ilişkisi modellerinin değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 90s.
- Aslan, B.G., Yazıcı, K.**, 2016. Yeşil altyapı sisteminde mevcut uygulamalar. *Ziraat Mühendisliği*, Sayı 363, 31-37.
- Avdan, Yiğit, Z., Yıldız, D., Çabuk, A.**, 2015. Yağmur suyu yönetimi açısından yeşil altyapı sistemlerinin değerlendirilmesi. *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 28-30 Mayıs, s.733-740.
- Ayçam, İ., Kınalı, M.**, 2013. Ofis binalarında yeşil çatıların ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkilerinin analizi. *Tesisat Mühendisliği*, 135:26-34
- Aydoğdu, H.**, 2018. Kentsel yağmur suyu yönetimi yaklaşımları ve yağmur bahçeleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 35s.
- Balasbaneh, A. T., Sher, W., Madun, A., Ashour, A.**, 2024, Life cycle sustainability assessment of alternative green roofs – A systematic literature review. *Building and Environment*, Volume 248, 15 January 2024, 111064.
- Barbosa, A.E., Fernandes, J. N., David, L. M.**, 2012. Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research*, 46,20:6787-6798.
- Bayramoğlu, E., Demirkır, M. G.**, 2020. Sürdürülebilir peyzaj kavramında kentsel altyapı sistemi: Trabzon sahil örneği. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 16(2):134-147
- Beyhan F., Erbaş, M.**, 2013. A Study on green roofs with the examples from the world and Turkey, *Gazi University Journal of Science (GUJS)* , Vol.26, No.2, pp.303-318, 2013
- Buchanan, B., Easton, Z. M., Schneider, R. L., Walter, M. T.**, 2013. Modeling the hydrologic effects of roadside ditch networks on receiving waters. *Journal of Hydrology*, Volume 486, Pages 293-305
- Buçak, G.**, 2015. Kırklareli'nde evsel su kullanımı ve korunumuna yönelik bir uygulama önerisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, 128s.

- Bulc, T. G., Klemencic, A. K., Razinger, J.** 2010. Vegetated ditches for treatment of surface water with highly fluctuating water regime. *12th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, October 4-8, 2010, Venice, Italy
- Bulut Karaca, B.,** 2020. Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinin Türkiye’de yaygınlaşmama nedenleri üzerine bir araştırma. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 5(2): 403-422.
- Can, C.** 2020. Yağmur suyu hasadı. *Bitirme projesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 44 s.
- Coşkun Hepcan, Ç.,** 2019. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi. 12. *Kentlerde İklim Değişikliği İle Mücadele İçin Yeşil Altyapı Çözümleri*, Ankara.
- Çakıroğlu, G.,** 2011. Peyzaj tasarımında su tasarrufuna yönelik güncel uygulamaların irdelenmesi: İstanbul örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 174s.
- Çalışma Grubu Raporu,** 2018. On birinci kalkınma planı (2019- 2023), *Çevre ve doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi çalışma grubu raporu*, Ankara.
- Çetinkaya, G.,** 2014. Kentsel peyzaj ekolojisinin sürdürülebilirliği için yenilikçi bir yaklaşım: Yeşil altyapı ve planlama politikası. *İdeal Kent*, 12, 218-245.
- Demir, D.,** 2012. Konvansiyonel yağmursuyu yönetim sistemleri ile sürdürülebilir yağmursuyu yönetim sistemlerinin karşılaştırılması: İTÜ Ayaz Ağa Yerleşkesi örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 191s.
- Demirezen, K. İ.,** 2019. Sızdırma hendeğinin hidrolojik performansının deneysel ve sayısal modeller ile değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 95s.
- Dhakal, K. P., Chevalier, L. R.,** 2017. Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application. *Journal of Environmental Management*, 203,(1):171181.
- Díaz-Vazquez, D., Camacho-Sandoval, T., J Reynoso-Delgadillo, J., Gomez-Ayo, N. A., Macías-Calleja, M. G., Martínez-Barba, M. P., Gradilla-Hernandez, M. S.,** 2023. Characterization and multicriteria prioritization of water scarcity in sensitive urban areas for the implementation of a rain harvesting program: A case study for water-scarcity mitigation. *Urban Climate*, Volume 51, September 2023, 101670
- Ekinci, B.,** 2015. Su kaynaklarının verimli kullanılmasına yönelik örnek ülke uygulamaları ve ülkemizde bu çalışmaların uygulanabilirliği. *Uzmanlık Tezi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Ekşi, M.,** 2012. Yeşil çatı sistemlerinin su ve enerji dengesi açısından değerlendirilmesi: İstanbul örneği. *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 126s.

