

**T. C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANA BİLİM DALI**

**ÜNİVERSİTE YERLEŞKELERİNDE YAĞMUR VE GRİ SUYUN KULLANIM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Celil ALTUNTAŞ

**Danışman
Prof. Dr. Ayla BİLGİN**

ARTVİN-2025

TEZ BEYANNEMESİ

Artvin oruh Üniversitesi Lisanüstü Eğitim Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “niversite Yerleşkelerinde Yağmur ve Gri Suyun Kullanım Potansiyelinin Belirlenmesi: Artvin oruh niversitesi rneği” başlıklı bu araştırmayı en baştan sonuna kadar danışman hocam Prof. Dr. Ayla BİLGİN’in gözetiminde bitirdiğimi, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim-ğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

- ☐ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim sadece Artvin oruh niversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Tezimin 6 ay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

.../.../2025

Celil ALTUNTAş

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANA BİLİM DALI

ÜNİVERSİTE YERLEŞKELERİNDE YAĞMUR VE GRİ SUYUN
KULLANIM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: ARTVİN ÇORUH
ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Celil ALTUNTAŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30/07/2025

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 25/08/2025

Başkan : Prof. Dr. Selim Latif SANİN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ayla BİLGİN

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Vedat YILMAZ

ONAY:

Bu Yüksek Lisans tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 25/08/2025 tarihinde **oybirliği** ile uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../2025 tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../2025

Prof. Dr. Kerem COŞKUN
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi, tecrübe ve rehberlikleriyle yolumu aydınlatan, her aşamada desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Ayla BİLGİN'e en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Kendisinin akademik birikimi ve yönlendirici yaklaşımı, bu çalışmanın şekillenmesinde büyük katkı sağlamıştır. Sabırlı tutumu ve her zaman yapıcı geri bildirimleriyle bu sürecin verimli ve öğretici geçmesine olanak tanımıştır.

Ayrıca, bu tez kapsamında ihtiyaç duyduğum yapısal ve teknik bilgilere erişim noktasında bana her zaman destek olan Artvin Çoruh Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı ile İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım. Kurumsal verilerin sağlanması konusundaki iş birliğiniz ve yardımlarınız, çalışmamın bilimsel temellerinin güçlenmesine önemli katkı sağlamıştır.

Hayatımın her döneminde yanımda olan, varlıklarıyla bana güç ve ilham veren canım eşim Cansu ALTUNTAŞ ve sevgili kızım Ela ALTUNTAŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmanın oluşum sürecine doğrudan ya da dolaylı katkı sağlayan, fikirleriyle destek olan, emeği geçen herkese gönülden teşekkür ederim.

Celil ALTUNTAŞ
Artvin-2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ BEYANNEMESİ	I
JÜRİ KABUL TUTANAĞI.....	II
ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET.....	VII
SUMMARY	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Sürdürülebilir Su Yönetimi	3
1.3. Yağmur Suyu Hasadı Tarihçesi	4
1.4. Yağmur Suyu Hasadının Dünya'daki Durumu	8
1.5. Yağmur Suyu Hasadının Türkiye'deki Durumu	10
1.6. Yağmur Suyu Hasadı	11
1.6.1. Su Kaynaklarını Etkileyen Unsurlar	12
1.6.1.1. Su Kaynaklarının Sınırlı Olması ve Yeryüzündeki Dağılımın Homojen Olmaması	13
1.6.1.2. Nüfus Artışından Dolayı İçme ve Kullanma Suyuna Talebin Artması	13
1.6.1.3. Nüfus Artışından Dolayı Tarımsal Sulama Suyu İhtiyacının Artması	14
1.6.1.4. Sanayi ve Teknoloji Gelişiminden Kaynaklı Sanayi Suyu İhtiyacının Artması	16
1.6.1.5. Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri.....	16
1.6.2. Yağmur Suyu Hasadı Yöntemlerinin Toplama Alanı Boyutlarına Göre Sınıflandırılması	17
1.6.2.1. Mikro Havza Su Hasadı	18
1.6.2.2. Makro Havza Su Hasadı	21
1.6.3. Geleneksel Yağmur Suyu Yönetim Modelleri	25

1.6.3.1. Mazgallar	25
1.6.3.2. Yağmur Suyu Drenaj Kanalları	25
1.6.3.3. Sulak Alanlar	26
1.6.3.4. Sarnıç	27
1.6.4. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetim Modelleri.....	29
1.6.4.1. Depo (Tank) Yöntemi	30
1.6.4.2. Geçirgen Yüzeyler	33
1.6.4.3. Yeşil Çatılar	34
1.6.4.4. Yağmur Bahçeleri	38
1.6.4.5. İnfiltrasyon Hazneleri	40
1.6.4.6. Hendekler	41
1.6.4.7. Bitkili Su Arkları.....	43
1.6.4.8. Yağmur Suyu Bekletme Göletleri.....	44
1.6.4.9. Bitki Kutuları (Planter Box).....	46
1.6.4.10. Yeşil Sokaklar (Green Street)	47
1.6.4.11. Parklar	48
1.6.5. Su Hasadı için Uygun Alanların Belirlenmesi.....	49
1.6.6. Su Hasadı için Temel Tasarım Prosedürü	50
1.6.6.1. Uygun Toplama Yüzeyleri	50
1.6.6.2. Çatılardan Yağmur Suyu Toplama Sistemi	51
1.6.6.3. Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinin Bileşenleri	55
1.6.7. Yağmur Suyu Kullanım Yerleri.....	56
1.6.8. Toplanmış Yağmur Suyunun Depolanması.....	58
1.6.9. Yağmur Suyu Hasadının Avantajları ve Dezavantajları.....	60
1.6.9.1. Yağmur Suyu Depolamanın Avantajları.....	61
1.6.9.2. Yağmur Suyu Depolamanın Dezavantajları	61
1.6.10. Yağmur Suyunun Mikrobiyolojisi ve Kimyası.....	62
1.6.10.1. Çatı Teknik Yapısı ve Su Kalitesi.....	62
1.6.10.2. Yağmur Suyu Arıtımı	64
1.6.10.3. Arıtma Ekipmanları ve Dezenfeksiyon Yöntemleri	64
1.7. Gri Su.....	66
1.7.1. Gri Suyun Karakterizasyonu.....	69
1.7.2. Gri Suyun Arıtılması.....	71

1.7.2.1. Fiziksel Arıtma.....	72
1.7.2.2. Kimyasal Arıtma.....	72
1.7.2.3. Biyolojik Arıtma	73
1.7.2.3.1. Membran Biyoreaktörler (MBR)	73
1.7.2.3.2. Ardışık Kesikli Reaktör (SBR)	77
1.7.2.3.3. Döner Biyolojik Disk (Rotating Biological Contactor – RBC) ...	78
1.7.2.3.4. Yapay Sulak Alanlar (Constructed Wetlands – CW)	79
1.7.3. Arıtılmış Gri Suyun Kullanım Alanları	80
1.7.4. Gri Suyun Yeniden Kullanılabilirliğinin Avantaj ve Dezavantajları	84
1.7.4.1. Gri Suyun Yeniden Kullanımının Avantajları	85
1.7.4.2. Gri Suyun Yeniden Kullanımının Dezavantajları.....	86
1.8. Literatür Araştırması	86
2. MATERYAL VE YÖNTEM	97
2.1. Çalışma Alanı.....	97
2.2. Yağmur Suyu Hasadının Hesaplanması.....	103
2.3. Gri Su Miktarının Hesaplanması.....	104
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	108
3.1. Yağmur Suyu Hasadı Toplam Hacminin Belirlenmesi.....	108
3.2. Depo Hacmi Hesabı	113
3.3. Gri Suyun Kirlilik Yükünün Hesaplanması	121
3.4. Gri Suyun Toplam Hacminin Hesaplanması	123
3.5. Gri Suyun Bahçe Sulama Amaçlı Kullanımının İncelenmesi.....	126
3.6. Gri Su ve Yağmur Suyu Toplam Hasadının Tüm Yerleşkelerde Yeşil Alan Sulama Amaçlı Toplam Hacminin Değerlendirilmesi	129
3.7. Yıllık Tasarruf Edilen Tutar.....	131
3.8. Yağmur Suyu Hasadı Sisteminin Yatırım Tutarı	132
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	139
KAYNAKLAR.....	144
ÖZGEÇMİŞ.....	157

ÖZET

ÜNİVERSİTE YERLEŞKELERİNDE YAĞMUR VE GRİ SUYUN KULLANIM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Bu çalışma kapsamında, Artvin Çoruh Üniversitesi'nin tüm yerleşkelerinde yağmur suyu hasadı ve gri suyun yeniden kullanımı ile elde edilebilecek su miktarları belirlenmiş, bu alternatif su kaynaklarının kampüs yeşil alanlarının sulanmasında kullanılabilirliği değerlendirilmiş ve ayrıca sistemlerin ekonomik fizibilitesine ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada tüm binaların çatı alanları ve yıllık yağış verileri kullanılarak yağmur suyu hasadı potansiyeli hesaplanmış; ayrıca kullanıcı sayıları temelinde oluşan gri su miktarları ve karakteristik özellikleri tespit edilmiştir. Temel bulgular yağmur suyu hasadının yılda toplam 22.854 m³ su sağlayabileceğini, en yüksek hasadın Seyitler Yerleşkesi'nde (8.887 m³) ve en düşük hasadın Ardanuç Yerleşkesi'nde (630 m³) olduğunu göstermiştir. Üniversite genelinde günlük 649 m³ gri su üretimi hesaplanmış, ancak analizler gri suyun iletkenlik, sodyum, klorür ve bor değerleri açısından atık su standartlarına göre "3. sınıf su" olduğunu ortaya koymuştur; dolayısıyla gri suyun arıtılmadan doğrudan sulamada kullanılmasının uygun olmadığı belirlenmiştir. Yağış alan bir bölge olarak sulama için planlanan beş aylık dönemde (Mayıs–Eylül) 155.989 m² yeşil alan için yaklaşık 117.000 m³ su gerekmekte olup hasat edilen yağmur suyu ile oluşan gri su birlikte kullanıldığında Merkez, Hopa, Şavşat ve Arhavi yerleşkelerinin sulama suyu ihtiyacının tamamının karşılanabildiği, ancak Seyitler, Borçka ve özellikle Ardanuç yerleşkelerinde yetersiz kaldığı saptanmıştır. Ekonomik analiz sonucunda yağmur suyu ve gri su kullanımının yıllık toplam 1,57 milyon TL tasarruf sağlayacağı hesaplanmış; en kısa yatırım geri dönüş sürelerinin Merkez, Seyitler, Borçka ve Hopa'da (15-16 yıl), en uzun sürenin ise Ardanuç'ta (146 yıl) olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda özellikle ekonomik açıdan avantajlı olan Borçka, Hopa, Merkez ve Seyitler yerleşkelerinde öncelikle sistemlerin kurulması; gri suyun sulamaya uygun hale getirilmesi için biyolojik arıtma, filtrasyon, dezenfeksiyon ve ters ozmos ünitelerinin entegre edilmesi; yağmur suyu ile arıtılmış gri suyun birlikte depolanacağı hibrit tanklar için mevsimsel dalgalanmalara göre optimum hacimlerin tasarlanması önerilmektedir. Sonuç olarak, yağmur suyu hasadı ve gri su geri kazanımının Artvin Çoruh Üniversitesi ölçeğinde teknik olarak uygulanabilir ve belirli yerleşkelerde

ekonomik olarak makul olduğu gösterilmiştir. Bu sistemlerin hayata geçirilmesiyle içme-kullanma suyu tüketiminin azaltılması, yerel su kaynaklarının korunması ve niversitenin sürdürülebilirlik hedeflerine önemli katkı sağlanması mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yağmur Suyu Hasadı; Gri Su Geri Kazanımı; Yeşil Alan Sulaması; Sürdürülebilir Su Yönetimi; Ekonomik Analiz; Su Tasarrufu



SUMMARY

ASSESSMENT OF RAINWATER AND GREYWATER UTILIZATION POTENTIAL ON UNIVERSITY CAMPUSES: THE CASE STUDY OF ARTVIN CORUH UNIVERSITY

Within the scope of this study, the potential water quantities that could be obtained through rainwater harvesting and greywater reuse across all campuses of Artvin Coruh University were determined. The usability of these alternative water sources for the irrigation of campus green areas was evaluated, and an economic feasibility analysis of the systems was also conducted. In the study, the rainwater harvesting potential was calculated using the roof areas of all buildings and annual precipitation data; additionally, the amounts and characteristic properties of greywater generated based on user numbers were determined. The main findings showed that rainwater harvesting could provide a total of 22,854 m³ of water per year, with the highest harvest at Seyitler Campus (8,887 m³) and the lowest harvest at Ardanuç Campus (630 m³). Daily greywater production of 649 m³ was calculated university-wide, but analyses revealed that greywater was classified as "3rd class water" according to wastewater standards in terms of conductivity, sodium, chloride, and boron values; therefore, it was determined that the direct use of greywater for irrigation without treatment would not be appropriate. As a region receiving precipitation, approximately 117,000 m³ of water is required for 155,989 m² of green area during the five-month period planned for irrigation (May-September), and it was determined that when harvested rainwater and generated greywater are used together, the entire irrigation water need of Merkez, Hopa, Şavşat, and Arhavi campuses could be met, but it was found to be insufficient in Seyitler, Borçka, and especially Ardanuç campuses. As a result of economic analysis, it was calculated that the use of rainwater and greywater would provide annual total savings of 1.57 million TL; the shortest investment payback periods were found to be in Merkez, Seyitler, Borçka, and Hopa (15-16 years), while the longest period was determined to be in Ardanuç (146 years). In line with the obtained results, it is recommended that systems be established primarily in Borçka, Hopa, Merkez, and Seyitler campuses, which are economically advantageous; integration of biological treatment, filtration, disinfection, and reverse osmosis units to make greywater suitable for irrigation; and designing optimum volumes for hybrid tanks where rainwater and treated greywater

will be stored together according to seasonal fluctuations. In conclusion, it has been shown that rainwater harvesting and greywater recovery are technically feasible at the scale of Artvin Coruh University and economically reasonable in certain campuses. Through the implementation of these systems, it will be possible to reduce potable water consumption, protect local water resources, and make significant contributions to the university's sustainability goals.

Keywords: Rainwater Harvesting; Greywater Reuse; Irrigation; Sustainable Water Management; Economic Analysis; Water Conservation



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Kullanım suyu için gerekli kalite parametreleri (AB 76/160/EEC 1975) .	33
Tablo 2. Yüzeysel ve derin yeşil çatı uygulamaları karşılaştırması (Peck ve Kuhn 2003).....	37
Tablo 3. Yağmur bahçelerinde kullanılacak toprak türlerinin katsayıları (Eşbah Tunçay, 2021)	39
Tablo 4. Yer kaplamasına göre akış katsayıları (DIN, 1989)	50
Tablo 5. Çatı tiplerinin özellikleri (Thomas ve Martinson, 2007; Himat, 2018).....	51
Tablo 6. Yağmur suyunun kullanım alanları (Akaydın, 2017).....	57
Tablo 7. Yağmur suyu kullanımı için çeşitli senaryolar (Belmeziti ve diğ., 2013) ..	58
Tablo 8. Bazı depolama tanklarının olumlu ve olumsuz yönleri (Thomas ve Martinson, 2007; Urban, 2010).....	60
Tablo 9. Perde Faktörü.....	66
Tablo 10. Serbest klorla %99,9 (4-log) patojen giderimi için gerekli C.T değeri	66
Tablo 11. Kaynağına göre gri su karakterizasyonu (Şahan, 2022).....	70
Tablo 12. Ayrı kaynaklardan oluşan gri suların kirlilik değerleri (Li ve diğ., 2009; Üçevli, 2017)	70
Tablo 13. Kaynaklarına göre gri suyun fiziksel özellikleri (Birben, 2012).....	71
Tablo 14. Kaynaklarına göre gri suyun kimyasal özellikleri (Birben, 2012)	71
Tablo 15. Kaynaklarına göre gri suyun mikroorganizma özellikleri (Birben, 2012).....	71
Tablo 16. Membran tiplerinin uygulama alanları	75
Tablo 17. Dezenfeksiyon çeşitlerinin bakteri, protozoa ve virüslere olan tesiri (Abik, 2016)	76
Tablo 18. Ayrık akımların bileşenleri, ürünleri, olası son kullanım alanları (Belir Baykal, 2018).....	81
Tablo 19. Evsel atıksu fraksiyonları ve hacimleri (Belir Baykal ve Allar, 2007)	82
Tablo 20. Dünyadaki bazı atıksuyun tekrar kullanımı projeleri (Kretschmer ve diğ., 2002)	83
Tablo 21. AÇÜ Kampüsleri ve Binaları	101
Tablo 22. AÇÜ öğrenci sayıları (2024).....	102
Tablo 23. Akademik Personel Sayısı (2024)	102

Tablo 24. Farklı çatı tipleri için akış katsayısı (Dadhich ve Mathur, 2016; Taşçı 2021; Şimşek ve Demir, 2023)	103
Tablo 25. MGM, Artvin İline ait yağış istatistik verileri (MGM,2024)	104
Tablo 26. Gri su, sarı su ve kahverengi su günlük miktarları.....	105
Tablo 27. Kişi başı hesaplanan günlük gri, sarı ve kahverengi su miktarları (Değirmenci, 2023).....	106
Tablo 28. Atıksu karakterizasyonu (Yiğit, 2007)	106
Tablo 29. Gri su minimum ve maksimum değerlerin ortalaması (Efe, 2017)	107
Tablo 30. Bina çatı alanı yüzeyleri ve hasat edilen yağmur suyu miktarı	108
Tablo 31. Yerleşkeler göre çatı alanı, yağmur miktarı ve yeşil alan miktarları	111
Tablo 32. Bölgelere göre sulama suyu ihtiyaçları	112
Tablo 33. Yağmur Suyu Hasadına göre Yapıların İhtiyacı olan Depo Hacimleri....	120
Tablo 34. Gri su kirlilik yükü hesabı.....	122
Tablo 35. Gri su, sarı su ve kahverengi su hacimleri.....	124
Tablo 36. Gri su, sarı su ve kahverengi su toplam hacimleri.....	125
Tablo 37. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (AATTUT, 2010)	126
Tablo 38. Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo (AATTUT, 2010)	128
Tablo 39. Gri suyun tarımsal sulama amaçlı değerlendirilmesi (AATTUT, 2010)..	128
Tablo 40. Gri su ve yağmur suyu toplam hasadının yeşil alan sulaması için hacim kıyaslaması	130
Tablo 41. Polyester su deposu fiyatları (URL-1)	133
Tablo 42. Vortex Yağmur Suyu Filtresi Fiyatları (URL-2)	134
Tablo 43. Yerleşkelerdeki Yağmur Suyu Hasadı Ekipman Maliyeti	135
Tablo 44. Yağmur Suyu Hasadı Toplam Ekipman Maliyeti	137

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Minos Uygarlığı dönemi yağmur suyu sarnıçları (Yannopoulos ve diğ., 2017).....	5
Şekil 2.	Şişe şeklindeki su sarnıcı üst kısmın ve bölümün çizimi restorasyon sonrası görünen kısmı (Yannopoulos ve diğ., 2017)	6
Şekil 3.	İki odalı sarnıç (Yannopoulos ve diğ., 2017)	6
Şekil 4.	Roma dönemi sarnıçları (Yannopoulos ve diğ., 2017)	7
Şekil 5.	Bizans dönemi ve sonrası sarnıçları (Yannopoulos ve diğ., 2017).....	7
Şekil 6.	Osmanlı Dönemi’nde Yeniden İnşa Edilen Midilli Kalesi’ndeki Su Sarnıcı (Yannopoulos ve diğ., 2017).	7
Şekil 7.	Dünyadaki su dağılımı (Börü, 2022)	12
Şekil 8.	Yıllık yağışların yeryüzüne dağılımı (Börü, 2022).....	13
Şekil 9.	Dünya da su tüketimi ve nüfus artışı (Ritchie ve Roser, 2018; Börü, 2022).....	13
Şekil 10.	Dünya da su tüketiminin nüfusa oranı (Börü, 2022).....	14
Şekil 11.	Dünya da su kullanımının sektörel dağılımı (Loudière ve Gourbesville, 2020).....	15
Şekil 12.	Su Hasadı Toplama Alanları (Ekinci, 2015).....	18
Şekil 13.	Kontur Sırtlar ve Küçük Çukurlar (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)	20
Şekil 14.	Yüzey Akış Şeritleri ve Meskatlar (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)	20
Şekil 15.	Seddelere ve Negarim (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)	21
Şekil 16.	Eş Yükselteli Teraslar ve Sıra Arası Çiftlik Sistemleri (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020).....	21
Şekil 17.	Yağmur Suyu Hasadında Görülen Aşamalar: Havza, Akış, Depolama ve Hedef (Liniger,2013).	22
Şekil 18.	Küçük Çiftlik Rezervuarları ve Jessour Sarnıçlar (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)	24
Şekil 19.	Su Yayıcı Sistemler (Ekinci, 2015) ve Vadi Tabanı Sistemi (Yetik ve Şen, 2020).....	24
Şekil 20.	Tanklar ve Geniş Taş Seddeler (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)	24
Şekil 21.	Yamaç akış sistemleri (Öztürk, 2022).....	25
Şekil 22.	Sarnıcın Düşey Kesiti ve Planı (Manioğlu ve Şahin, 2011).....	27