- Ekşi, M., Yılmaz, M., Özden, Ö.,** 2016. Yağmur bahçelerinin nicel değerlendirilmesi: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi örneği. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*,31,(4):1113-1123.
- Eren, B., Aygün, A., Likos, S., Damar, A. İ.,** 2016. Yağmur Suyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüs Örneği, *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5November 2016 (ISITES2016 Alanya/Antalya*, s: 487-494.
- Erkul, E.,** 2012. Yeşil çatı sistemlerinin yapım açısından irdelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 32s
- Farreny, R., Morales-Pinzo'n, T., Guisasola, A., Taya`, C., Rieradevall, J., Gabarrell, X.,** 2011. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research*, 45, 3245 -3254.
- Glendenning, C.J. Van Ogtrop F.F., Mishra, A.K., Vervoort R.W.,** 2012. A Balancing watershed and local scale impacts of rain water harvesting in India—A review. *Agricultural Water Management*, Volume 107, May 2012, Pages 1-13
- Harb, R.,** 2015. Assessing the potential of rainwater harvesting system at the Middle East Technical University – Northern Cyprus Campus. *Yüksek lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 142s.
- İncebel, C.,** 2012. Alternatif su kaynaklarının endüstriyel kullanıma kazandırılması için çatı yağmur suyu hasadı (Ostim Örneği). Gazi Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 156s.
- Kahraman, Ö., Aktaş, M., Yurtsever, N.,** 2018. Çatı ve dikey bahçeler bakımından Çanakkale ve kent merkezinin değerlendirmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fak. Dergisi*, 2018, 6:153-159.
- Kantaroğlu, Ö.,** 2009. Yağmur suyu hasadı plan ve hesaplama prensipleri. IX. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 06-09 Mayıs 2009, s. 1147-1151.
- Karadağ, A. A.,** 2007. Katılımcı havza yönetim modelinin oluşturulması: Kovada Gölü örneği. *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Ankara, 240s.
- Karakurt Tosun, E.,** 2009. Sürdürülebilirlik olgusu ve kentsel yapıya etkileri. *Paradoks Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi*, yıl:5, sayı:2.
- Karpuz, O., Aydın, M. M., Tanrıverdi, T.,** 2015. Silis dumanı ve ince kumun poroz kaplama betonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi. 9. *Ulusal Beton Kongresi*. Nisan 2015.
- Kaylı, A., Güneş Gölbey, A.,** 2020.Yeşil altyapı ve yeşil bina bileşeni olarak kurakçıl peyzaj uygulamaları. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 57 (2):303-311.

- Konyalı Dereli, C., Çay, R.D., 2020.** Sürdürülebilir yağmursuyu yönetimi kapsamında yeşil altyapı sisteminin değerlendirilmesi: Fırınlarsırtı TOKİ Konutları (Edirne) yerleşimi için bir öneri. *Kent Akademisi, Kent Kültürü ve Yönetimi Dergisi*, 13(4): 668-687.
- Korkut, A., Gültürk, P., Üstün Topal, T., 2016.** Kentsel peyzaj yapılarında zemin geçirimsizliği üzerine bir araştırma: Tekirdağ örneği. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2016, 16 (2): 412-422.
- Kuzulugil , A. C., Aytatlı, B., Demircioğlu Yıldız, N., 2020.** Açık-yeşil alanlarda bir mimari yapıt: pavilion yapılar. *Inonu University Journal of Art and Design*, p:13-41
- Lancaster B., 2008.** Rain harvesting for drylands and beyond volume 2: water harvesting Earthworks. Rainsource Press, Tuscon. ISBN:978-0-9772464-1-0
- Lim, H. S., Lu, X. X., 2016.** Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program. *Journal of Hydrology*, 538:842-862.
- Macedo, M. B., Lago, C. A. F., Mendiando, E. M., Giacomoni, M. H., 2019.** Bioretention performance under different rainfall regimes in subtropical conditions: A case study in São Carlos, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 248, 109266.
- Madgundi, M. M., A Kumbhar, A. P., Lele, G. M., Komble, S. P., Marane, Y. H., Mate, A. R., 2023.** Design and investigation on rain saucer: The technique of roofless rainwater harvesting. *Materials Today: Proceedings*, Volume 72, Part 3, 2023, Pages 1084-1088
- Matos, C., Santos, C., Pereir, S., Bentes, I., Imteaz, M., 2013.** Rainwater storage tank sizing: Case study of a commercial building, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2, 109-118.
- Mengü, G. P., Akkuzu, E. 2008.** Küresel su krizi ve su hasadı teknikleri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2), 75-85.
- Mihalakakou, G., Souliotis M., Papadaki M., Menounou, P., Dimopoulos, P., Kolokotsa D., Paravantis J. A., Tsangrassoulis A., , Panaras, G., Giannakopoulos, E., Papaefthimiou S., 2023.** Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 180, July 2023, 113306.
- Monteiro, C.M., Mendes, A. M. Santos, 2023.** Green rRoofs as an urban NbS strategy for rainwater retention: Influencing factors - a review. *Water* 2023, 15, 2787.
- Muriu-Ng'ang' F.W., Mucheru-Muna, M., Waswac, F. Mairura, F.S, 2017.** Socio-economic factors influencing utilisation of rain water harvesting and saving