Şekil 23. Yerebatan Sarnıcı-İstanbul.....	28
Şekil 24. Tokyo dev su sarnıcı	29
Şekil 25. Yer Altı Yağmur Suyu Toplama Planı	30
Şekil 26. Yer Üstü Yağmur Suyu Toplama Planı	31
Şekil 27. Yer Altı Yağmur Suyu Depolama Tankı	31
Şekil 28. Yer Üstü Yağmur Suyu Depolama Tankı.....	31
Şekil 29. Günlük evsel su kullanımı ve yağmursuyu değerlendirilmesi (Tanık, 2017).	32
Şekil 30. Geçirgen yüzey örneği (Urban Water, 2022)	33
Şekil 31. Yeşil çatı bileşenleri (Gray ve Katzenmoyer, 2011).....	35
Şekil 32. Yüzeysel ve DerinYeşil Çatı Şematik Gösterimi (Sevimli, 2021).....	36
Şekil 33. Yüzeysel Yeşil Çatı Uygulaması, Chicago O'Hare Uluslararası Havaalanı (Sevimli, 2021).....	36
Şekil 34. Derin Yeşil Çatı Uygulaması, Facebook Seattle Binası (Sevimli, 2021) ..	38
Şekil 35. Yağmur bahçesine gelen suyun döngüsü (Demir 2012)	38
Şekil 36. Yol kenarına oluşturulan yağmur bahçesi örneği (Tokuş ve Özdemir, 2017).....	39
Şekil 37. İnfiltrasyon haznelerinin uygulanışı (Schueler 1987; Sevimli 2021).....	40
Şekil 38. Hendeklerde filtreleme amacıyla kullanılan zambaklar (Sert, 2013).....	42
Şekil 39. Çimlendirilmiş ve Bitkisel Hendek Uygulaması (Sevimli, 2021).....	43
Şekil 40. Şerit Filtreler uygulamasının şematik gösterimi (Schueler 1987)	44
Şekil 41. Kuru (Uzun Süreli) bekletme göletinin planı (Schueler 1991).....	45
Şekil 42. Islak bekletme göletinin planı (Schueler, 1991)	45
Şekil 43. Çoklu gölet sistemlerinin planı (Schueler 1991)	46
Şekil 44. Konteyner- İnfiltrasyon- Akıntılı bitki kutusu örnekleri (Sevimli, 2021) .	47
Şekil 45. Bordür uzantısı ve kaldırım bitkilendirme uygulamaları (Sevimli, 2021)	48
Şekil 46. Ağaç kuyusu uygulamasının şematik gösterimi (Sevimli, 2021).....	48
Şekil 47. Çeşitli park örnekleri (Kurtoğlu, 2021).	49
Şekil 48. Çatılardan yağmur suyu toplama ve yeniden kullanma sistemi (Himat, 2018).....	52
Şekil 49. Yağmur suyu toplama ve yeniden kullanım sistemin akım şeması (Himat, 2018).....	53
Şekil 50. Evsel su kullanımının dağılımı (Himat, 2018).....	54

Şekil 51. Yağmur suyu toplanması ve genel kullanımı (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018).....	54
Şekil 52. Yağmur suyu toplama sistemlerinin bileşenleri (Pradhan ve Sahoo, 2019).....	56
Şekil 53. Su kullanım bileşenleri	67
Şekil 54. Az kirli gri su ve çok kirli su kaynakları	68
Şekil 55. Gri su kullanımı (Şahan, 2022).....	69
Şekil 56. Gri su arıtma teknolojileri (Şahan, 2022)	73
Şekil 57. MBR'nin çalışma prensipleri.....	74
Şekil 58. MBR sistemi ile gri su arıtımı	76
Şekil 59. Gri suyun ardışık kesikli reaktörde arıtılması.....	78
Şekil 60. Döner biyolojik disk	79
Şekil 61. Gri suyun kullanım alanları (Masdaf, 2022).....	82
Şekil 62. Gri suyun yeniden kullanım alanları ((Şahan, 2022).....	84
Şekil 63. Gri su yeniden kullanılabilirlik sisteminin çalışma prensibi (Şahan, 2022).....	85
Şekil 64. Türkiye haritası ve Artvin ili	98
Şekil 65. AÇÜ'ye ait tüm yerleşkelerin konumları	98
Şekil 66. Yerleşkelerin fotoğrafları ve uydu görüntüleri, A: Merkez yerleşke, B: Seyitler Yerleşkesi, C: Arhavi yerleşkesi, D: Hopa Yerleşkesi.....	99
Şekil 67. Yerleşkelerin fotoğrafları ve uydu görüntüleri, E: Ardanuç yerleşkesi, F: Şavşat Yerleşkesi, G: Borçka yerleşkesi, H: ANG Botanik Bahçesi... ..	100
Şekil 68. Merkez Yerleşkeye ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları.....	113
Şekil 69. Seyitler Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları.....	114
Şekil 70. Borçka Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları.....	115
Şekil 71. Hopa Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları.....	116
Şekil 72. Arhavi Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları	117
Şekil 73. Şavşat Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları.....	118
Şekil 74. Ardanuç Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları.....	119

KISALTMALAR DİZİNİ

AATTUT	: Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği
AASHE	: The Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education (Yükseköğretimde Sürdürülebilirliğin Geliştirilmesi Derneği)
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AÇÜ	: Artvin Çoruh Üniversitesi
AKM	: Askıda Katı Madde
ANG	: Ali Nihat Gökyiğit
ARCSEA	: American Rainwater Catchment Systems Association
BAE	: Birleşik Arap Emirlikleri
BİLTEKMER	: Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
BM	: Birleşmiş Milletler
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Yapı Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi)
CW	: Yapay Sulak Alanlar (Constructed Wetlands)
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
DSİ	: Devlet Su İşleri
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOSGEB	: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik
MBR	: Membran Biyoreaktörler
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MYO	: Meslek Yüksekokulu

PVC	: Polivinil Klorür
RBC	: Dönen Biyolojik Reaktörler
RO	: Ters Osmoz
SAKY	: Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği
SAR	: Sodyum adsorpsiyon oranı
SBR	: Ardışık Kesikli Reaktörler
SIU	: South Indian University
STARS	: The Sustainability Tracking, Assessment and Rating System (Sürdürülebilirlik İzleme, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNICEF	: Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu
UV	: Ultraviyole
WCED	: World Commission on Environment and Development (Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
YİTDB	: Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Su, doğadaki tüm yaşamsal faaliyetler için vazgeçilmez bir kaynaktır. Okyanuslar, denizler, göller, buzullar, nehirler, kar ve yağmur suları ile yeraltı suları gibi farklı kaynaklardan elde edilen suyun, yaşam döngüsünde kullanılabilen kısmı oldukça sınırlıdır. Artan nüfus, sanayileşme, çevre kirliliği, bilinçsiz su tüketimi, sulu tarım ve küresel iklim değişikliği gibi etkenler, mevcut su kaynaklarının yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Son yüzyılda dünya nüfusu hızla artarken, suya olan talep çok daha fazla artmıştır. İyi kalitede ve yeterli miktarda suyun bulunması; ekosistem sağlığının yanı sıra sürdürülebilir kalkınma ve gıda güvenliği açısından da temel bir gerekliliktir (Öktem ve Aksoy, 2014).

Sanayileşmenin artmasıyla birlikte atmosferde Karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄), Azot Oksit (N₂O), Kloroflorokarbon (CFC), Karbonmonoksit (CO) ve Nitrik Oksit (NO) gibi sera gazlarının salınımı, normal değerlerin çok üzerinde gerçekleşmiş; bu durum küresel iklim değişikliğinin meydana gelmesine yol açmıştır. İklim değişikliği; kuraklık, su kıtlığı, seller, tarımsal üretimde verim kaybı, orman yangınlarının artışı ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca, tatlı su kaynaklarının büyük bir kısmının tarımsal sulamada kullanılması, tarım sektöründe su tüketiminin ne denli kritik olduğunu göstermektedir (Feres ve Evans, 2006).

Su kıtlığı sorunu yaşayan ülkelerde yağmur suyu hasadı, suya olan talebin önemli bir kısmını karşılamada etkili bir çözüm sunmaktadır (Geben, 2023). Yağmur suyu hasadında, doğal yaşamdaki su döngüsü göz önünde bulundurularak yalnızca gerekli miktarın depolanması büyük önem taşımaktadır. Özellikle yağış miktarının az olduğu bölgelerde, yağmur suyu hasadı su kıtlığı sorununu hafifletmede ciddi katkı sağlamaktadır (Dadhich ve Mathur, 2016). Diğer su toplama sistemlerine kıyasla; maliyet açısından uygun, kurulumu, bakımı ve işletilmesi pratik olan yağmur suyu hasadı, çevre dostu bir yaklaşım sunmaktadır (Ndiritu ve diğ., 2018). Hasat edilen

yağmur suları; çevre temizliği, ev temizliği, bahçe sulama, tuvalet sifonları, araç yıkama, yangın söndürme, süs havuzları ve gölet gibi pek çok alanda değerlendirilebilmektedir (Manikandan ve diğ., 2011).

Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre 2020 yılında Türkiye’de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.346 m³’tür. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2030 yılında ülke nüfusunun 94 milyona ulaşması beklenmektedir. Bu öngörü ışığında, kişi başına düşen su miktarının 1.120 m³/yıl düzeyine düşeceği tahmin edilmekte ve bu durum, Türkiye’nin “su sıkıntısı çeken ülkeler” kategorisine girmesine neden olabilecektir. Bu kritik tablo, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının sağlanmasını kaçınılmaz bir zorunluluk hâline getirmektedir (Himat, 2018).

Ülkemiz, dört mevsimin belirgin olarak yaşandığı bir konumda bulunmakta olup, Karadeniz Bölgesi ülkemizin en çok yağış alan bölgesidir. Doğal kaynakların azalması, yağmur suyu hasadı sistemlerine yönelik ilgiyi artırmış; bu kapsamda yayımlanan ve revize edilen Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’nde 2000 m² ve üzeri yapılarda yağmur suyu toplama sistemlerinin kurulması zorunlu hale getirilmiştir. Sürdürülebilirlik açısından, su kıtlığı sorununu hafifletmek ve suyun etkin kullanımını sağlamak amacıyla, yağmur suyu hasadı uygulamalarının yaygınlaştırılması kritik bir öneme sahiptir (Geben, 2023).

Bu doğrultuda yürütülen çalışmanın temel amacı; yağmur suyu ve gri suyun yeniden kullanım potansiyelini incelemek, bu suların hasat edilmesi ve değerlendirilmesinin sürdürülebilir su yönetimine nasıl katkılar sağlayacağını ortaya koymaktır. Özellikle kampüs alanları gibi geniş yapılarda uygulanabilecek sistemlerin planlaması, hem çevresel sürdürülebilirliğe hem de ekonomik tasarrufa önemli ölçüde katkı sunabilecektir.

Bu çalışma, Artvin Çoruh Üniversitesi(AÇÜ) kampüs alanlarında yağmur suyu ve gri suyun yeniden kullanımına yönelik potansiyeli değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu kapsamda; üniversiteye ait tüm binalar için ayrı ayrı yağmur suyu hasadı hesaplamaları yapıldı, yıllık su tasarrufu miktarları ve uygun depo hacimleri belirlendi, tüm veriler doğrultusunda bir fayda-maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece sistemin üniversite ölçeğinde uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

Yağmur suyu hasadı ve gri suyun yeniden kullanımı; içme ve kullanma suyu kaynakları üzerindeki baskının azaltılmasına, altyapı sistemlerinin yükünün hafifletilmesine, taşkın risklerinin düşürülmesine ve su kaynaklarının korunmasına katkı sunmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin düşük maliyetli olması, bireysel düzeyde uygulanabilirliğini artırmakta ve çevresel farkındalığı desteklemektedir.

Çalışma kapsamında; yağmur suyu ve gri suyun tarihçesi, dünyada ve Türkiye'deki uygulamaları, fiziksel ve kimyasal özellikleri, arıtma sistemleri, depolama yöntemleri ve sistemin avantaj-dezavantajları detaylı olarak incelenmiştir. Bu bağlamda, üniversite kampüsünde uygulanabilecek özgün bir sistem önerisi sunulurken, kampüs alanlarının çevresel sürdürülebilirlik stratejilerine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

1.2. Sürdürülebilir Su Yönetimi

Sürdürülebilirlik, gelecekteki ihtiyaçların karşılanmasından ödün vermeksizin mevcut gereksinimlerin giderilmesi olarak tanımlanır (World Commission on Environment and Development [WCED], 1987). Çevre açısından sürdürülebilirlik; su kaynakları, sucul canlılar, bitki örtüsü ve diğer elemanların yer aldığı bir ekosistemden gelecek nesillerin faydalanabilmesi için ekolojik sürecin olumlu bir şekilde ilerlemesi olarak gösterilebilir (Aytuğ, 2014). Bu tanımlar ışığında sürdürülebilir su yönetimi; ilk nicel ve nitel olarak suyun varlığını korumak olarak su kaynaklarını, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayacak biçimde kullanma ve geliştirme olarak tanımlanabilir (Bilbay, 2020).

Nüfus artışı, kentleşmenin hızlanması ve tarımsal ile endüstriyel faaliyetlerin çoğalması, suya olan talebin artmasına yol açmakta olup; bu durum, su kaynaklarının aşırı tüketimi ve kirlenmesi gibi sorunları beraberinde getirmektedir (Yalılı Kılıç ve diğ., 2006; Yalılı Kılıç ve diğ., 2013). Gün geçtikçe azalan kullanılabilir su miktarı, sürdürülebilir kentsel su yönetiminin önemini ortaya koymaktadır; böylece mevcut su kaynaklarının korunması ve verimli kullanılması kaçınılmaz hale gelmektedir (Corcoles ve diğ., 2010; Petroulias ve diğ., 2016; Ross, 2017).

Ülkelerin su kıtlığı ya da su stresi altında olup olmadığı, kişi başına düşen yıllık su miktarı üzerinden sınıflandırılmaktadır. Örneğin, 500 m³ altında mutlak su kıtlığı, 500–1000 m³ arası su kıtlığı, 1000–1700 m³ su sıkıntısı ve 1700 m³ üzerinde ise su

sorunu bulunmadığı kabul edilmektedir (Falkenmark ve Lindh, 1976). Dünya genelinde kişi başına düşen su miktarının 7600 m³/yıl olduğu belirtilirken, Türkiye’de bu değer ortalama 1366 m³/yıl civarında seyretmektedir (DSİ, 2018; USIAD, 2007). TÜİK verilerine göre, Türkiye’nin nüfusu 2030 yılında 100 milyona ulaşması, kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1120 m³/yıla inmesi öngörülmektedir (DSİ, 2017). Bu göstergeler, Türkiye’nin su zengini olmadığını, aksine su stresi yaşadığını açıkça ortaya koymaktadır (Kırtorun ve Karaer, 2018).

Uluslararası olarak 1972’de Stockholm’de Birleşmiş Milletler (BM) tarafından ilk kez düzenlenen zirveyle gündeme gelen çevre problemleri ve sonrasında BM Çevre ve Kalkınma Komisyonu ve BM Çevre Programı tarafından yayınlanan “Ortak Geleceğimiz” raporu, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel unsurların küresel önem kazanmasını sağlamıştır (Ökmen, 2006). Bu gelişmeler, Avrupa Parlamentosu ve Konseyi’nin 23 Ekim 2000’de Su Çerçeve Yönergesi’ni (2000/60/EC) kabul etmesine zemin hazırlamış; yönerge, sürdürülebilir su kullanımının teşvik edilmesini, su kaynaklarının kirlenmesinin önüne geçilmesini, sel ve kuraklığın yol açacağı zararların azaltılmasını hedeflemiştir (Henocque ve Andral, 2003; European Commission, 2010).

Bu uluslararası gelişmelerin ışığında, 2002’de Johannesburg’da düzenlenen Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi, su kaynaklarının etkin yönetimi ve sürdürülebilir kullanımı konularında önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. Zirvede, su kalitesinin iyileştirilmesi, suyun tasarruflu kullanımı ve su israfının önlenmesi gibi konular detaylı olarak ele alınmıştır (Evsahibioğlu ve diğ., 2010).

Ayrıca, Avrupa Birliği(AB) Su Mevzuatı kapsamında yürütülen çalışmalar, suyun yönetimi ve kullanımında standartlar belirleyerek sürdürülebilirliğe katkıda bulunurken, Türkiye de AB uyum süreci çerçevesinde benzer çalışmalara imza atmaktadır (Eğerci, 2006; Evsahibioğlu ve diğ., 2010).

1.3. Yağmur Suyu Hasadı Tarihçesi

Yağmur suyu hasadı, yağış miktarının yüksek olduğu ancak içme ve diğer kullanım amaçları için suyun yetersiz olduğu bölgelerde uzun yıllardır tercih edilen bir

yöntemdir. Bu uygulamanın kökenleri, milattan önceki dönemlere kadar uzanmakta ve farklı uygarlıklar tarafından geliştirilmiştir (Örs ve diğ., 2011).

Diyarbakır'da bulunan Zerzevan Kalesi'nde yapılan kazı ve arkeolojik çalışmalar neticesinde, en az 9000 yıl (MÖ 7000) öncesine dayandığı tahmin edilen su toplama sistemleri bulunmaktadır (Börü, 2022).

Çin'in Gansu bölgesinde de yağmur suyunun hasadı yapıldığına dair 6000 yıl öncesine dayanan bulgular mevcuttur (Stahn ve Tomini, 2016).

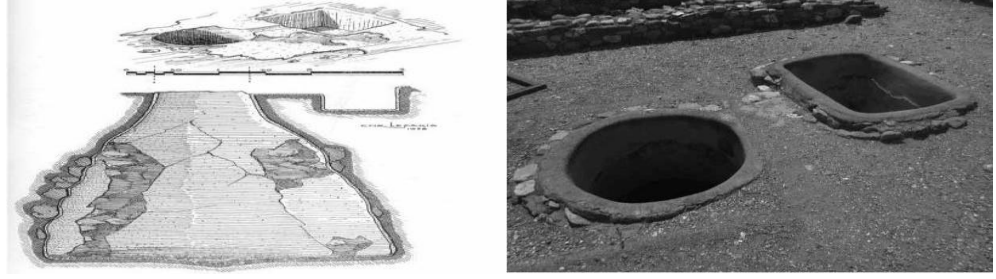
Girit'teki Minos Uygarlığında (MÖ 3500) ise, su kaynaklarının güvenliği ve sürdürülebilirliği amacıyla sarnıçlar kullanılmıştır. Bu dönemde, suyu toplamak için büyük taş borular veya pişmiş toprak boruları tercih edilmiş; iki örnek sarnıç, Şekil 1'de gösterilmiştir (Yannopoulos ve diğ., 2017).



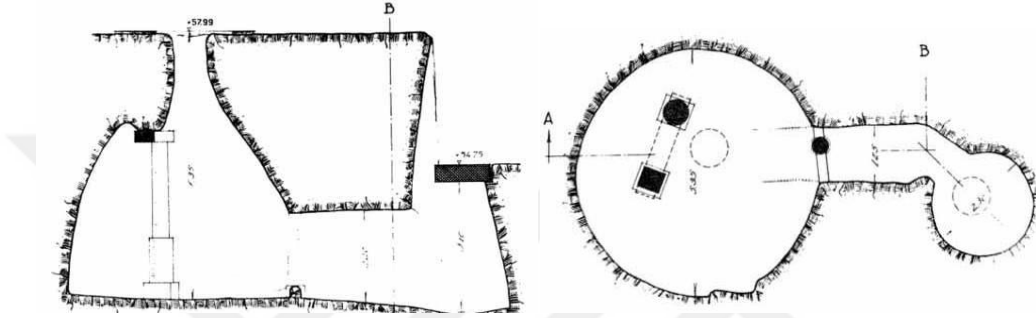
Şekil 1. Minos Uygarlığı dönemi yağmur suyu sarnıçları (Yannopoulos ve diğ., 2017)

Filistin'de Negev çölünün kurak bölgelerinde yağmur suyu toplama sistemleri MÖ 2000'den itibaren tarımsal ve evsel kullanım amacıyla kullanılmıştır (Hamdan, 2009).

Klasik ve Helenistik dönemlerde, yerleşim yerlerinde yağışa bağlı su temini amacıyla farklı teknikler geliştirilmiştir. Bu dönemde, çatılar, avlular ve diğer açık alanlar kullanılarak yağmur suyu hasadı yapılmış; sarnıçlar genellikle yeraltına inşa edilmiş ve geçirimsiz tabakalarla kaplanmıştır. Şekil 2 ve Şekil 3'te, restorasyon sonrası görünen şişe şeklindeki sarnıç ve iki odalı sarnıç örnekleri bu döneme ait yapılara örnektir (Yannopoulos ve diğ., 2017).



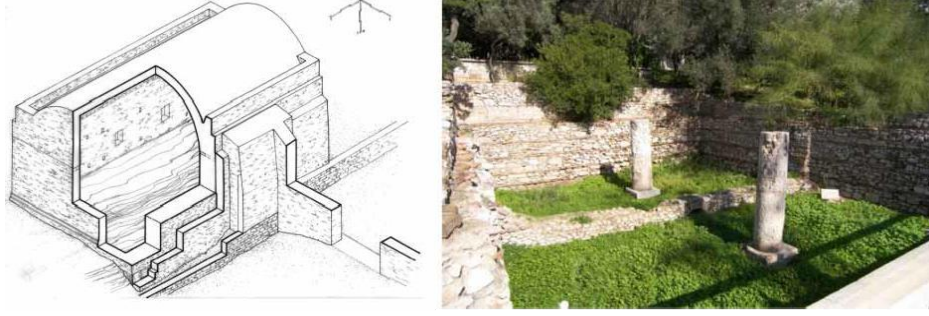
Şekil 2. Şişe şeklindeki su sarnıcı üst kısmının ve bölümünün çizimi restorasyon sonrası görünen kısmı (Yannopoulos ve diğ., 2017)



Şekil 3. İki odalı sarnıç (Yannopoulos ve diğ., 2017)

Orta Asya ve Güneydoğu Asya örnekleri de dikkat çekicidir. Kamboçya'daki Angkor Wat antik şehrinde, M.S. 800 civarında, yağış dönemlerinde hasat edilen yağmur suyunun tarımsal sulamada kullanıldığı bilinmektedir (Jensen, 2008). Benzer şekilde, Tayland'da 2000 yıl boyunca çatılardaki deliklerden yağmur sularının oluklar aracılığıyla kaplara ve kavanozlara doldurulduğu görülmüştür (Hamdan, 2009).

Romalılar döneminde, iyi planlanmış su şebekelerinin yanı sıra, kuraklık dönemlerinde kullanılmak üzere yağmur suyu sarnıçları inşa edilmiştir. Bizans döneminde ise, su ihtiyacındaki artışa yanıt olarak büyük Aetius sarnıcının inşa edilmesiyle ek bir depolama alanı oluşturulmuş; bu gelişmede, büyük tonozların inşasında çimentonun kullanılmaya başlanması önemli rol oynamıştır. Şekil 4'te Roma dönemi sarnıçları, Şekil 5'te ise Bizans dönemi ve sonrası sarnıçlar örnekleri gösterilmektedir (Yannopoulos ve diğ., 2017).



Şekil 4. Roma dönemi sarnıçları (Yannopoulos ve diğ., 2017)



Şekil 5. Bizans dönemi ve sonrası sarnıçları (Yannopoulos ve diğ., 2017)

13. yy yüzyılın başlarında, Girit adasında Venedikliler tarafından daha gelişmiş yağmur suyu hasadı yapıları inşa edilirken, Osmanlı döneminde de Helenik zamanından kalan su kemerlerinin tamirata ve restorasyonu yapılmış; ayrıca, akış alanlarının kubbenin dış yüzeyi olan tipte yağmur suyu sarnıçları inşa edilerek kullanılmıştır (Şekil 6; Yannopoulos ve diğ., 2017).



Şekil 6. Osmanlı Dönemi'nde Yeniden İnşa Edilen Midilli Kalesi'ndeki Su Sarnıcı (Yannopoulos ve diğ., 2017).

19. ve 20. yüzyıllarda ise, geleneksel yöntemlerin ötesine geçilerek derin kuyular, pompalar, borular gibi yeni teknolojilerin kullanıldığı görülmüştür. Bu dönemde

kentleşmenin hızlanması, su tüketimini artırmış ve su kirliliğini beraberinde getirmiştir. Bu gelişmeler doğrultusunda, yağmur suyunun hasat edilip depolanarak yeniden değerlendirilmesi; buharlaşma hacminin azaltılması ve su kirliliğinin önlenmesi için çeşitli yapı ve sistemler planlanmıştır. Maliyetinin uygun, kurulumu ve kullanımının kolay olması nedeniyle, yağmur suyunun depolanarak yeniden kullanılması, su ihtiyacının giderilmesinde son derece elverişli bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Ayrıca, su kaynaklarında yaşanan kapasite sorunlarına karşı gerekli tedbirlerin alınması, tüm kurum ve kuruluşların yüzey akışı ve çatıdaki yağmur suyunun depolanıp tekrar kullanılmasını teşvik edecek kanunların çıkarılmasıyla desteklenmelidir (Yannopoulos ve diğ., 2017).

1.4. Yağmur Suyu Hasadının Dünya'daki Durumu

Dünya'da artan nüfus ve buna bağlı olarak suya olan ihtiyacın ve su tüketiminin hızla artması sonucunda, su kaynaklarında tükenme tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Plansız kentleşme, sanayileşme sürecindeki hatalar, küresel iklim değişikliği ve yanlış yapılan tarımsal uygulamalar ile birlikte su kaynakları azalmaktadır (Şahan, 2022).

Bu durum, özellikle coğrafi konum ve iklim şartları nedeniyle su kıtlığı çeken ülkelerde ciddi sorunlar oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, 29 ülkede 436 milyon insanın kaliteli ve temiz suya erişimde ciddi zorluklar yaşadığı ve 2050 yılına kadar bu rakamın 3–5 kat artması beklenmektedir (Türkiye Belediyeler Birliği, 2016).

Sürdürülebilir su yönetimi kapsamında yağmur suyu hasadı önemli bir katkı sunmaktadır. Bu yöntem, içme suyu dışındaki; çamaşır makineleri, tuvalet sifonları, peyzaj sulaması ve araç yıkama gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Kim ve diğ., 2021). Su kaynaklarının durumuna göre, gelişmiş ülkeler (İspanya, İsveç, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri(ABD), Avustralya) yağmur suyunu öncelikle çamaşır yıkama, tuvalet sifonu ve sulama gibi içme suyu dışı ihtiyaçlar için kullanırken, gelişmekte olan ülkelerde (Güney Afrika, Namibya, Uganda, Nepal, Brezilya) yemek pişirme, içme ve kişisel hijyen gibi temel ihtiyaçlar için tercih edilmektedir (Nations, 2013).

Özellikle Avustralya, dünyanın en kurak kıtalarından biri olmasının yanı sıra artan nüfus ve iklim değişikliği nedeniyle ciddi su temin sorunları yaşamaktadır. Bu nedenle, son dönemlerde atık su geri dönüşümü, gri su kullanımı ve yağmur suyu hasadı gibi sistemlerin kullanımı teşvik edilmektedir (Nations, 2013).

Londra'daki Millenium Dome, Avrupa'daki en büyük geri dönüşüm suyu kullanım örneklerinden biri olarak dikkat çekmektedir. Bu sistemde, yağmur suyu, gri su ve arıtılmış yeraltı suyu karışımı kullanılarak, tuvalet ve pisuvar sifonları için günde 500 m³ su tüketilmekte; yağmur suyunun toplam su talebine katkısı %19, en önemli su kaynağı ise %71 oranıyla yeraltı suyu olarak belirlenmiştir (Kim ve diğ., 2021).

Brezilya'da bulunan olimpiik golf sahasında, ağaca benzer bir yağmur suyu toplama sistemi uygulanmaktadır. Depolanan yağmur suyu, golf sahalarının sulanması ile birlikte görsel ve termal değerlendirme amaçlı yeraltı depolarına aktarılmaktadır (Temizkan ve Tuna Kayılı, 2021).

ABD'de eğitim veren; Kaliforniya Üniversitesi, Oberlin Üniversitesi ve Oregon Üniversitesi sürdürülebilirlik değerlendirme kapsamında AASHE'nin (Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education) STARS (The Sustainability Tracking, Assessment and Rating System) değerlendirme sisteminde Altın statüde yer almaktadır. Üniversitelerde çeşitli yağmur suyu hasadı uygulamaları yapılmakta olup, kampüs binalarında gri su sistemleri kullanılmaktadır (Sevimli, 2021).

Kanada'da, Waterloo Üniversitesi 2018'den bu yana AASHE'nin STARS değerlendirme sisteminde Gümüş statüsünde yer almaktadır. Yağmur suyu yüzey hasadı için kampüs yollarının çoğunluğu geçirimli taşlarla döşenmiştir. Kampüste yeşil çatılı beş bina bulunmakta olup, Çevre Bölümü binasında çatıda toplanan yağmur suyu yeraltı depolarına aktarılmakta ve bina içerisindeki gri su sistemiyle tuvalet sifonlarına dağıtılmaktadır. Depolanan su ayrıca bahçe sulamasında da kullanılmaktadır (Sevimli, 2021).

İspanya'da yer alan Alcalá Üniversitesi, kampüs içi ve dışındaki çevre şartlarını iyileştirerek dünya genelinde tanınan Çevresel Sürdürülebilirlik Sertifikası'nı almıştır. Ayrıca, Roma dönemine ait olduğu düşünülen eski bir yağmur suyu toplama

görevi gören qnat keşfedilmiş ve yeniden kullanıma kazandırılarak sulama amacıyla değerlendirilmektedir (Sevimli, 2021)

1.5. Yağmur Suyu Hasadının Türkiye’deki Durumu

Günümüzde alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmakta, mevcut su kaynaklarının kontrolü ve tasarruflu kullanımı büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, yağmur suyu hasadı ve kullanılmış suyun geri dönüşümü, sürdürülebilir su yönetiminde en çok tercih edilen yöntemler arasında yer almakta; mevcut su kaynaklarının tasarruflu kullanımına ciddi katkılar sağlamaktadır. Türkiye’de, düzensiz ve az yağışlar nedeniyle su kaynaklarının kapasite sorunları ortaya çıkmakta; bu durum, tarımsal üretimdeki zorlukların yanı sıra sanayi ve sosyal yaşam üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır. Gelecekte yaşanabilecek su kıtlığı sorunlarını en aza indirmek amacıyla, gerekli tedbirlerin alınması ve yağmur suyu hasadı ile gri su dönüşümü konusunda halkın bilinçlendirilip teşvik edilmesi gerekmektedir (Şahan, 2022).

Türkiye’de birçok kurum ve kuruluş bu alanda başarılı uygulamalara imza atmıştır. Örneğin, 2009 yılında Siemens, Kocaeli Gebze Organize Sanayi Bölgesi’nde 35.000 m² brüt alana sahip çevre dostu bir tesis kurarak LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Gold Sertifikası almış; binalarda ve yeşil alanlarda verimli su kullanan ekipman ve yağmur suyu hasadı sistemi ile %50 oranında su tasarrufu sağlanmıştır (Yaman, 2009).

Ankara’da bulunan Eser Holding Merkez Ofisi ise 7.500 m² alana inşa edilmiş, LEED Platin sertifikasını almaya hak kazanmış bir yapı olarak dikkat çekmektedir. Yapıda yağmur suyu toplama ve gri su arıtma sistemleri bulunmakta; lavabolardan gelen su, arıtma sisteminden geçirilerek rezervuarlara gönderilmekte, depoda biriken yağmur suyu ise bahçe sulamasında kullanılmaktadır (Temizkan ve Tuna Kayılı, 2021).

Gaziantep Üniversitesi ile Gaziantep Büyükşehir Belediyesi’nin ortaklaşa planlayıp tamamladığı Gaziantep Ekolojik Binası, yenilenebilir enerji teknolojilerinin de yer aldığı bir proje olarak LEED Platin sertifikasını elde etmiştir. Bu yapıdaki yağmur suyu toplama ve gri su arıtma sistemleri, klozet rezervuarlarında yeniden kullanılmak

üzere tasarlanmış olup, hasat edilen yağmur suyu peyzaj alanlarının sulanmasında da kullanılmaktadır (Temizkan ve Tuna Kayılı, 2021).

Piri Reis Üniversitesi Tuzla kampüsü, BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) "Çok İyi" sertifikasına sahip olup, yağmur suyu hasat sistemiyle kampüs peyzajının sulanmasını sağlamaktadır. Lavabo ve duşlardan gelen sular, ayrı bir hat depolanmakta; gri su arıtma sisteminden geçtikten sonra rezervuarlara dağıtılmakta ve araç yıkamada kullanılan sular da arıtılarak geri dönüştürülmektedir (Temizkan ve Tuna Kayılı, 2021).

Boğaziçi Üniversitesi, AASHE'nin STARS değerlendirmesinde Bronz statüsü kazanmıştır. Kandilli Kampüsü'nde yer alan Tsunami İzleme Binası (2013) ve Gözlükule Kazıları Araştırma Merkezi (2016) gibi yapılar LEED Gold sertifikası almış, ayrıca Ulusal Deprem İzleme Merkezi ve Kuzey Kampüs binalarında yağmur suyu toplama sistemleriyle hasat edilen su temizlik, bahçe sulama ve rezervuar kullanımı gibi alanlarda değerlendirilmiştir. Yurt olarak hizmet veren Hamlin Binası, 2011'de LEED Gold sertifikasını alarak Türkiye'nin sürdürülebilir kampüslerinden biri haline gelmiştir (Sevimli, 2021).

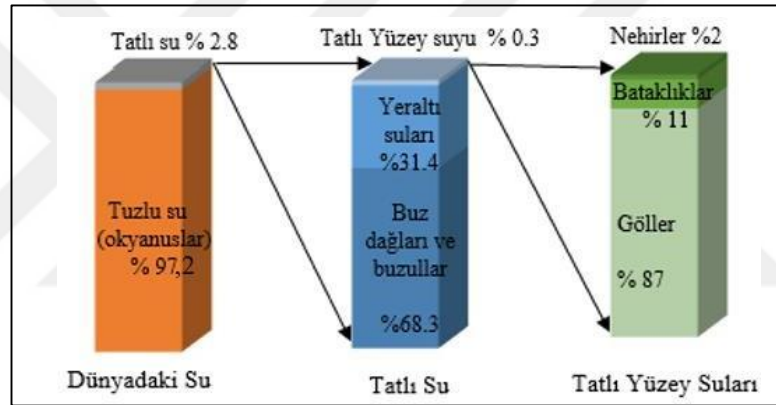
1.6. Yağmur Suyu Hasadı

Günümüzde dünya genelinde 1,2 milyardan fazla insan temiz, yeterli ve ekonomik suya erişimden yoksunken, 2,6 milyar insan temel sağlık hizmetlerinden faydalanamamaktadır. Her yıl çoğunluğu çocuk olan yaklaşık 2,4 milyon kişi suyla bulaşan hastalıklar nedeniyle yaşamını yitirmektedir (WHO & UNICEF, 2004). Bu durum, güvenli su teminine yönelik alternatif yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır.

Yağmur suyu hasadı, temiz su temininde önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Yağmur suyu doğada bulunan en saf su kaynaklarından biri olarak kabul edilmekle birlikte, atmosferden geçerken bir miktar karbondioksit (CO₂), oksijen (O₂) ve azot (N₂) gibi gazları bünyesine katabilmektedir (Geben, 2023).

1.6.1. Su Kaynaklarını Etkileyen Unsurlar

Su, hayatımızın her alanında etkili olan ve yeryüzünde sürekli döngü halinde bulunan temel bir maddedir. İnsan yaşam faaliyetleri için temin edilen su kütleleri, genel olarak su kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Dünya yüzeyinin üçte ikisinin su olması karşısında, tatlı su kaynaklarının toplamı yaklaşık %2,8'dir. Bu tatlı suyun %31,4'ü yeraltı suyu, %68,3'ü ise buzullar şeklinde bulunurken, geri kalan %0,3'ün %87'si göllerde, %11'i bataklıklarda ve %2'si nehirlerde yer almaktadır (Aytek ve Toprak, 2001). Dünyadaki su dağılımı Şekil 7'de grafiksel olarak gösterilmektedir. Su kaynaklarını, okyanuslar, akarsular, göller, buzul ve kar suları gibi “yüzey suları” ile; çatlak veya geçirimli tabakalardan yer altına sızarak akifer oluşturan “yeraltı suları” şeklinde iki ana gruba ayırabiliriz.

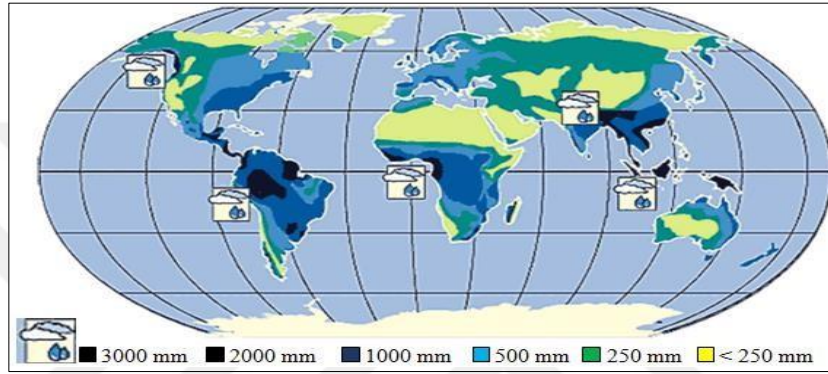


Şekil 7. Dünyadaki su dağılımı (Börü, 2022)

Su kaynakları, nüfus artışıındaki hızlı yükseliş, iklimsel değişkenlik ve artan tarımsal ile sanayi faaliyetleri nedeniyle günümüzde yaşam döngüsünü karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir su yönetimi için mevcut kaynakların korunmasının ve tasarruflu kullanımının önemini ortaya koymuştur. Yağmur suyunun toplanması, su tasarrufu, sürdürülebilirlik ve kaynakların korunması açısından diğer alternatif yöntemlere göre daha ucuz, kurulumu, bakımı ve işletilmesi daha pratik bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Kılıç ve Abuş, 2018; Ndiritu ve diğ., 2018).

1.6.1.1. Su Kaynaklarının Sınırlı Olması ve Yeryüzündeki Dağılımın Homojen Olmaması

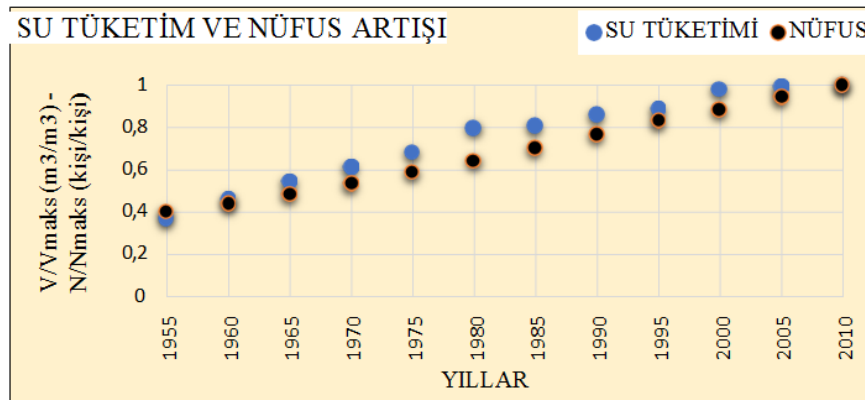
Dünyada, su kaynakları konuma ve zamana bağlı olarak nitelik ve nicelik açısından oldukça kısıtlıdır. Ekonomik yapıyı ve yaşam standartlarını doğrudan etkileyen bu kaynaklara olan talep sürekli artmaktadır (Teonian Meriç, 2004). Şekil 8’de, aynı kıta içindeki farklı bölgelerdeki yıllık yağış değerlerinin büyük farklılıklar gösterdiği, bazı bölgelerde 3000 mm gibi yüksek değerler görülürken bazı bölgelerde yalnızca 250 mm yağış alındığı açıkça ortaya konulmaktadır.