technologies in Tharaka South, Eastern Kenya. *Agricultural Water Management*, Volume 194, Pages 150-159.

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

Nachshon, U., Netzer, L., Livshitz, Y., 2016. Land cover properties and rain water harvesting in urban environments, *Sustainable Cities and Society*, Volume 27, November 2016, Pages 398-406.

Okaikue-Woodi, F. E. K., Cherukumilli, K., Ray, J.R., 2020. A critical review of contaminant removal by conventional and emerging media for urban stormwater treatment in the United States. *Water Research*, 187:116434.

Öztürk, M., 2017. Su geçiren beton ve asfaltlar. *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 18s.

Petterson, S. R., Mitchell, V.G., Davies, C.M., O'Connor, J., Kaucner, C., Roser, D., Ashbolt N., 2016. Evaluation of three full-scale stormwater treatment systems with respect to water yield, pathogen removal efficacy and human health risk from faecal pathogens *Sci. Total Environ.*, 543, pp. 691-702

Pouya, S., 2019. Evaluation of roof gardens as a recreation areas. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 2:1,40-49

Qiao, X. J., Kristofferrsson, A., Randrup, T. B., 2018. Challenges to implementing urban sustainable stormwater management from a governance perspective: A literature review. *Journal of Cleaner Productions*, 196:943-952.

Rashid, A. R. M., Bhuiyan, M. A., Pramanik, B., Jayasuriya, N., 2022. A comparison of environmental impacts between rainwater harvesting and rain garden scenarios, *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 159, March 2022, Pages 198-212

Saygın, N., 2017. Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi ve enerji. *İzmir Bölgesi Enerji Forumu 7-8 Nisan 2017*, İzmir.

Saygın, N., Ulusoy, P., 2011. Stormwater management and green infrastructure techniques for sustainable campus design. *Polietnik Dergisi*, 14:223-231.

Scholz, M., Trepel, M., 2004. Water quality characteristics of vegetated groundwater-fed ditches in a riparian peatland, *Sci Total Environment*, 332, 109-122.

Sepehri, M., Malekinezhad, H., Ilderomi, A. R., Talebi, A., Hosseini S. Z., 2018. Studying the effect of rain water harvesting from roof surfaces on runoff and household consumption reduction. *Sustainable Cities and Society*, Volume 43, November 2018, Pages 317-32.

Sert, E., 2013. Enerji etkin kentsel peyzaj tasarımında yağmur suyu. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 133s.