Şekil 8. Yıllık yağışların yeryüzüne dağılımı (Börü, 2022)

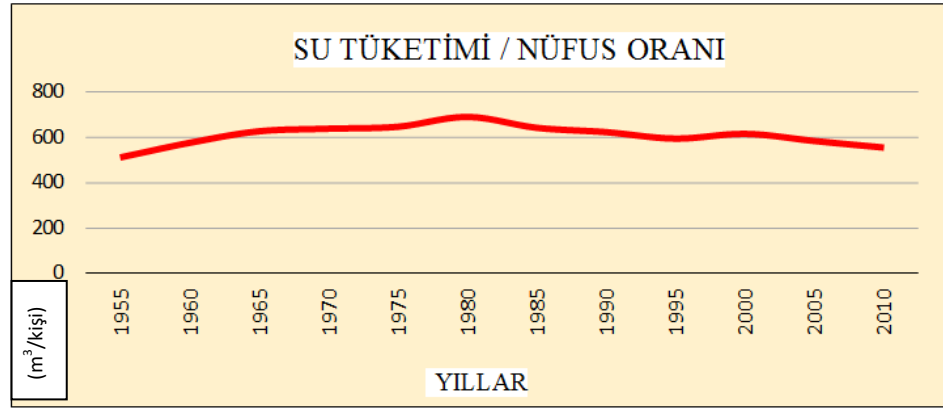
1.6.1.2. Nüfus Artışından Dolayı İçme ve Kullanma Suyuna Talebin Artması

Dünya nüfusunun önümüzdeki 30 yıl içinde 9 milyara ulaşacağı tahmin edilmekte ve bu artışın büyük ölçüde gelişmekte olan ülkelerde gerçekleşeceği öngörülmektedir. Mevcut su kaynaklarının azalması ve dengesiz dağılımı nedeniyle, suya erişim önümüzdeki yıllarda küresel bir kriz haline gelebilir (Tzanakakis ve diğ., 2020).



Şekil 9. Dünya da su tüketimi ve nüfus artışı (Ritchie ve Roser, 2018; Börü, 2022)

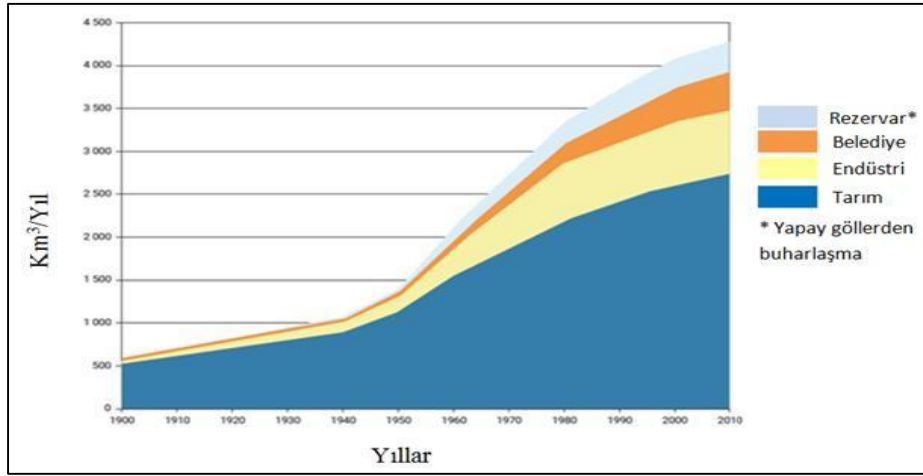
Dünya genelinde su tüketim ve nüfus artışı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Şekil 9’da, yıllara göre dünya nüfusu ile su tüketimi arasındaki değişim gösterilmektedir. Veriler, 1955-1975 yılları arasında su tüketiminde belirgin bir artış olduğunu, 1980 yılında ise bu oranın en yüksek seviyeye ulaştığını göstermektedir. 1980 yılındaki bu zirve, üçüncü sanayi devrimi ile ilişkilendirilmekte olup, bilişim teknolojilerinin sanayiye entegre edilmesi, seri üretim süreçlerinin gelişmesi ve sanayileşmenin hız kazanması, su tüketiminin artmasına neden olmuştur. Şekil 10’da gösterilen su tüketiminin nüfusa oranı grafiğinde de bu dalgalanma net bir şekilde görülmektedir (Börü, 2022)



Şekil 10. Dünya da su tüketiminin nüfusa oranı (Börü, 2022)

1.6.1.3. Nüfus Artışından Dolayı Tarımsal Sulama Suyu İhtiyacının Artması

Tarım, insanlık tarihi boyunca toplumların yerleşik hayata geçmesini ve devletlerin oluşmasını sağlayan temel unsurlardan biri olmuştur. Tarımın sürdürülebilir şekilde yapılabilmesi için suya olan ihtiyaç kritik bir faktördür. Özellikle yarı-kurak ve kurak bölgelerde tarımsal sulama, tarım faaliyetlerinin sürekliliğini sağlamak açısından zorunlu bir uygulamadır. Ancak, sulama sistemleri ve drenaj projeleri önemli etkiler sağlarken, yanlış uygulamalar birtakım olumsuzluklara da neden olmaktadır (Özkay ve diğ., 2008).



Şekil 11. Dünya da su kullanımının sektörsel dağılımı (Loudière ve Gourbesville, 2020)

Şekil 11’de görüldüğü gibi, 1900 yılından itibaren suyun en fazla tüketildiği sektör tarım olmuştur. 1950’den sonra sanayi ve evsel kullanımlar artış gösterse de, tarımsal sulama hala en büyük su tüketim kaynağı olarak öne çıkmaktadır (Loudière ve Gourbesville, 2020). Tarım sektöründe kullanılan yoğun sulama, suyun sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Yanlış ve aşırı sulama teknikleri, toprağın tuzlanmasına, yeraltı su seviyelerinin düşmesine ve ekosistem dengesinin bozulmasına yol açmaktadır. Bunun yanı sıra, yüzey sularının yetmediği durumlarda aşırı yeraltı suyu kullanımı, şu gibi olumsuz sonuçlara neden olabilir:

- İhtiyaç sahiplerinin zamanla su tedarik sorunu yaşaması,
- Tarımsal sulamada kullanılan suyun doğal su kaynaklarına karışarak su kirliliğine neden olması,
- Yeraltı su seviyelerinin tehlikeli seviyelere düşmesi ve obruk gibi doğal afetlerin ortaya çıkması.

Bu gibi sorunların önüne geçebilmek için, tarımsal sulamada modern teknikler ve suyun verimli kullanımı teşvik edilmelidir. (Dişbudak, 2008)

1.6.1.4. Sanayi ve Teknoloji Gelişiminden Kaynaklı Sanayi Suyu İhtiyacının Artması

Sanayileşme, 18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren tarım ekonomisinden endüstriyel üretime geçişle birlikte büyük bir dönüşüm süreci yaşamıştır. Sanayi devriminden önce tarımsal üretim genellikle insan ve hayvan gücüne dayalı olarak yapılırken, sanayileşmeyle birlikte makineler ve otomasyon sistemleri devreye girmiştir (Günay, 2002). Sanayi alanındaki teknolojik ilerlemeler, insanlığa birçok fayda sağlamış olmakla birlikte, doğal kaynakların hızla tükenmesine, çevre kirliliğine ve sanayi ile bağlantılı işsizlik sorunlarına yol açmıştır (Günay ve Arıdur, 2001). Günümüzde sanayinin gelişmesiyle birlikte, dünya genelinde su tüketimi de giderek artmış; sanayi bölgelerinde faaliyet gösteren işletmelerin büyük miktarlarda su kullanması, su kaynakları üzerinde baskı oluşturmuştur. Sanayi faaliyetlerinde su; üretim sürecinde, işleme aşamalarında, yıkama, soğutma ve atık yönetimi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bunun sonucunda, sanayide kullanılan su atık suya dönüşerek çevreye zarar vermekte ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır (Lyu ve diğ., 2021). Özellikle, sanayileşmeyle birlikte kırsal nüfusun kentlere göç etmesi, şehirlerdeki nüfus yoğunluğunu artırmış; bu da su tüketimini ve su kirliliğini daha da ciddi bir sorun haline getirmiştir (Ulusoy ve Vural, 2001).

1.6.1.5. Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri

Küresel iklim değişikliği, kısa ve uzun vadede sera gazlarının atmosferde artması sonucu meteorolojik, atmosferik ve iklim koşullarında kalıcı farklılıklara neden olan bir süreçtir (Toprak, 2016). Araştırmalar, sanayileşme ile birlikte fosil yakıt kullanımının artması, nüfusun hızla çoğalması ve insan faaliyetleri sonucu sera etkisi yaratan gazların atmosferde yoğunlaşmasının, iklim değişikliğinin başlıca sebepleri arasında yer aldığını göstermektedir (Batan ve Toprak, 2020).

İklim değişikliği, su kaynakları üzerinde önemli ve doğrudan bir etkiye sahiptir. Artan sıcaklıklarla birlikte su kaynaklarının azalması, kuraklık, buzulların erimesi, deniz seviyelerinin yükselmesi, sel ve kasırga gibi doğal afetlerin sıklığının artması gibi olumsuz durumlar yaşanmaktadır. Su döngüsündeki değişimler, atmosferde bulunan su buharı miktarını etkileyerek tahminleri zorlaştırmakta; bazı bölgelerde

şiddetli kuraklığa, bazı bölgelerde ise aşırı yağışlara neden olmaktadır (Santos ve diğ., 2020).

Tatlı su kaynakları üzerindeki bu değişimler, sürdürülebilir kalkınmayı, gıda üretimini ve ekosistemlerin doğal dengesini tehdit etmektedir (Kahinda ve diğ., 2010). Artan sıcaklıklarla birlikte su kıtlığı daha da belirgin hale gelmekte, su kaynaklarının korunması ve yönetimi konusunda daha stratejik planlamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, yağmur suyu hasadı, sürdürülebilir bir gelecek oluşturmak ve iklim değişikliğine karşı bir önlem geliştirmek adına önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Pandey ve diğ., 2003).

Ancak, yağmur suyu hasadı ve depolama sistemleri iklim değişikliğine karşı etkin bir çözüm sunarken, insan sağlığı açısından olumsuz etkiler yaratmamasına da dikkat edilmelidir. İklim değişikliğinin etkisiyle yağmur suyu hasadı sistemlerinde olumsuzluklar yaşanabilmekte, özellikle gelişmekte olan ülkelerde su tasarrufu ve su güvenliği konusunda riskler oluşabilmektedir. Yağış miktarındaki düzensizlikler, sistemin en kritik ve maliyetli parçası olan depolama tanklarının kapasitesini doğrudan etkilemekte ve su temininde dengesizliklere yol açmaktadır (Boelee ve diğ., 2013; Kisakye ve Van der Bruggen, 2018). Bu nedenle, yağmur suyu hasadı sistemleri iklim değişikliği faktörleri göz önüne alınarak tasarlanmalı ve uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlamak adına çeşitli önlemler alınmalıdır.

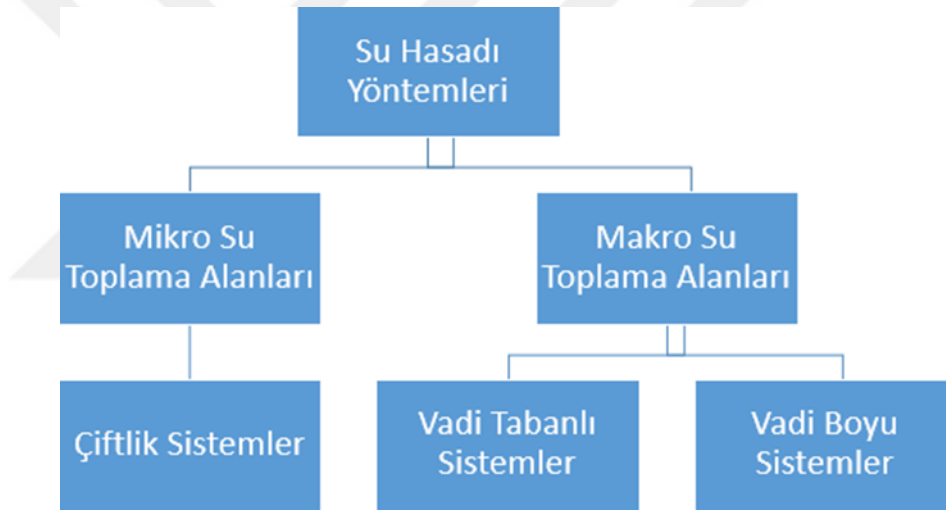
1.6.2. Yağmur Suyu Hasadı Yöntemlerinin Toplama Alanı Boyutlarına Göre Sınıflandırılması

Yağmur suyunun toplanıp depolanarak su ihtiyacını karşılamaya yönelik yapılan uygulamalar, su hasadı yöntemleri olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemin temel amacı, yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının bulunmadığı veya yetersiz olduğu bölgelerde ekonomik ve güvenilir bir su temini sağlamaktır (Ekinci, 2015; Aghaloo ve Chiu, 2020).

Yağmur suyu hasadı yöntemleri; kullanım alanları, su toplama alanının büyüklüğü ve depolama çeşitlerine göre sınıflandırılmaktadır (Ekinci, 2015; Tamaddun ve diğ., 2018). Bu yöntemler, mikro düzeyde bireysel kullanım ve küçük ölçekli projelerde uygulanırken, makro düzeyde büyük ölçekli su yönetim projeleri kapsamında geniş

alanları kapsayacak şekilde hayata geçirilebilmektedir (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).

Yağmur suyu hasadının etkin bir şekilde uygulanabileceği bölgeler; kurak, yarı kurak ve yarı nemli alanlar olarak belirlenmiştir. Bu bölgelerde, sıcaklık değerlerinin yükselmesi, mevsimsel yağış değişiklikleri ve yıllık yağış miktarının düşük olması, su kaynaklarına erişimi zorlaştırmaktadır. Yağmur suyu hasadına uygun bölgeler, yıllık yağış miktarının 150 mm'nin üzerinde olduğu yerler olarak belirlenirken, kış aylarında yoğun yağış alan ve yıllık yağışın 200 mm'yi geçtiği alanlar da su hasadı açısından elverişli kabul edilmektedir. Ancak, bu yağışların depolanmadığı veya etkin bir şekilde kullanılmadığı bölgelerde, yağmur suyu hasadı sistemleri kurulması büyük bir avantaj sağlamaktadır (Akkuzu, 2008).



Şekil 12. Su Hasadı Toplama Alanları (Ekinci, 2015)

1.6.2.1. Mikro Havza Su Hasadı

Mikro havza su hasadı, belirli bir alan üzerinde toplanan yağmur suyunun çeşitli yöntemlerle toprakta veya bitki köklerinde depolanmasını sağlayan bir sistemdir. Bu sistem özellikle ağaç, çalı ve tarla bitkileri için uygun olup, tarımsal sulama ve bitki gelişimini desteklemek amacıyla kullanılmaktadır (Ekinci, 2015; Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017; Akaydın, 2017). Mikro havzalar genellikle 1-1000 m² arasında değişen alanları kapsar ve yüzey akışı ile ekim alanı birbirine entegredir. Su, bitki kök bölgelerinde depolanarak bitkilerin ihtiyacına uygun şekilde kullanılmaktadır.

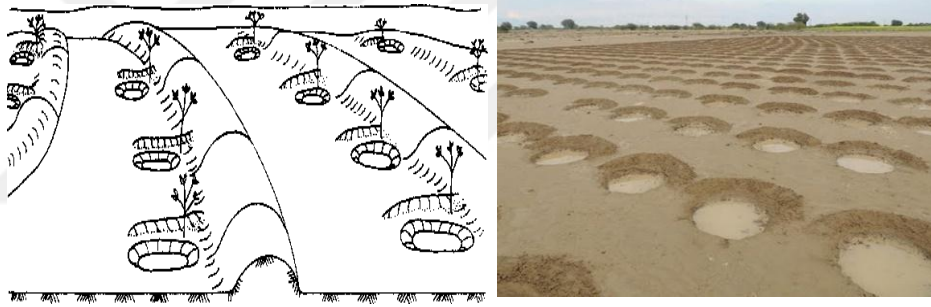
Bu sistem, yıllık yağış miktarı 200 mm olan bölgelerde ağaçlar, 300 mm olan bölgelerde ise kısa ömürlü bitkiler için uygulanabilmektedir (Akkuzu, 2008).

Mikro havza su hasadı sistemi çeşitli tekniklerden oluşmaktadır:

- **Kontur Sırtlar:** Yıllık yağış miktarının 300-600 mm arasında olduğu ve eğimin %1-25 arasında değiştiği bölgelerde kullanılan bir yöntemdir. Özellikle eğimin düşük olduğu yarı kurak iklimlerde etkili bir su hasadı tekniğidir (Ekinci, 2015).
- **Küçük Çukurlar:** Yüzey akış sularının oyuklar açılarak tutulmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu sistem, verimi düşük tarım arazilerinin yeniden değerlendirilmesine olanak tanır. Genellikle tek yıllık ürünler için tercih edilir. 5-15 cm derinliğinde çukurlar açılarak, gübre ve bitki kalıntıları ile toprağa karıştırılır (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).
- **Yüzey Akış Şeritleri:** Arazi eğiminin düşük olduğu bölgelerde tercih edilen bir yöntemdir. Patates, keten, tahıl ve yer elması gibi ürünlerin üretimini desteklemek amacıyla kullanılır. Tarlalar izohipsler şeklinde şeritlere ayrılır, suyun depolanmasını sağlayan şeritler kaynaktan itibaren düzenlenir (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017; Hofman-Caris ve diğ., 2019).
- **Meskat Sistemi:** 200-400 mm yıllık yağış alan ve %2-15 eğime sahip bölgelerde tercih edilen bir tekniktir. Sistem, yağışın toplandığı "Meskat" bölümü ve bitkilerin ekildiği "Manka" bölümlerinden oluşur. Yaklaşık 20 cm'lik bir toprak setle çevrili olan bu alanlar, suyun daha verimli kullanılmasını sağlar (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017; Hassani ve diğ., 2016; Hajjar ve diğ., 2020).
- **Yarı Dairesel Toprak ve Taş Seddeler:** Yonca, korunga ve fiğ gibi yem bitkileri ile mera alanlarının ıslahı için kullanılan bir tekniktir. Toprak dolgular yarım daire şekline getirilerek suyun tutulması sağlanır. Ayrıca, ağaçların yetiştirilmesinde de yaygın olarak tercih edilmektedir (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017; Guyassa ve diğ., 2017; Guillaume ve diğ., 2017).
- **Negarim Sistemi:** Havzanın en düşük kotunda bulunan çukurların, 25 cm yüksekliği geçmeyecek şekilde toprak seddelerle veya sırtlarla çevrildiği baklava desenli mikro havzalar oluşturulması prensibine dayanır. Negarim'lerin boyu 10-

25 m, eni ise 5-10 m arasında değişmekte olup, fidan sayısına ve ağaç cinsine göre 10-100 m² aralığında farklılık göstermektedir. Bakım ihtiyacının düşük olması nedeniyle uzun yıllar boyunca kullanılabilir (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).

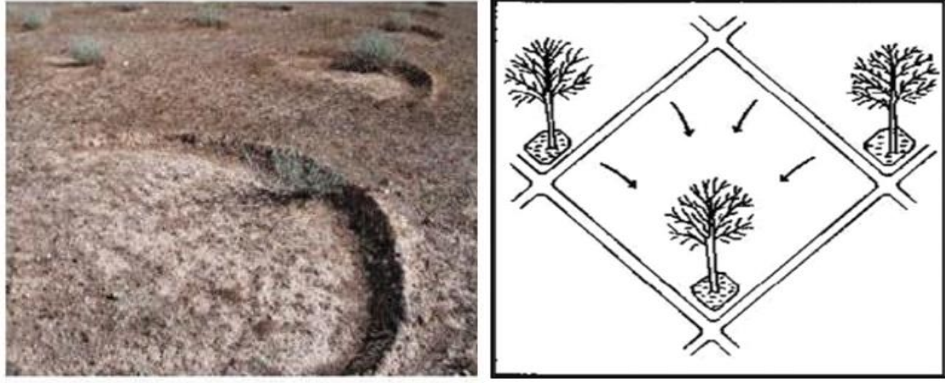
- **Eş Yükselteli Teraslar:** 200-600 mm yıllık yağış alan ve %20-60 eğime sahip bölgelerde uygulanan bir tekniktir. Özellikle ağaç dikimi için birçok ülke tarafından yaygın olarak tercih edilmektedir (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).
- **Sıra Arası Çiftlik Sistemleri:** Verimli yağış alan fakat bitki yetiştirme açısından elverişsiz olan bölgelerde tercih edilen bir tekniktir. Bitkilerin ekileceği alanlar karık ve sırt tipinde düzenlenerek suyun yönlendirilmesi sağlanır. Düz arazilerde en etkili tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir (Krois ve Schulte, 2014; Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).



Şekil 13. Kontur Sırtlar ve Küçük Çukurlar (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)



Şekil 14. Yüzey Akış Şeritleri ve Meskatlar (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)



Şekil 15. Seddeler ve Negarim (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)

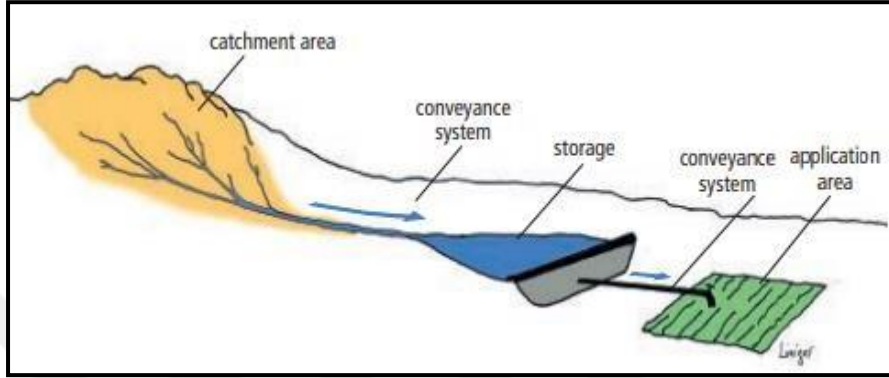


Şekil 16. Eş Yükseltili Teraslar ve Sıra Arası Çiftlik Sistemleri (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)

1.6.2.2. Makro Havza Su Hasadı

Makro havza su hasadı sistemleri, dağlık alanlar, doğal meralar, bozkırlar ve büyük eğimli bölgelerde oluşan yağmur sularını toplayarak depolayan ve bitki yetiştirilen alanlara yönlendiren bir sistemdir. Bu sistem, taşkın su hasadı olarak da bilinmektedir (Ekinci, 2015; Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017; Akaydın, 2017). Makro havza su hasadı sistemlerinde toprak yüzeyinde oluşan yüzey akışı toplanmakta, ancak mikro havza sistemlerine kıyasla daha büyük bir alan üzerinde bu işlem gerçekleştirilmektedir. Ekim yapılan alanın dışında geniş bir havza bulunur ve yüzey akışını artıran çeşitli yapılar eklenebilir. Bu sistemin %5-50 arasında eğime sahip bölgelerde uygulanması gerekmektedir. Ekim yapılan alanlar, teras şeklinde veya eğimi %10'dan az olan düz arazilerde oluşturulmalıdır. Yıllık yağış miktarının 300 mm'den fazla olduğu bölgelerde etkin bir şekilde uygulanmaktadır (Akkuzu, 2008).

Makro havza su hasadı, ani ve yoğun yağışlardan sonra yüzeye düşen, yeraltına sızmayan ve taşkın riski oluşturan suların toplanmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu sistem, sel ve taşkınların neden olabileceği zararları en aza indirirken, aynı zamanda tarımsal alanlardaki toprak nemini artırarak, yeraltı su seviyelerinin beslenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu teknik, binlerce yıldır dünyanın farklı bölgelerinde aktif olarak kullanılan su hasadı yöntemlerinden biridir (Örs ve diğ., 2011).



Şekil 17. Yağmur Suyu Hasadında Görülen Aşamalar: Havza, Akış, Depolama ve Hedef (Liniger,2013).

Makro havza su hasadı sistemleri, büyük ölçekli yüzey akışını yönlendirme ve depolama prensibine dayanan yöntemler içerir. Bu sistemler, ani taşkınları kontrol altına almak, suyun verimli kullanımını sağlamak ve tarımsal üretimi desteklemek amacıyla uygulanmaktadır. Makro havza su hasadı sistemleri çeşitli tekniklere ayrılmaktadır:

- **Küçük Çiftlik Rezervuarları:** Kapasiteleri 1.000 - 500.000 m³ arasında değişen küçük göletlerdir. Bu yöntemde, vadi içinden geçebilecek maksimum akış göz önünde bulundurularak en uygun kapasitedeki savak belirlenmelidir. Özellikle bozkır bölgelerinde etkili bir yöntem olup, tarım ürünlerine su sağlamak, üretimi artırmak ve ekosistem dengesine katkı sağlamak için kullanılmaktadır. Toplanan suyun en kısa sürede bitki köklerine yönlendirilmesi gerekir, böylece su kayıpları minimize edilir ve buharlaşma önlenir (Jiang Zhi-yun ve diğ., 2013; Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).
- **Jessour Sarnıçları:** Mevsimsel dere yataklarında veya yamaçların eteklerinde kurulan küçük barajlar ve teras sistemlerinden oluşur. Bu barajlar, toprak, kaya

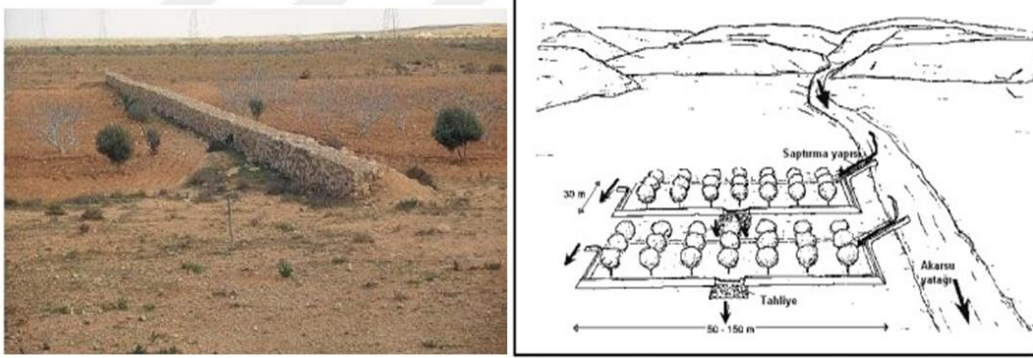
ve kum torbaları kullanılarak inşa edilir ve suyun kontrollü bir şekilde yönlendirilmesini sağlar (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).

- **Su Yayıcı Sistemler:** "Su taşkını saptırma" olarak da bilinen bu teknikte, vadiden akan suyun bir kısmı doğal akış alanından çıkarılarak tarım alanlarına yönlendirilir. Su yalnızca bitki kök bölgelerinde depolanır. Bu sistemin uygulanabilmesi için hafif eğimli ve geçirgen yapıya sahip topraklar gereklidir. Yapılar, taş, beton veya tel kafes dolgu malzemeleri kullanılarak oluşturulmaktadır (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).
- **Vadi Tabanı Sistemi:** Düşük eğimli vadi tabanlarında uygulanan yaygın bir tekniktir. Suyun hızı düşük olduğunda sedimentler vadi tabanına çökerek verimli tarım arazileri oluşturur. Küçük setler veya bentler inşa edilerek, suyun hızı azaltılabilir ve sedimentin birikmesi teşvik edilebilir. Genellikle zeytin, incir, hurma ve diğer meyve ağaçlarının yetiştirilmesi için kullanılır. Ancak, maliyet ve bakım gereksinimleri bu yöntemin uygulanabilirliğini kısıtlayan faktörler arasındadır (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).
- **Tanklar:** Genellikle vadilerden saptırılan suların yüzey akış alanları üzerinden toplanarak depolandığı su biriktirme yapılarıdır. Bu sistemler özellikle Hindistan'da çok yaygın olup, üç milyon hektar arazi bu yöntemle sulanmaktadır. Ayrıca Sudan, Ürdün ve Suriye'de daha küçük havuzlar yaygındır (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).
- **Geniş Taş Seddeler:** Taşmaların önlenmesi için çakışmayacak şekilde düzenlenen yapılardır. Her sedde arasındaki mesafe 10-100 m arasında değişmekte olup, yükseklikleri 1-2 m arasında olabilir. Ağaç, çalı ve tek yıllık bitkilerin yetiştirilmesi için kullanılan etkili bir su toplama yöntemidir. Trapez kesitli seddelerde, havza alanının üç tarafı seddelerle kaplanırken, eğim yönündeki taraf yüzey akışın bitkiye ulaşması için açık bırakılmaktadır (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020).
- **Yamaç Akış Sistemleri:** 200-600 mm yıllık yağış alan ve %10'u aşan eğime sahip arazilerde uygulanan bir tekniktir. Küçük taşıma kanalları, yamaçlardan akan suyu tepenin eteğindeki ekili alanlara yönlendirmektedir. Sistemin

planlanması, yapıların sağlamlığı ve aşırı suyun uzaklaştırılması gibi faktörlere bağlıdır. Yüzey akış suyu, eğimli arazinin hemen tabanındaki düz tarlalara küçük oluk veya arklarla yönlendirilir. Suyun kontrollü bir şekilde vadi tabanına ulaşmasını sağlamak için, tarım alanları setlerle bölümlere ayrılmıştır (Ekinci, 2015; Akaydın, 2017).



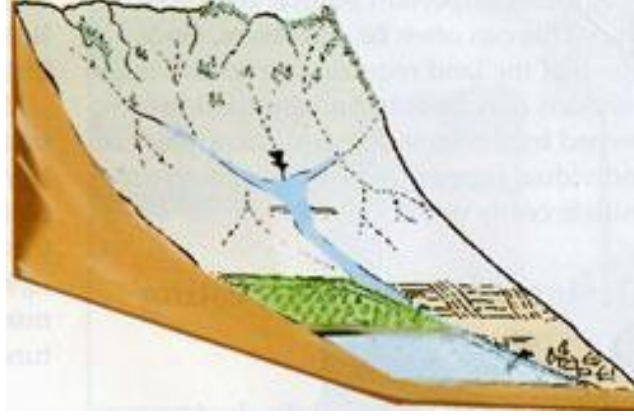
Şekil 18. Küçük Çiftlik Rezervuarları ve Jessor Sarnıçlar (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)



Şekil 19. Su Yayıncı Sistemler (Ekinci, 2015) ve Vadi Tabanı Sistemi (Yetik ve Şen, 2020)



Şekil 20. Tanklar ve Geniş Taş Seddeler (Ekinci, 2015; Yetik ve Şen, 2020)



Şekil 21. Yamaç akış sistemleri (Öztürk, 2022)

1.6.3. Geleneksel Yağmur Suyu Yönetim Modelleri

Geleneksel yağmur suyu yönetim modelleri, arıtma sistemlerine bağlı olmadan yağmur sularının hızla alıcı ortamlara yönlendirilmesini amaçlayan sistemlerdir (Kaplan, 2020). Bu sistemlerde yağmur suları göl, deniz, akarsu gibi doğal su kütlelerine veya su arıtma tesisleri ve kanalizasyon şebekelerine ulaştırılmaktadır (Zhou, 2014).

Aşağıda, geleneksel yağmur suyu yönetim modelleri detaylandırılmıştır:

1.6.3.1. Mazgallar

Mazgallar, geleneksel yağmur suyu yönetiminde en yaygın kullanılan bileşenlerden biridir. Kentsel alanlarda yağış suyunun filtrelenmesi, yüzey akışının azaltılması ve suyun yeraltına yönlendirilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Mazgallar, bulunduğu bölgenin taşıdığı yük ve çevresel koşullara bağlı olarak farklı büyüklüklerde ve şekillerde inşa edilmektedir (Demir, 2012; Levi, 2007).

1.6.3.2. Yağmur Suyu Drenaj Kanalları

Yağmur suyu drenaj kanalları, yağmur, kar ve yüzey akış sularının toplanarak yönlendirilmesini sağlayan sistemlerdir. Bu kanallar, tarım alanları, yollar ve kentlerde yağmur sularının hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasını ve uygun noktalarda depolanmasını mümkün kılar. Bu sistemler, arazi eğiminden yararlanılarak suyun

yerçekimi ile doğal yollarla tahliye edilmesini sağlamaktadır (Demir, 2012; Levi, 2007).

1.6.3.3. Sulak Alanlar

Sulak alanlar, doğal veya yapay olarak oluşturulabilen, geçici veya sürekli suya sahip, biyolojik çeşitliliği destekleyen ekosistemlerdir. Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği (SAKY)'nde; derinliği 6 metreyi geçmeyen ve içinde canlı yaşamına olanak sağlayan sazlık, bataklık ve turbiye gibi kıyı hattından karaya doğru olan bölgeleri sulak alan olarak tanımlanmaktadır (SAKY, 2014). Bu ekosistemler, sel riskini azaltmak, yağmur suyunun kalitesini iyileştirmek ve suyu doğal yollarla filtrelemek amacıyla kullanılmaktadır (Levi, 2007).

Kentsel yağmur suyu akışını kontrol etmek ve arıtımı sağlaman için oluşturulan bu bataklıklardaki bitki örtüleri, kirleticilerin arıtımını sağlar ve aynı zamanda bölgeye biyoçeşitlilik sağlar. Bu bölgelerde eğim %8'i geçmemelidir. Sulak alanlarda kirleticilerin arıtımı; adsorpsiyon, çökelme, mikrobiyal çözünme ve fiziksel filtrasyon işlemleriyle gerçekleşir (Strecker ve diğ., 1990).

Dünya genelinde %6'lık bir alan sulak alanlardan oluşmaktadır ve bu alanlar, tüm canlı türlerinin %40'ına, tüm hayvan türlerinin ise %12'sine ev sahipliği yapmaktadır (WWF, 2022).

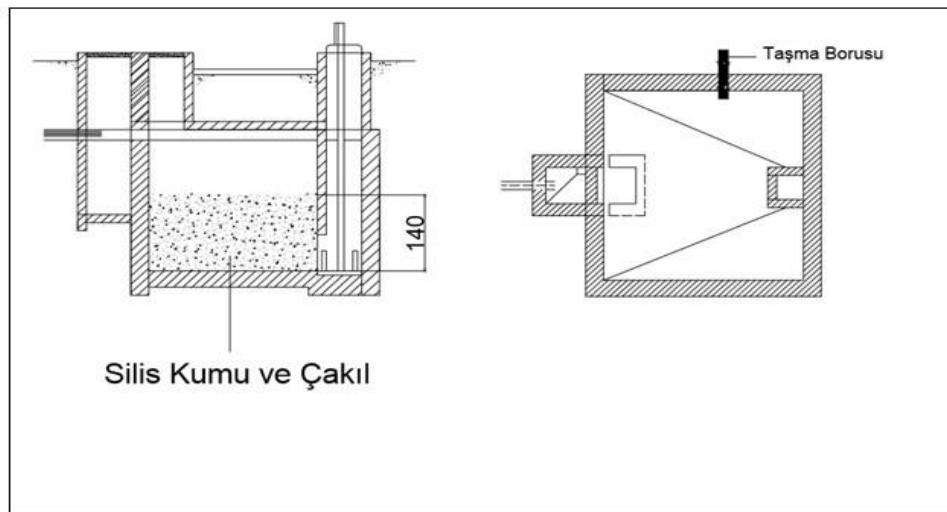
Sulak alanlar, sürdürülebilir su yönetimi ve biyoçeşitliliğin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Birçok canlının yaşadığı bu bölgeler aynı zamanda üreme ve göç döneminde canlıların sığınak alanları olurlar. Aynı zamanda iklim değişikliğiyle mücadelede ve karbon dengesinin korunmasında önemli roller üstlenmektedir. Sulak alanların faydaları;

- Tuzlu su girişini engelleyerek tarım alanlarının verimli kalmasını sağlar.
- Bölgesel sıcaklık değişimlerini dengeleyerek iklim koşullarını iyileştirir.
- Tarım, hayvancılık ve balıkçılığa katkı sağlar.
- Kentlerde doğal parklar ve yeşil alanlar oluşturarak yaşam kalitesini artırır.

- Bitki örtüsü aracılığıyla kirleticileri absorbe ederek su kalitesini iyileştirir.
- Taşkın, sel ve erozyon risklerini azaltarak yağmur sularını kontrollü bir şekilde depolayarak alçak havzalara yönlendirir.
- İklim değişikliğiyle mücadelede atmosferdeki fazla karbonu tutarak iklim dengesi üzerinde olumlu etki yapar.
- Yeraltı sularının temizlenmesini ve yenilenmesini sağlar.
- Göçmen kuşlar ve çeşitli ekosistemler için doğal yaşam alanı oluşturan bu alanlar biyoçeşitlilik yönünden çok zengindirler (Gülgün ve diğ., 2010; Eşbah Tunçay, 2021; Kusler, 2003).

1.6.3.4. Sarnıç

Sarnıçlar, yağmur suyunun teras, çatı, temiz yüzeyler ve kayalık alanlar gibi çeşitli yüzeylerden toplanarak depolanmasını ve su teminini sağlamayı amaçlayan yapılardır (Manioğlu ve Şahin, 2011). Genellikle su sızdırmaz bir yapı oluşturacak şekilde yer altına inşa edilen bu sistemler, özellikle kıyı bölgeleri, kırsal alanlar, yarı kurak bölgeler ve dağınık yerleşimlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Alparslan ve diğ., 2008).

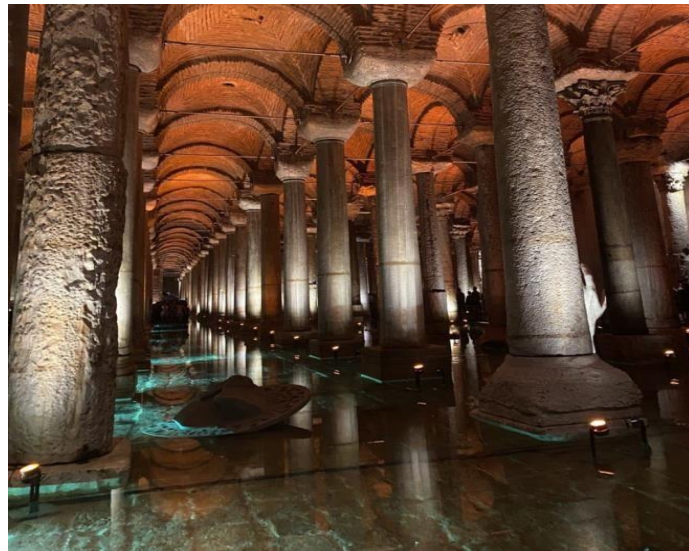


Şekil 22. Sarnıcın Düşey Kesiti ve Planı (Manioğlu ve Şahin, 2011)

Sarnıçlara aktarılan yağmur suyu, silis kumu ile filtrelenerek depolanmalıdır. Sarnıç planlamasında, alt 1/3'lük kısmı çakıl, üst kısmı ise ince kum ile kaplanmış yaklaşık 1 metre yüksekliğinde bir kum filtresi ile projelendirilmesi en uygun yöntem olarak önerilmektedir (Manioğlu ve Şahin, 2011). Şekil 22, sarnıcın düşey kesiti ve planını göstermektedir.

Bir sarnıç sistemi; yağmur sularının toplanması, suyun oluk sistemi ile iletilmesi, uygun depolama alanlarında biriktirilmesi ve arıtıldıktan sonra gerekli alanlarda kullanılması olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Bu bileşenlerin her biri, su kalitesinin korunması ve sarnıç sisteminin uzun vadede etkin bir şekilde çalışabilmesi için kritik öneme sahiptir (Alparslan ve diğ., 2008).

Sarnıçların tarihi Eski Mısır'a kadar uzanmaktadır. Bu dönemde, depolama tankları olarak kullanılan sarnıçlar, zamanla farklı medeniyetler tarafından geliştirilmiş ve yaygın bir su yönetim sistemi haline gelmiştir. Roma döneminde, sarnıçlar şehir altyapısının bir parçası olarak planlanmış, büyük su kemerleri ve su taşıma sistemleri ile entegre edilmiştir. 7. yüzyıldan itibaren, sarnıçlar özellikle şehirlerdeki su ihtiyacını karşılamak amacıyla daha yaygın hale gelmiş ve kamuya açık su temini için kullanılmıştır (Eşbah Tunçay, 2021). Türkiye'de sarnıçlara en iyi örneklerden biri, İstanbul'daki Yerebatan Sarnıcıdır. Bizans İmparatorluğu döneminde inşa edilen bu sarnıç, halkın su ihtiyacını karşılamak amacıyla farklı su kaynaklarından beslenerek uzun yıllar boyunca kullanılmıştır (Konyalı Dereli ve Çay, 2020).



Şekil 23. Yerebatan Sarnıcı-İstanbul

Japonya, Güney Kore ve Hong Kong gibi yapılaşmanın yoğun olduğu ülkelerde, taşkınların yol açtığı hasarı azaltmak ve depolanan suyun verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla dev yeraltı sarnıçları inşa edilmiştir. Bu sistemlerin temel amacı, kentsel taşkınların önüne geçmek, alternatif su kaynakları oluşturmak ve afet anlarında acil su teminini sağlamaktır (Furumai ve diğ., 2008).