- Sevimli, A.**, 2021. Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi uygulamaları: Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 158s.
- Studer, R. M. Liniger, H.**, 2013. Water Harvesting, Guidelines to Good Practice, Centre for Development and Environment,
- Şahin, N. İ., Manioğlu, G.**, 2011. Binalarda yağmur suyunun kullanılması . *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 13-16 Nisan.
- T.C. Resmi Gazete**, 2018. Yağmursuyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında yönetmelik. sayı:30105, 23.06.2017.
- Tanık, A.**, 2017. Yağmur suyu toplama biriktirme ve geri kullanımı. *Su Kaynakları ve Kentler Konferansı*, Kahramanmaraş, 25-27 Ekim.
- Tanrıverdi, O., Aköz, M. S.**, 2020. Modern kentsel yağmursuyu drenaj uygulaması: Adana İli örneği. *Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt:39, sayı:4.
- Tavşan, F., Bahar, Z., Tavşan, C.** 2022. Sürdürülebilirlik kapsamında yağmur suyu toplama sistemli pavilyonlar. *Kent Akademisi*, 15(2), 896-915. <https://doi.org/10.35674/kent.936162>
- Temizkan, S., Tuna Kayılı, M.**, 2020. Yağmur suyu toplama sistemlerinde optimum depolama yönteminin belirlenmesi: Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi örneği. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(14):102-116.
- Temizkan, S.**, 2020. Kentsel ısı adası özelliği yüksek meydanlarda yağmur suyu hasadına yönelik uygun malzeme seçiminin araştırılması: KBÜ Sosyal Yaşam Merkezi Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Karabük, 127s.
- Tilt, J. H., Ries, P. D.**, 2021. Constraints and catalysts influencing green infrastructure projects in small cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 63, s:1-11.
- Tohum, N.**, 2011. Sürdürülebilir peyzaj tasarım aracı olarak “yeşil çatılar”. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, 69s.
- Topçu, Ö. B.**, 2019. geçirimli beton tasarımı ve zemin kaplama bloklarında kullanım olanaklarının araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 76s.
- Toy, İ.**, 2011. Antalya yağmur suyu drenaj sistemi kapasitesinin geliştirilmesi için alternatif öneriler. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 75s.
- Uçar, S., Özbora Tarhan, A.**, 2018. Geçirimli beton uygulama kılavuzu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye Hazır Beton Birliği , *Hazır Beton*, Mayıs Haziran 2018, 57-72s.

- URL-1,** 2021. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/2809/mod_resource/content-2/Ya%C4%9Fmursuyu%20Denetimi.pdf
- URL-2,** 2024. <https://inventoenerji.com/yagmur-suyu-toplama-geri-donusum-ve-depolama-bilgileri/>
- URL-3,** 2024. <https://www.sfr.com.tr/yagmur-suyu-hasati-s16.html>
- URL-4,** 2024. <https://sutema.org/yagmur-hasad>
- URL- 5,** 2024. <https://insapedia.com/yagmur-suyu-toplama-sistemi-nedir-ornek-sistemler-ve-hesap/>
- URL-6,** 2024. <https://www.aco.com.tr/ueruenler/cati-teras-ve-balkon-drenaji>
- URL-7,** 2024. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health-%28wash%29/water-safety-and-quality/water-safety-planning/rainwater-collection-and-storage>
- URL-8,** 2024. https://www.munzur.edu.tr/haberdetay.aspx?News_ID=11368
- URL-9,** 2024. <https://sutema.org/yagmur-hasadi>
- Ünal, U.,** 2018. Yağmur hendeğinin tasarımı için yeni kriterler. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul*, 114s.
- Ünal, U., Akyüz, E. D.,** 2017a. Sürdürülebilir kentsel drenaj sistemlerinde yağmur hendeklerinin değerlendirilmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik Ve Teknoloji Dergisi*, Sayı: 1, Cilt: 1, Sayfa: 15-24.
- Ünal, U., Akyüz, E. D.,** 2017b. Yağmur hendeklerinin kapasite ve maliyet hesapları. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2):19-46.
- Üstün, G. E., Can, T., Küçük, G.,** 2020. Binalarda Yağmur Suyu Hasadı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt:5, Sayı:3. s: 1593-1610
- Villarreal, E. L., Dixon, A.,** 2005. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40, 1174–1184.
- Wanjiru, E., Xia, X.,** 2017. Optimal energy-water management in urban residential buildings through grey water recycling, *Sustainable Cities and Society*, Volume 32, July 2017, Pages 654-668.
- Wcislo, A., Çeviren: Engin, Y.,** 2015. Geçirimli Beton Yollar: Gereklikler, Kullanım ve Uygulama Yöntemleri, *XVII. ERMCO Kongresi, Hazır Beton, İstanbul, Kasım Aralık*, s. 77-83.

Yağmur Bahçesi Uygulama Kılavuzu, 2018. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara Nisan 2018, 51s.

Yahli 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.

Yetik, A. K., Şen, B., 2020. Importance and techniques of water harvesting systems, *Turkish Journal of Agriculture -Food Science and Technology*,8(sp1): 46-53,

Yossef, M.N., Khalife, F., 2015. Architecture of digital pavilion and recalling future, *Engineering Research Journal*, 145: 1-18.

Zheng, X., Sarwar, A., Islam, F., Majid, A., Tariq, A., Ali, M., Gulza, S., Khan, M. I., Ali, M. A. S., Israr, M., Jamil, A., Aslam, M., Soufan, A., 2023. Rainwater harvesting for agriculture development using multi-influence factor and fuzzy overlay techniques. *Environ. Res.* 1;238