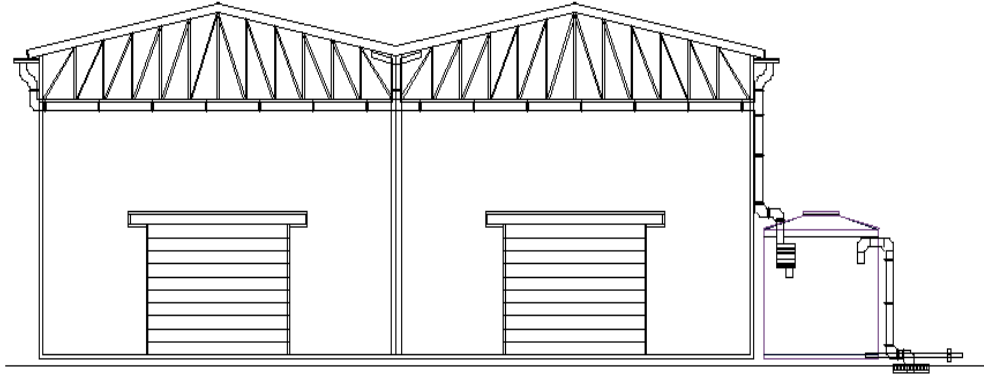


Şekil 24. Tokyo dev su sarnıcı

1.6.4. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetim Modelleri

Sürdürülebilir yağmur suyu yönetim sistemlerinin temel amaçları; yüzey akış miktarını ve su kalitesini kontrol etmek, hidrolojik ve ekolojik döngünün devamlılığını sağlamak, biyoçeşitliliği desteklemek ve olası çevresel olumsuzlukları en aza indirmek olarak sıralanabilir (Zhou, 2014).

Günümüzde birçok ülke, yüzey suyu akışını kontrol altına almak ve yağmur suyu yönetimini daha etkin hale getirmek için çeşitli stratejiler geliştirmekte ve yeşil altyapı teknolojileri uygulamaktadır. Bu kapsamda uygulanan sürdürülebilir yöntemler arasında; depo (tank) yöntemi, yağmur kanalizasyonları, hendekler, yağmur suyu havzaları, yüzey drenajları, yağmur bahçeleri, yeşil çatılar, filtrasyon şeritleri, açık akarsular ve havuzlar gibi çözümler bulunmaktadır (Woods-Ballard ve diğ., 2007).



Şekil 26. Yer Üstü Yağmur Suyu Toplama Planı



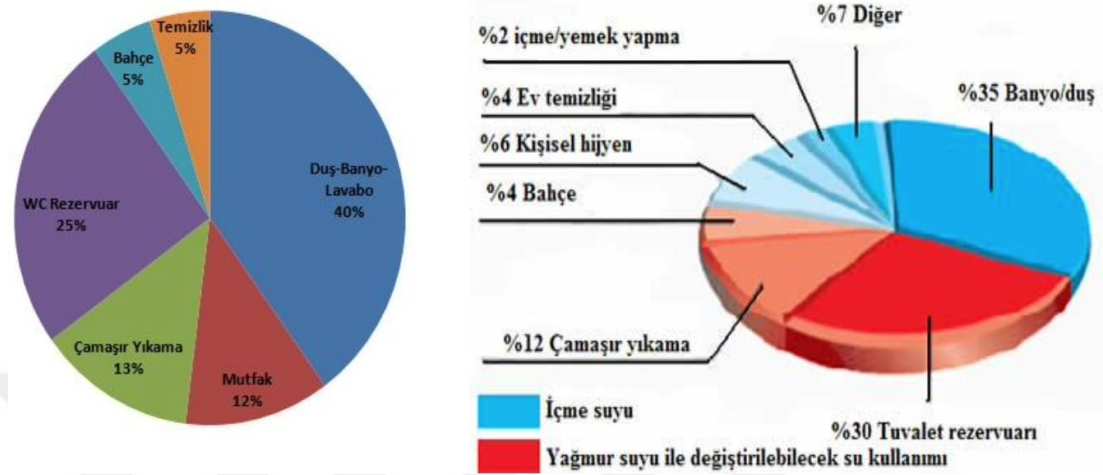
Şekil 27. Yer Altı Yağmur Suyu Depolama Tankı



Şekil 28. Yer Üstü Yağmur Suyu Depolama Tankı

Tanklarda depolanan yağmur suları, yeşil alan sulaması, gerekli filtrasyon işlemlerinden sonra çamaşır yıkama ve tuvalet rezervuarları gibi evsel kullanım alanları, soğutma sistemlerinde soğutma suyu olarak ve araç yıkama işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, ıssız ve kurak bölgelerde içme suyu

kaynağı olarak değerlendirilmesi mümkündür. Ancak, depolanan yağmur suyu doğrudan içme suyu standartlarını karşılamamakta olup, güvenli tüketim için gerekli arıtım işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir (Wilson ve Navaro, 2008).



Şekil 29. Günlük evsel su kullanımı ve yağmursuyu değerlendirilmesi (Tanık, 2017).

Yağmur Suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik kapsamında, hasat edilen yağmur suyunun kullanma suyu olarak depolanması sırasında askıda katı maddelerin (AKM) sisteme girişini önlemek amacıyla, filtrasyon sistemlerinin suyun toplanma hattına yerleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, yönetmelikte bu filtreleme sistemlerinin sahip olması gereken teknik özellikler detaylandırılmıştır (ÇŞB, 2017a).

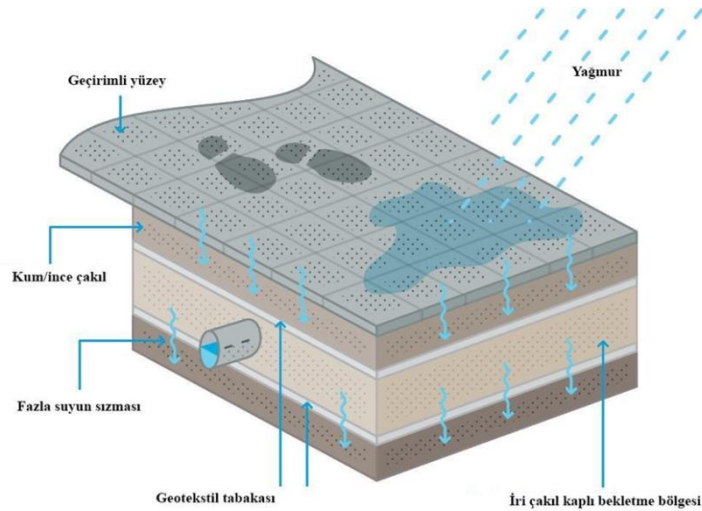
Bununla birlikte, yönetmelikte yüzeysel akış sularının ve yağmur suyu kullanımına ilişkin kalite parametrelerine doğrudan yer verilmemiştir. Ancak, yönetmelikte belirlenmemiş standartlar için öncelikli olarak Türk Standartları Enstitüsü (TSE) standartlarının, bunların bulunmaması durumunda ise AB standartlarının geçerli olacağı ifade edilmiştir. Bu kapsamda, AB'nin 76/160/EEC yönetmeliğinde belirtilen evsel kullanım amaçlı suyun kalite parametreleri ve bu parametrelere ilişkin sınır değerler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Kullanım suyu için gerekli kalite parametreleri (AB 76/160/EEC 1975)

Parametre	Parametre miktarı
Toplam Koliform Bakterisi	< 10.000 / 100 ml
E-koli Bakterisi	< 1.000 / 100 ml
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	< 5 mg/l
Oksijen Doygunluğu	> 50%
Ultraviyole (UV) aktarımı	254 nm (1 cm) > 60%

1.6.4.2. Geçirgen Yüzeyler

Geçirgen yüzeyler, toprağın suyu doğal yollarla süzmesini sağlayarak kirletici maddelerden arındırılmış yağmur suyunun yer altı su kaynaklarına katkı sağlamasına olanak tanıyan yüzey kaplamalarıdır. Bu sistemler, genellikle geçirgen özellikteki asfalt ve beton gibi malzemelerle oluşturularak özellikle yaya ve araç yollarında uygulanmaktadır. Sistemin temel amacı; yüzeyde biriken suyun alt tabakalara kolayca geçişini sağlamak ve bu suyun depolama bölgesinde birikmesini mümkün kılmaktır. Geçirgen yüzeyler, sokaklar, yürüyüş yolları, oyun alanları, spor alanları, caddeler ve otoparklar gibi çok çeşitli kentsel alanlarda kullanılabilmektedir (Semiz, 2016; Coşkun Hepcan, 2019) (Şekil 30).



Şekil 30. Geçirgen yüzey örneği (Urban Water, 2022)

Bu uygulama, kentleşmenin artmasıyla birlikte oluşan geçirimsiz yüzey oranını azaltmak, yüzey akış debisini kontrol altına almak, yer altı su seviyelerini

desteklemek, geçici su depolama alanları oluşturmak ve su kaynaklarının kirlenmesini önlemek amacıyla tercih edilmektedir (Levi, 2007).

Geçirgen yüzey sistemleri, gözenekli ve geçirgen yüzeyler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Gözenekli yüzeyler, çim veya çakıl gibi malzemelerin derz olarak kullanıldığı yüzeylerdir. Buna karşılık, geçirgen yüzeyler daha çok özel karışumlu asfalt veya beton ile oluşturulmaktadır. Bu tür yüzeyler, yağmur suyu akış hızını yaklaşık %42 oranında azaltmakta ve böylece taşkın riski ile yüzey erozyonunu düşürmektedir (Scholz ve Grabowiecki, 2007).

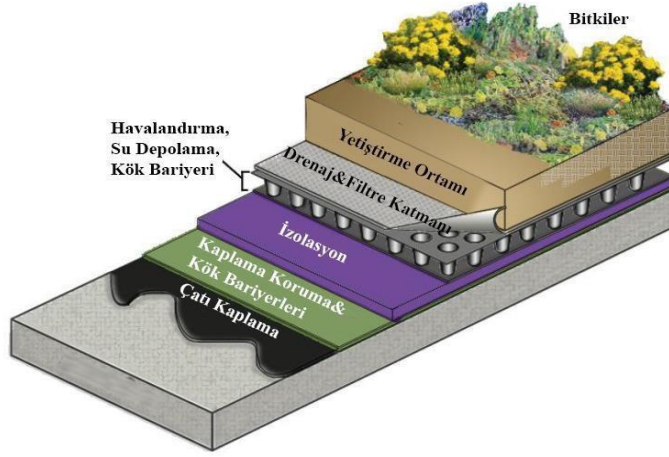
Geçirgen yüzeylerin en önemli faydalarından biri, yüzey akışıyla gelen suyun yer altına emilimini mümkün kılmasıdır. Bu sistemler sayesinde, yıllık yağışın neredeyse %90'ı yer altı suyuna katkı sağlar hale gelmektedir. Ayrıca çevresel açıdan da oldukça faydalı olan bu sistemler; %82 ile %95 arasında sediment giderimi, %80 ile %85 arasında toplam nitrojen giderimi, %65 seviyesinde fosfor giderimi ve ağır metal gibi iz elementlerin tutulmasında etkili bir filtreleme sağlar (EPA, 1999; Sevimli, 2021).

Geçirgen yüzey sistemleri, genellikle düşük yoğunluklu yaya trafiğine sahip alanlarda uygulanmaktadır. Bu alanların düzenli bakım ve onarıma uygun olması gerekmektedir. Sistemlerin etkinliğinin sürdürülebilmesi için yılda en az dört kez bakım yapılması önerilmektedir. Ayrıca, anaerobik ortam oluşumunun önüne geçilmesi adına, yüzeye düşen suyun 48 ila 72 saat içerisinde toprağa sızabilecek şekilde sistemin planlanması gereklidir (EPA, 1999).

1.6.4.3. Yeşil Çatılar

Yeşil çatılar, geleneksel çatıların üzerine bitkilerin belirli bir sistem dahilinde yerleştirilerek oluşturulduğu, ekolojik sürdürülebilirlik odaklı sistemlerdir (Korkut ve diğ., 2017). Bu sistemler, hem binalarda enerji verimliliğini artırmayı hem de kentsel yaşam alanlarında çevresel kaliteyi iyileştirmeyi hedeflemektedir. Aynı zamanda, yağmur suyunun miktar ve hızını azaltarak yüzeyde tutulumunu sağlamak gibi önemli hidrolojik işlevlere de sahiptirler (Demir, 2012; Levi, 2007). Sırasıyla; bitki örtüsü, yetiştirme ortamı, su geçirgen filtre tabakası, drenaj tabakası, su yalıtımı

sağlayan membran katman ve çatı yüzeyinin kendisi gibi çeşitli teknik bileşenler kullanılmaktadır (Peck ve Kuhn, 2003) (Şekil 31).



Şekil 31. Yeşil çatı bileşenleri (Gray ve Katzenmoyer, 2011)

Yeşil çatılar; doğal yaşamın devamlılığına katkı sağlamakta, enerji tasarrufu sunmakta, hava kirliliğini azaltmakta, biyoçeşitliliği desteklemekte ve yağmur suyu yönetimini kolaylaştırmaktadır. Bu çok yönlü faydaları nedeniyle, günümüzde birçok ülkede yeşil çatı uygulamaları yasal düzenlemelerle teşvik edilmekte, hatta zorunlu hale getirilmektedir (Korkut ve diğ., 2017). Örneğin, Fransa'da 2015 yılında yürürlüğe giren bir çevre düzenlemesi ile ticari alanlara inşa edilen yeni yapıların çatılarına yeşil çatı ya da güneş paneli kurma zorunluluğu getirilmiştir (The Guardian, 2015). Yeşil çatılar ayrıca; çatı membranının korunması, gürültü izolasyonu, yangın dayanıklılığı, ısı adası etkisinin azaltılması ve estetik katkılar gibi pek çok ek fayda da sunmaktadır (Pradhan ve diğ., 2019). Tarihsel olarak, yeşil çatıların farklı iklim bölgelerinde doğal bir yalıtım çözümü olarak kullanıldığı bilinmektedir. Örneğin; İzlanda ve İskandinavya gibi soğuk iklimlerde sıcaklık koruması, Tanzanya gibi sıcak iklimlerde ise serinlik sağlama amacıyla yeşil çatılar yüzyıllardır kullanılmaktadır. Ancak 1960'lı yıllarda kentsel çevrenin kalitesizleşmesi ve yeşil alanların azalmasıyla birlikte, özellikle Kuzey Avrupa'da bu sistemlere olan ilgi artmış, günümüzde ise Avrupa ve ABD başta olmak üzere birçok ülkede yaygınlaşmıştır (Peck ve Kuhn, 2003).

Yeşil çatılar teknik olarak altı katmandan oluşmaktadır:

- Belirli uygulamalara özel olarak seçilen bitkiler,

- Topraksız geliştirilmiş bir yetiştirme ortamı,
- Su geçiren ve kök girişini önleyen filtre katmanı,
- Sabit su hazneleri de içerebilen drenaj tabakası,
- Kök iticili su yalıtımı sağlayan çatı membranı,
- Geleneksel çatı yalıtım tabakalarıdır (Peck ve Kuhn, 2003).

Yeşil çatılar, kullanım amacı, bakım ihtiyacı, maliyeti ve yapının taşıyabileceği yüke göre extensive (yüzeysel) ve intensive (derin) yeşil çatı sistemleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yüzeysel yeşil çatı sistemleri, ince bir yetiştirme ortamı ile minimum bakım gerektiren ve sınırlı bitki çeşitliliğine sahip uygulamalardır. Derin yeşil çatı sistemleri ise daha kalın toprak tabakaları, gelişmiş sulama sistemleri ve geniş bitki çeşitliliği ile daha yüksek bakım ihtiyacı gerektiren sistemlerdir. Yüzeysel ve derin yeşil çatı sistemlerinin yapısal farklılıkları Şekil 32’de şematik olarak gösterilmiştir; avantaj ve dezavantajları ise Tablo 2’de sunulmaktadır (Peck ve Kuhn, 2003).



Şekil 32. Yüzeysel ve Derin Yeşil Çatı Şematik Gösterimi (Sevimli, 2021)



Şekil 33. Yüzeysel Yeşil Çatı Uygulaması, Chicago O'Hare Uluslararası Havaalanı (Sevimli, 2021)

Tablo 2. Yüzeysel ve derin yeşil çatı uygulamaları karşılaştırması (Peck ve Kuhn 2003)

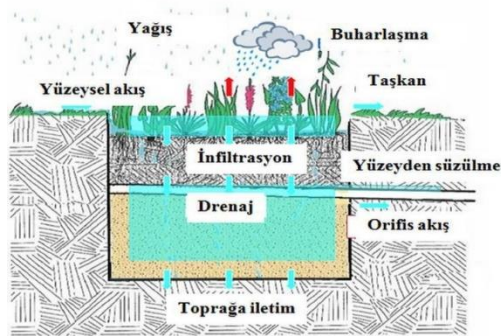
EXTENSIVE (Yüzeysel) ÇATI SİSTEMLERİ	Avantajlar:	INTENSIVE (Derin) ÇATI SİSTEMLERİ	Avantajlar:
	*Geniş alanlar için uygun bir sistemdir. *Doğal bir görünüme sahiptir. *Maliyeti daha uygundur. *Daha az uzmanlık gerektirir. *Genellikle güçlendirme projelerinde kullanılır. *Sulama veya özel drenaj sistemlerine ihtiyaç duyulmaz. *Bakım ihtiyacı azdır ve ömrü uzundur. *0-30° çatılar için uygundur. *Diğer sisteme göre toprak gereksinimi daha azdır, bu yüzden çatı güçlendirmesi gerekmez. *Bitki örtüsü dokusu kendiliğinden büyümektedir.		*Yalıtım özellikleri oldukça iyidir. *Daha uzun membran ömrüne sahiptir. *Görsel olarak estetik biçime getirilmesi mümkündür. *Daha fazla bitki ve habitat çeşitliliğine sahiptir. *Yağmur suyunun depolanması ve enerji verimliliğinin sağlanması extensive çatılara göre daha fazladır. *Yüzeyde var olan vahşi yaşam çatıda da taklit edilebilir. *Çatılar bitki üretmek için kullanılabileceği gibi eğlence amaçlı da kullanılabilmektedir.
	Dezavantajlar:		Dezavantajlar:
	*Enerji verimliliği ve yağmur suyunun depolanması azdır. *Özellikle kışın estetik görüntü bakımından zayıftır. *Yeniden tasarımı veya yeniden kullanımı sınırlıdır. *Bitki seçimi sınırlıdır.		*Extensive çatılara göre daha karmaşık bir sistem olduğundan uzmanlık gerektirebilir. *Daha yüksek bakım maliyetine ve sermayeye ihtiyaç duyulmaktadır. *Drenaj sistemi, sulama sistemi, malzeme, su ve enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. *Extensive çatıya göre daha fazla toprak kullanıldığından ağır bir sistemdir ve çatıya ağırlık yüklenmesine sebep olmaktadır.



Şekil 34. Derin Yeşil Çatı Uygulaması, Facebook Seattle Binası (Sevimli, 2021)

1.6.4.4. Yağmur Bahçeleri

Yağmur bahçeleri, yağmur suyunun doğrudan aktığı, derinliği fazla olmayan ve bitki yetiştirme potansiyeli bulunan çukur alanlarda oluşturulan, ekolojik temelli biyotutma havzalarıdır. Bu sistemler, alana düşen yağmur suyunu toplayarak toprağa sızmasını sağlar ve çevredeki yüzeysel akışın kontrolünü kolaylaştırır. Yağmur bahçeleri, gelen suyun miktarına bağlı olarak geçici olarak göllenme alanına dönüşebilir; bu göllenme miktarı, bahçede kullanılan bitki örtüsüne, yağışın yoğunluğuna, toprağın geçirgenliğine ve suyun sızma kapasitesine göre farklılık gösterir. Yağışın ilk anlarında genellikle 5–10 cm derinliğinde bir su birikimi oluşur. Ardından su, bahçe toprağına doğru süzülerek doğal döngüsünü sürdürür. Toplanan suyun bir kısmı drenaj yoluyla yer altına ulaşırken, geri kalan kısmı toprağına karışarak depolanır. Bitkiler ise bu suyu kullanarak terleme ve solunum yoluyla atmosferle etkileşime geçer ve böylece su döngüsüne katkı sağlar (Müftüoğlu ve Perçin, 2015; Doğangönül ve Doğangönül, 2008; Demir, 2012) (Şekil.35,36).



Şekil 35. Yağmur bahçesine gelen suyun döngüsü (Demir 2012)



Şekil 36. Yol kenarına oluşturulan yağmur bahçesi örneği (Tokuş ve Özdemir, 2017)

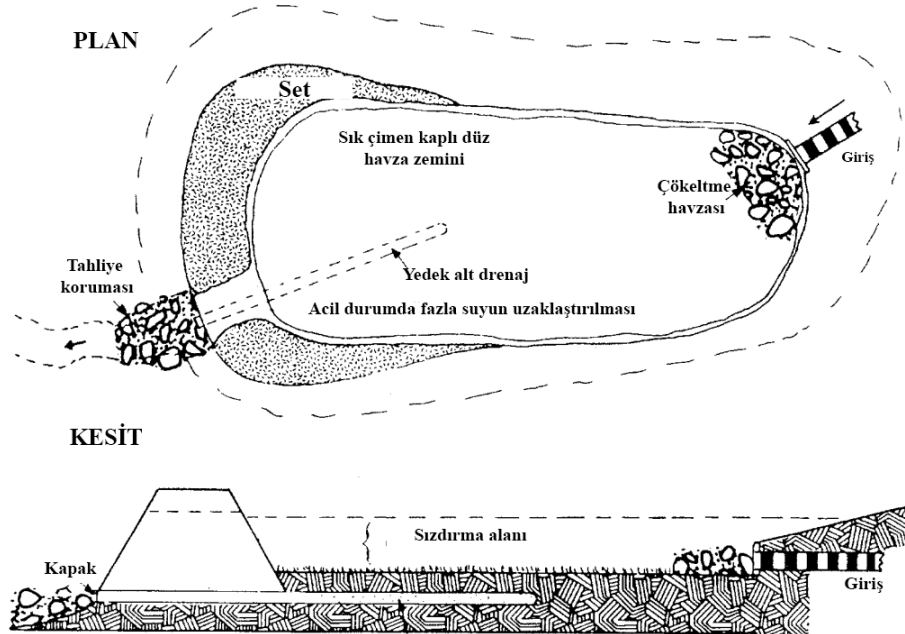
Yağmur bahçelerinde kullanılacak bitkilerin, bölgenin iklim koşullarına, toprak yapısına ve mevcut su miktarına uygun olması önemlidir. Gübre gerektirmeyen, doğal yollarla gelişebilen bitkiler tercih edilmelidir. Bahçenin verimliliğini doğrudan etkileyen en önemli unsur ise toprak yapısıdır. Siltli topraklar, yüksek sızma kapasitesine sahip oldukları için yağmur bahçeleri açısından en uygun toprak türü olarak kabul edilir. Öte yandan, sızdırma kapasitesi düşük olan killi topraklarda, daha geniş yüzey alanına sahip yağmur bahçeleri tasarlanmalıdır. Toprak veriminin yetersiz olduğu durumlarda, toprak yapısı iyileştirilerek %60 kum, %20 kompost ve %20 üst toprak karışımı önerilmektedir. Bu şekilde oluşturulan toprak yapısı, suyun hem filtrelenmesini hem de bitkilerin sağlıklı gelişimini destekleyerek yağmur bahçelerinin işlevselliğini artırmaktadır. Toprak türlerine göre kullanılacak katsayılar Tablo.3'te verilmiştir. (Demir, 2012; Eşbah Tunçay, 2021).

Tablo 3. Yağmur bahçelerinde kullanılacak toprak türlerinin katsayıları (Eşbah Tunçay, 2021)

Toprak Türü	Yağmur bahçesi derinliği		
	7-14 cm	15-20 cm	> 20 cm
Kumlu toprak	0.19	0.15	0.08
Siltli toprak	0.34	0.25	0.16
Killi toprak	0.43	0.32	0.20

1.6.4.5. İnfiltrasyon Hazneleri

İnfiltrasyon, yağmur ve sulama sularının, doğal eğim aracılığıyla toprağa doğru süzülerek aşağı hareket etmesi sürecidir (Demir, 2012). Bu süreci destekleyen ve yağmur suyunun doğal yollarla yer altına geçmesini sağlayan sistemlerden biri de infiltrasyon hazneleridir. Bu hazneler, yüzeyde biriken suyun kontrollü bir şekilde toprağa süzülmesini sağlar ve özellikle kentsel alanlarda yağmur suyu drenajı amacıyla yaygın olarak tercih edilmektedir (Şekil 38). İnfiltrasyon hazneleri tasarlanırken, suyun en az 72 saat içerisinde toprağa emilmesini sağlayacak şekilde planlanması önerilir. Bu sürenin amacı, hazne içindeki drenaj koşullarında aerobik ortamın sürdürülebilmesi ve kirletici maddelerin etkisinin en aza indirilmesidir (Sevimli, 2021). Ancak zamanla bu alanlarda alg oluşumu, sediment birikimi gibi sebeplerle tıkanıklık sorunları yaşanabilmektedir. Yapılan gözlemler, haznelerin %60–100’ünün ilk beş yıl boyunca etkili bir şekilde çalıştığını, ancak bu süreden sonra alt zemin montajı ve kum filtresiyle desteklenerek ömrünün uzatılabileceğini ortaya koymaktadır (WDEQ, 2013).



Şekil 37. İnfiltrasyon haznelerinin uygulaması (Schueler 1987; Sevimli 2021)

İnfiltrasyon sistemlerinin sağladığı başlıca faydalar şunlardır:

- Uzun vadede yer altı su kaynaklarının beslenmesini sağlar.
- Geçirimsiz yüzeylerin olumsuz etkilerini azaltarak doğal su döngüsünü destekler.
- Yağmur sularının kanalizasyon sistemine yönlendirilmesini engelleyerek, ek drenaj altyapısı ihtiyacını azaltır ve maliyetleri düşürür.
- Atık su arıtma tesislerindeki yükü azaltarak işletme maliyetlerinde tasarruf sağlar (Demir, 2012).

Sistem kurulurken dikkat edilmesi gereken temel noktalar ise şunlardır:

- İnfiltrasyon haznesi, yapı güvenliği açısından binaya en az 6 metre uzaklıkta planlanmalıdır.
- Haznedeki bitki örtüsü, filtrasyon görevi görerek toprağın geçirgenliğini artırır. Bu örtünün minimum 30 cm yüksekliğe sahip olması tavsiye edilir.
- Yüksek poroziteye ve geçirgenliğe sahip topraklar tercih edilmelidir. Sistemin verimli çalışması için hazne kaya tabakasının 120 cm üzerine planlanmalıdır.
- Hazne, yer altı su seviyesinin en az 100–150 cm üzerinde konumlandırılmalıdır (Demir, 2012).

1.6.4.6. Hendekler

Hendekler, yağmur suyu yönetiminde akış hızını düşürmek, yağışla birlikte taşınan katı maddeleri ve kirleticileri tutmak amacıyla kullanılan doğal drenaj sistemleridir. Bu sistemler, genellikle suyun filtrelenmesinden önce bir ön arıtma işlevi görerek, biyotutma sistemlerinin yüzeyinde ilk basamak olarak tercih edilir. Aynı zamanda suyun doğal yollarla yönlendirilmesini sağlayarak hem suyun kalitesini artırır hem de taşkın riskini azaltır (Bayrak ve Küp, 2021; Sert, 2013) (Şekil 38) . Hendeklerin işlevselliği yıllık yağış miktarına bağlı olarak değiştiği için, bu sistemler planlanırken iklimsel veriler göz önünde bulundurulmalıdır (Levi, 2007).



Şekil 38. Hendeklerde filtreleme amacıyla kullanılan zambaklar (Sert, 2013)

Hendekler, yapısal özelliklerine göre bitkisel hendekler ve çimlendirilmiş hendekler olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Bitkisel hendekler, altlarında herhangi bir filtreleme katmanı bulunmayan sistemlerdir ve yağmur suyunun akışı tamamen bitki örtüsü aracılığıyla düzenlenir. Bu hendekler, sulak alanlar gibi davranarak yüzeysel akışla gelen kirleticilerin doğal yollarla giderilmesinde rol oynar. Depolama ve süzülme işlevi, doğrudan bitki örtüsü tarafından gerçekleştirilir. Ayrıca, seçilen bitki türleri suyun arıtılmasında etkili olup kirleticilerin tutulmasına katkı sağlar. Görsel ve estetik açıdan değerlendirildiğinde ise, bu sistemler bölgesel yeşil alanlar içerisinde beton veya diğer sert zemin kaplamalarına kıyasla çok daha doğal ve hoş bir çevre oluşturur (Schueler, 1987; Levi, 2007) (Şekil 39).

Çimlendirilmiş hendekler ise, yüzeyde yer alan çim katmanı, çakıl taşı ve suyu emebilen geçirgen toprak katmanları aracılığıyla çalışan açık bitki örtülü kanallardır. Bu sistemlerde, gelen yağmur suyu önce yüzeydeki bitkiler ve çakıl tabakasıyla filtrelendirilir, ardından alt katmandaki geçirgen topraktan süzülerek yer altına sızar. Genellikle yol kenarlarına ve otoparklara paralel olarak inşa edilen çimlendirilmiş hendekler, özellikle ağır metal ve diğer kirleticilerin tutulmasında oldukça yüksek verimlilik sağlar. Bu yönüyle hem suyun yer altına yönlendirilmesini kolaylaştırır hem de kirlilik yükünü azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunar (Schueler, 1987; WDEQ, 2013) (Şekil 39).

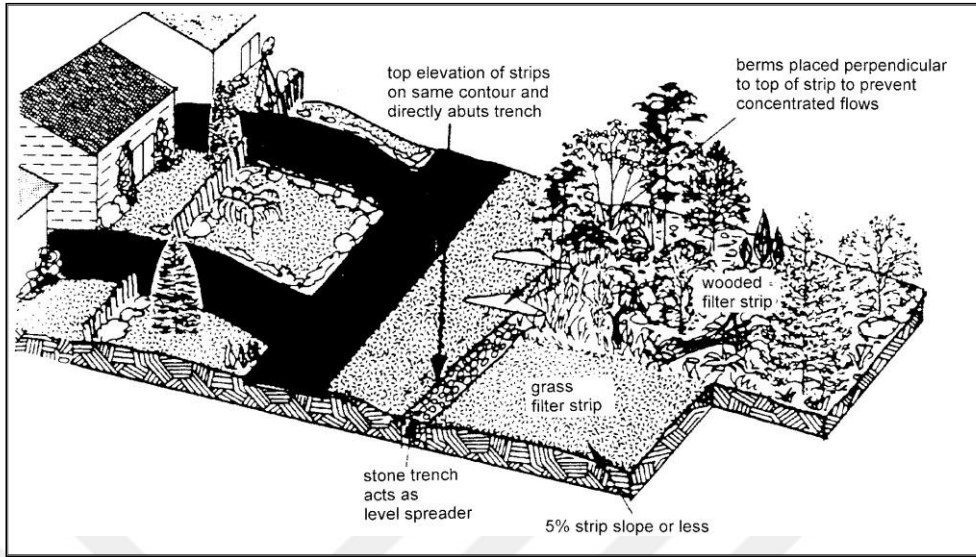


Şekil 39. Çimlendirilmiş ve Bitkisel Hendek Uygulaması (Sevimli, 2021)

1.6.4.7. Bitkili Su Arkları

Yağmur sularını yüzeyde taşıyan açık sistemlere su arkı adı verilmektedir (Levi, 2007). Bu sistemlerin bir türü olan bitkili su arkları, yağmur suyunun tahliye kanallarına ulaşmadan önce bitkisel örtüyle temas ederek akış hızının ve su miktarının azaltılmasını sağlayan açık kanallardır (Eşbah Tunçay, 2021). Genellikle eğimi %4'ün altında olacak şekilde planlanan bu yapılar, sığ tasarımları sayesinde hem estetik bir görünüm sunar hem de güvenlik açısından avantaj sağlar (Demir, 2012). Bitkili su arkları; doğal peyzaj düzeninin korunmasına, biyolojik çeşitliliğin artırılmasına ve çevresel estetiğin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Eşbah Tunçay, 2021).

Bu tür yapılar, yüksek debili akışların olduğu alanlarda yeterli performans gösteremeyeceğinden, düşük yağış oranlarının görüldüğü bölgelerde daha verimli kullanılmaktadır (WDEQ, 2013). Otoyollar, küçük otoparklar, çatı akar boruları ve geçirgen yüzeylerden gelen sınırlı miktardaki yüzey akışlarının kontrolü için idealdir. Bitkili su arklarında kirletici unsurların tutulma kapasitesi, kullanılan bitki türüne ve sistemin kurulu olduğu bölgenin iklim koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Özellikle düşük akış hızlarında, organik madde ve sedimentlerin giderimi, bazı ağır metal ve kimyasal elementlerin gideriminden daha yüksek oranda gerçekleşmektedir (Woodward-Clyde, 1991).

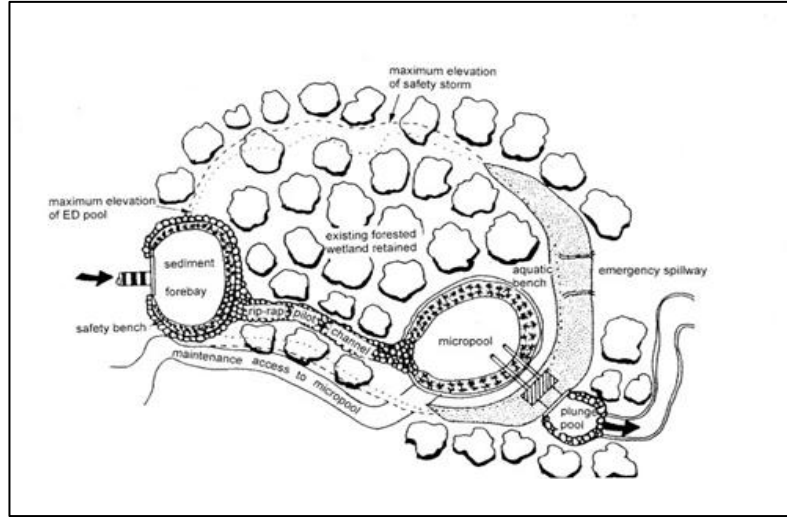


Şekil 40. Şerit Filtreler uygulamasının şematik gösterimi (Schueler 1987)

1.6.4.8. Yağmur Suyu Bekletme Göletleri

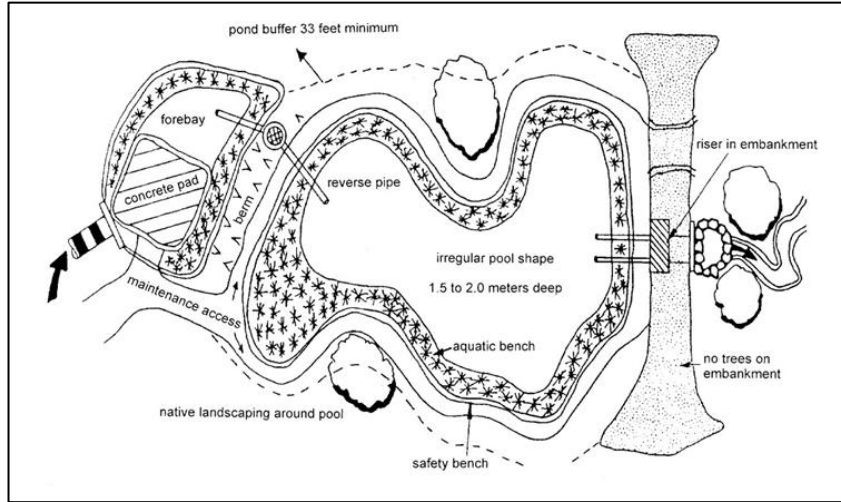
Yağmur sularında bulunan kirletici maddelerin belirli bir süre bekletilerek çökeltilmesi ve sudan ayrıştırılması amacıyla oluşturulan alanlara yağmur suyu bekletme göletleri adı verilmektedir. Bu sistemlerde, yüzeysel akışla gelen su dar kanallar aracılığıyla gölete yönlendirilmekte ve belirli sürelerle burada bekletilerek kirleticilerin çökmesi sağlanmaktadır. Bekletme göletleri; Kuru (Uzun Süreli) Bekletme Göletleri, Islak Bekletme Göletleri ve Çoklu Bekletme Göletleri olmak üzere üç ana tipe ayrılmaktadır (WDEQ, 2013).

Kuru (Uzun Süreli) Bekletme Göletleri, yağış olmayan dönemlerde içinde su bulunmayan ve yalnızca yağış anlarında dolan yapılar olarak tanımlanır. Bu tür göletlerde su, önce bir toplama havuzuna, ardından çökeltme havuzuna yönlendirilir. Ayrıca sistemde kirli suyun filtrelenmesini kolaylaştırmak ve tıkanmaları önlemek amacıyla tıkanma kontrol havuzu da bulunmaktadır. Bu sistemlerde göletin tasarımı ve havuz boyutları, kirleticilerin giderim oranlarını doğrudan etkilemektedir. Yapılan çeşitli çalışmalara göre; toplam fosfor giderimi %10 ila %30, toplam AKM giderimi %30 ila %70 ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi %15 ila %40 arasında değişebilmektedir (WDEQ, 2013)(Şekil 41).



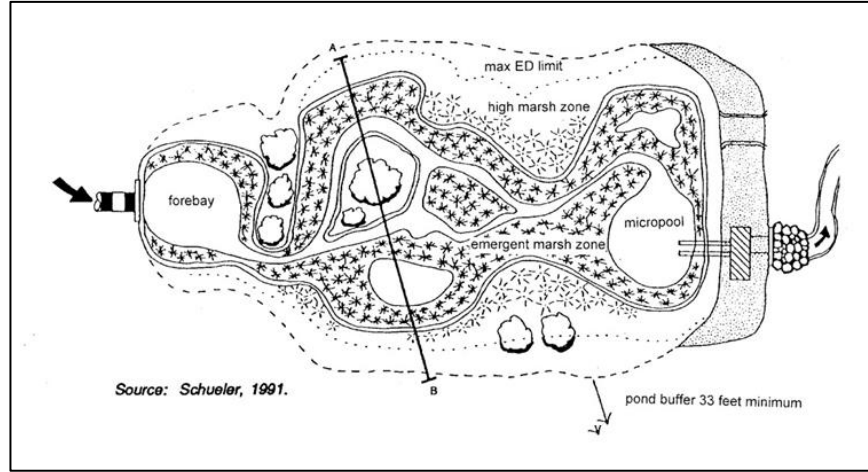
Şekil 41. Kuru (Uzun Süreli) bekletme göletinin planı (Schueler 1991)

Islak Bekletme Göletlerinin içinde yağış dışında da su bulunur. Bu göletlerde çökelti malzemenin rahatça uzaklaştırılabileceği toplama havuzu ve etrafında sulak alan bulunmaktadır (Şekil.42). Bu göletlerde kirlilik giderimi üzerine yapılan çeşitli çalışmalara göre; toplam fosfor giderimi %30 ila %90 arasında, çökelti miktarı % 50 ve % 90 arasında ve çözünmüş madde miktarında ise % 40 ve % 80 arasında kirletici unsurların giderimi sağlandığı ortaya çıkmıştır (WDEQ, 2013).



Şekil 42. Islak bekletme göletinin planı (Schueler, 1991)

Çoklu Bekleme Göletleri birden fazla gölet çeşidinin birlikte çalışma prensibiyle oluşan göletler olup birçok arıtma tekniğine sahip sistemlerdir (WDEQ, 2013)(Şekil 43).



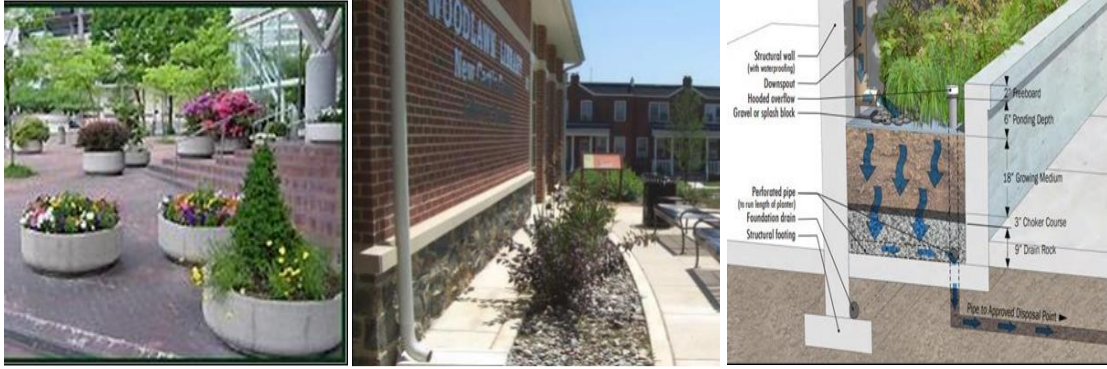
Şekil 43. Çoklu gölet sistemlerinin planı (Schueler 1991)

1.6.4.9. Bitki Kutuları (Planter Box)

Bitki kutuları, yağmur suyunun geçirimsiz yüzeylerden toplanarak bitkisel alanlarda tutulmasını ve yönetilmesini sağlayan, zemin üstü veya zemin altına yerleştirilebilen sistemlerdir. Bu sistemler sayesinde geçirimsiz alanların oranı azaltılırken, yağışla elde edilen su bitkilerin sulanmasında kullanılır ve buharlaşma yoluyla da suyun çevresel döngüye katkısı sağlanır. Bitki kutuları; konteyner, infiltrasyon ve akıntılı bitki kutuları olmak üzere üç farklı tasarımda uygulanmaktadır (WDEQ, 2013).

- Konteyner bitki kutuları, klasik bir bitki saksısı formunda olup ahşap, beton gibi malzemelerden üretilmektedir. Bu sistemler, hem yapısal hem de estetik çözümler sunarak farklı kentsel alanlarda kullanılabilir.
- İnfiltrasyon bitki kutuları, özellikle çatıdan gelen yağmur suyunun doğrudan kutuya yönlendirilmesini esas alır. Bu sistemlerde su, toprak ve bitki kökleri aracılığıyla filtrelenir ve toprağa sızdırılır.
- Akıntılı bitki kutuları ise çatıdan gelen yağmur suyunun, bir çakıl katmanı ve bitki örtüsü üzerinden süzülerek hem fiziksel hem biyolojik olarak arıtıldığı sistemlerdir. Bu sistemlerde filtrasyonun ardından oluşan fazla yağmur suyu, kutunun alt kısmında yer alan delikli bir boru aracılığıyla kontrollü biçimde deşarj edilir.

Bitki kutuları, küçük alanlarda bile etkili yağmur suyu yönetimi sağlarken, aynı zamanda estetik ve ekolojik faydalar sunarak yeşil altyapı uygulamalarının önemli bir parçası hâline gelmiştir.



Şekil 44. Konteyner- İnfiltrasyon- Akıntılı bitki kutusu örnekleri (Sevimli, 2021)

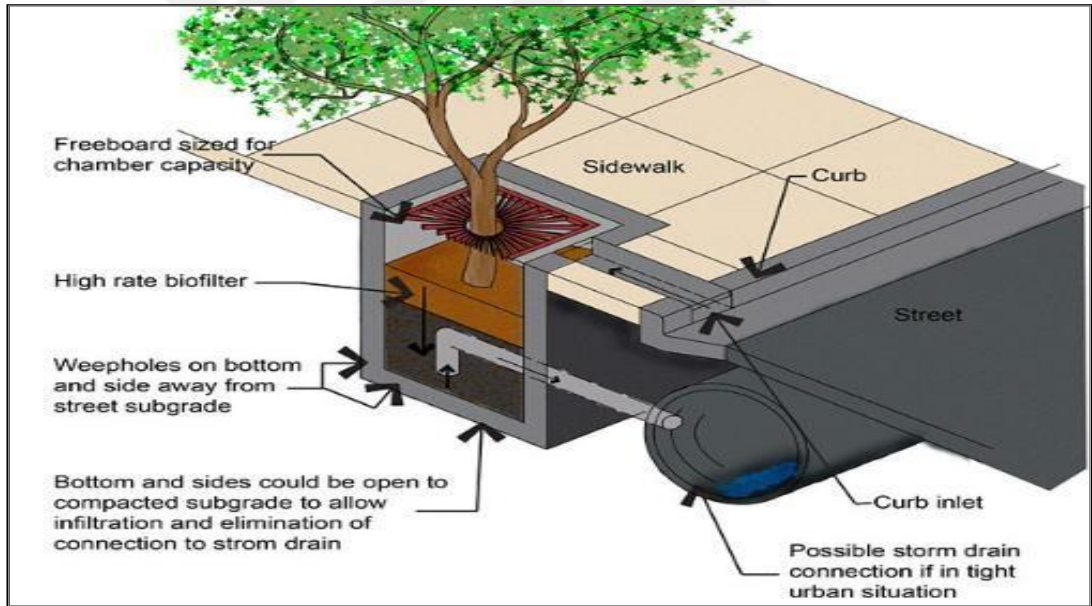
1.6.4.10. Yeşil Sokaklar (Green Street)

Yeşil sokaklar, sürdürülebilir kent altyapısı kapsamında kentsel sokak tasarımlarına entegre edilerek uygulanan, su yönetimini doğal süreçlerle destekleyen sistemlerdir. Bu uygulamalar; yağmur suyunun yerinde depolanması, sızdırılması ve buharlaştırılması gibi süreçleri destekleyerek çevresel ve ekolojik dengeye katkı sağlar. Yeşil sokak tasarımı ile geçirimsiz yüzeylerin azaltılması, taşkın riskinin düşürülmesi, kirletici unsurların doğrudan su kanallarına ulaşmasının engellenmesi ve yeraltı su kaynaklarının yeniden beslenmesinin artırılması amaçlanmaktadır (Sevimli, 2021).

Yeşil sokak uygulamaları, yalnızca yağmur suyu yönetimiyle sınırlı kalmayıp kent estetiği, hava kalitesi ve biyolojik çeşitlilik gibi alanlarda da olumlu etkiler göstermektedir. Bu uygulamalarda kullanılan başlıca yapısal unsurlar şunlardır: bordür uzantıları, çıkıntılı bordür çıkışları, kaldırım bitkileri, ağaç dikim alanları (ağaç kuyuları) ve yağmur suyunun yönlendirilmesine yönelik özel giriş tasarımları (Ulusoy, 2011). Yeşil sokaklar, klasik beton altyapının doğaya dost alternatifleri olarak öne çıkmakta ve özellikle yoğun kentsel alanlarda yağmur suyu yönetiminin etkin biçimde sağlanması için tercih edilmektedir.



Şekil 45. Bordür uzantısı ve kaldırım bitkilendirme uygulamaları (Sevimli, 2021)



Şekil 46. Ağaç kuyusu uygulamasının şematik gösterimi (Sevimli, 2021)

1.6.4.11. Parklar

Parklar, çevreye doğal ve yeşil bir ortam sunan, kent yaşamının önemli ekolojik bileşenleridir. Ekosistem açısından değerlendirildiğinde birçok bitki ve hayvan türüne ev sahipliği yaparak biyolojik çeşitliliğe katkı sağlarlar. Aynı zamanda, çevredeki geçirimsiz yüzeylerden gelen yağmur sularını toplayarak doğal sızdırma ve

buharlaştırma süreçleriyle yağmur suyu yönetimine katkıda bulunurlar. Bu özellikleri sayesinde parklar, kentsel yeşil altyapının sürdürülebilirliğinde önemli bir rol üstlenmektedir (Semiz, 2016; Kurtoğlu, 2021).



Şekil 47. Çeşitli park örnekleri (Kurtoğlu, 2021).

1.6.5. Su Hasadı için Uygun Alanların Belirlenmesi

Yağmur suyu hasadı uygulamaları her bölgede aynı etkinlikle gerçekleştirilemez. Bu nedenle, sistemin verimli şekilde çalışabilmesi için uygulama alanlarının bazı temel kriterlere göre seçilmesi gerekmektedir. Su hasadı için uygun alanlar belirlenirken dikkate alınması gereken faktörler aşağıda sıralanmıştır:

- İklim koşulları ve yıllık yağış miktarı
- Doğal su kaynaklarının varlığı ve durumu
- Arazinin topoğrafik yapısı
- Mevcut yasal düzenlemeler ve planlama kanunları
- Bölgedeki bireylerin maddi ve teknik imkânları
- Mevcut altyapı tesislerinin kapasitesi ve fiziksel durumu

- Planlanan veya inşası süren altyapı projelerinin durumu

Bu kriterler, uygulama yapılacak bölgenin hem fiziki hem de sosyoekonomik özelliklerini kapsayacak şekilde değerlendirilmelidir (Himat, 2018).

1.6.6. Su Hasadı için Temel Tasarım Prosedürü

Yağmur suyu hasadı sistemlerinde en önemli adımlardan biri, depolama hacminin doğru belirlenmesidir. Bu doğrultuda, Almanya'da standartlaştırılmış olan DIN(Alman Standartlar Enstitüsü) normları (DIN, 1989), hesaplamalar için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Sistemlerde genellikle plastik, beton veya çelikten üretilmiş su depoları tercih edilmektedir. Depo tasarımında çatı alanı ve yıllık ortalama yağış miktarı dikkate alınmalıdır.

Akış katsayısı; yüzey eğimi ve geçirgenliği, bölgenin iklimsel özellikleri, yüzey kaplaması cinsi ile yağış süresi ve şiddeti gibi faktörlere bağlıdır (DIN, 1989).

Tablo 4. Yer kaplamasına göre akış katsayıları (DIN, 1989)

Yüzey Kaplaması	Akış Katsayısı (C)
Çatılar	0,75 - 0,95
Asfalt ve beton	0,70 - 0,95
Tuğla	0,70 - 0,85

1.6.6.1. Uygun Toplama Yüzeyleri

Yağmur suyu hasadında en önemli unsurlardan biri, suyun toplanacağı yüzeyin uygunluğudur. Çatılar, bu amaçla en yaygın kullanılan toplama alanlarıdır. Genel olarak çatı malzemesinin cinsine bakılmaksızın tüm çatı yüzeyleri yağmur suyu hasadı için kullanılabilir. Ancak asfaltla kaplanmış ya da samanla örtülmüş çatılar, özellikle içme suyu amacıyla yapılan hasat için uygun değildir. Ayrıca, yağmur suyu sistemlerinde kurşun içerikli malzemelerin kullanımı da sağlık açısından sakıncalı görülmektedir (Thomas ve Martinson, 2007).

Kiremit, galvanizli demir levhalar, oluklu plastikler ve oluklu metal yüzeyler, yağmur suyu hasadı açısından en uygun çatı kaplama malzemeleri olarak öne çıkmaktadır. Bu malzemeler, hem yüksek akış katsayısına sahip olmaları hem de kolay temizlenebilir yapıları sayesinde sistemin verimliliğini artırmaktadır. Beton çatılar da yüzey temizliği sağlandığı takdirde hasat için kullanılabilir (Himat, 2018).

Türkiye'de en yaygın kullanılan çatı kaplamalarından biri olan kiremit, yüksek akış katsayısı sayesinde yağmur suyunun etkin şekilde toplanmasını sağlamaktadır. Çatı türlerine göre akış katsayıları ve özelliklerine ilişkin bilgiler Tablo 5'de sunulmaktadır (Himat, 2018).

Tablo 5. Çatı tiplerinin özellikleri (Thomas ve Martinson, 2007; Himat, 2018)

Çatı Türü	Akış katsayısı	Açıklama
Galvanizli demir levhalar	> 0,9	İyi kalitede su, Yüzey pürüzsüz ve yüksek sıcaklıklar bakterileri sterilize etmektedir.
Kiremit (pürüzsüz)	0,6 – 0,9	Pürüzsüz kiremitten iyi kalitede su, Pürüzlü kiremit humuslu toprak barındırabilir, Kiremit eklemlerinde kirlenme olabilir.
Asbest levhaları	0,8 – 0,9	Yeni levhalar kaliteli su verir, Yutma yoluyla kanserojen etkilere dair kanıtların olmaması, Biraz gözenekli bu nedenle akış katsayısı düşebilir, Daha eski çatılar sığınak görevi işleyip yosunları barındırır.
Organik (samanla örtülmüş)	0,2	Düşük kaliteli su (> 200 FC/100 ml), Küçük ilk yıkama etkisi, Çözünmüş organik maddeye bağlı kolayca filtre edilemeyen veya çöktilemeyen yüksek bulanıklık.

1.6.6.2. Çatılardan Yağmur Suyu Toplama Sistemi

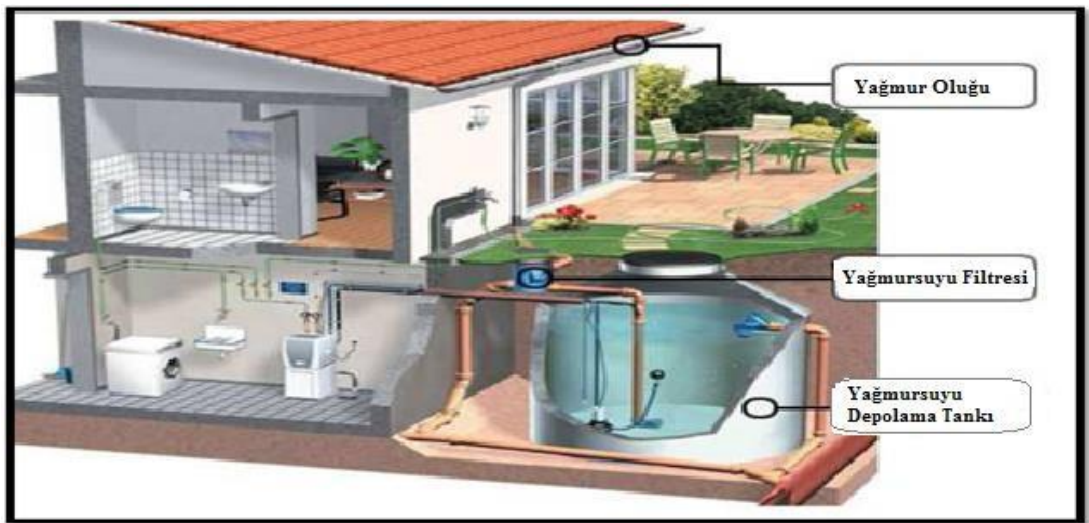
Yağmur suyu toplama sistemi, tutma, depolama ve iletim hattı bileşenlerinden oluşmaktadır. Sistemin temel bileşeni olan tutma havzaları, genellikle yapıların çatılarıdır. Toplama havzasının planlamasında çatı ebatları ve bölgenin yıllık yağış miktarı dikkate alınmaktadır. Özellikle çoklu yapıların bulunduğu bölgelerde her bina için ayrı sistem kurmak yerine, yapılar tek bir depolama ünitesine bağlanarak

hem ekonomik hem de teknik açıdan daha verimli bir çözüm elde edilmektedir. Bu tür sistemlerde genellikle plastik veya beton depolar tercih edilmektedir (Himat, 2018).

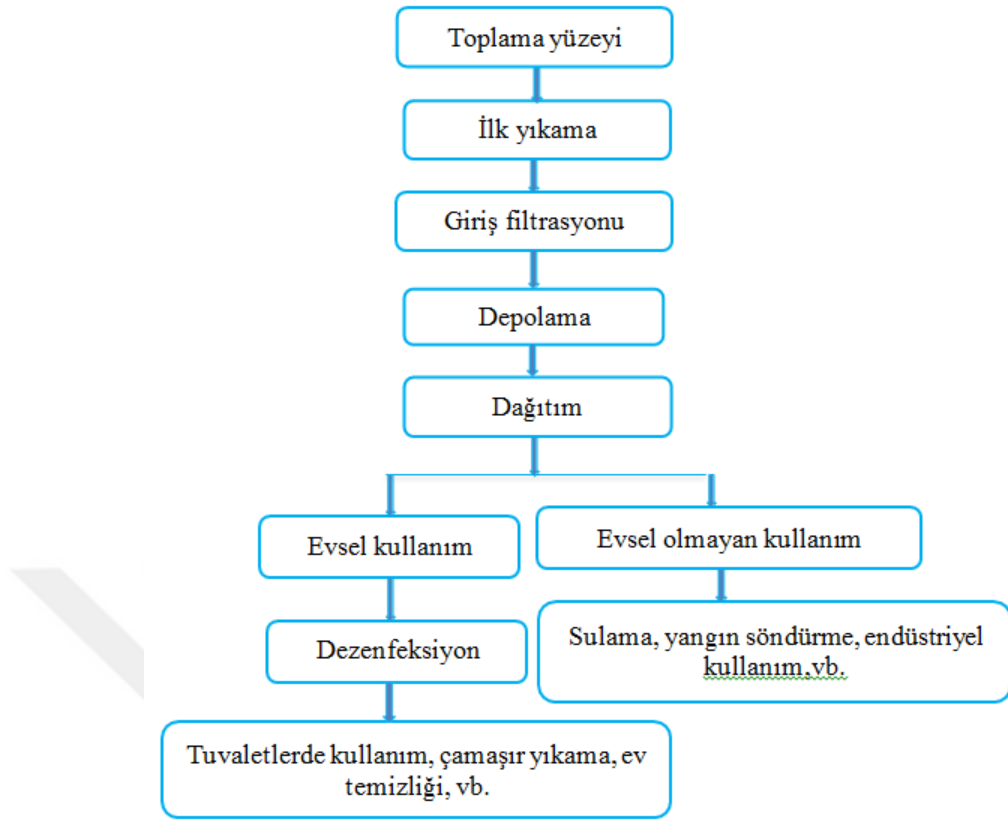
Hasat edilen yağmur suyu, yalnızca evsel kullanım için değil; aynı zamanda kırsal ve su sıkıntısı çeken bölgelerde içme suyu olarak da kullanılabilir (Worm ve Hattum, 2006). Yapılan çalışmalar, yağışın yaklaşık %80–85’inin etkin şekilde hasat edilip depolanabileceğini göstermektedir. Öyle ki, yıllık 200 mm civarında yağış alan bir bölgede bu sistem aracılığıyla bir ailenin yıllık su ihtiyacının karşılanması mümkündür (Morgan, 1990).

Yağmur suyunun çatılardan oluklar vasıtasıyla toplanarak iletim borularıyla depolara aktarılması, sistemin genel işleyişini oluşturmaktadır. Bu su; çamaşır yıkama, tuvalet rezervuarları ve bahçe sulaması gibi içme suyu gerektirmeyen alanlarda güvenle kullanılabilir (Himat, 2018). Ayrıca yağmur suyu hasadı sayesinde yeraltı su kaynakları desteklenir, sel ve taşkın riskleri azaltılır, erozyon önlenir ve genel su tüketiminde tasarruf sağlanır (Lancaster ve Marshall, 2008).

Standart bir yağmur suyu toplama sisteminin bileşenleri; yağmur suyunun çatı ya da arazi yüzeylerinden toplanması, iletim hatlarıyla taşınması, uygun depolama alanlarında muhafaza edilmesi ve gerektiğinde arıtılarak kullanıma sunulması adımlarını içermektedir (Alpaslan ve diğ., 2008).



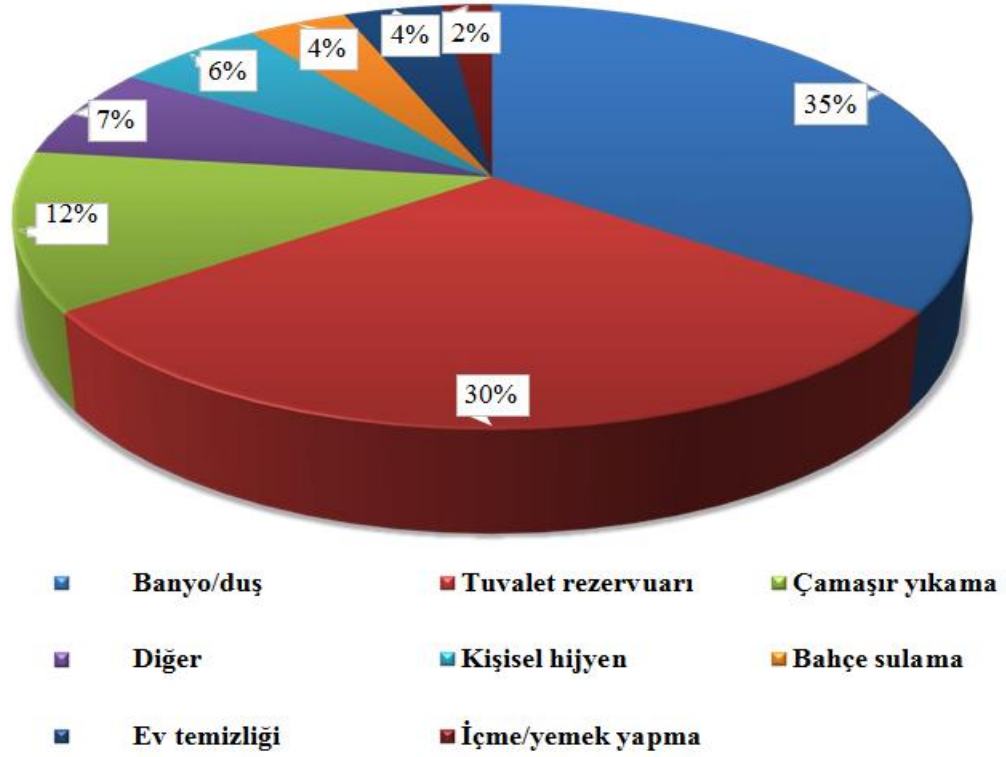
Şekil 48. Çatılardan yağmur suyu toplama ve yeniden kullanma sistemi (Himat, 2018)



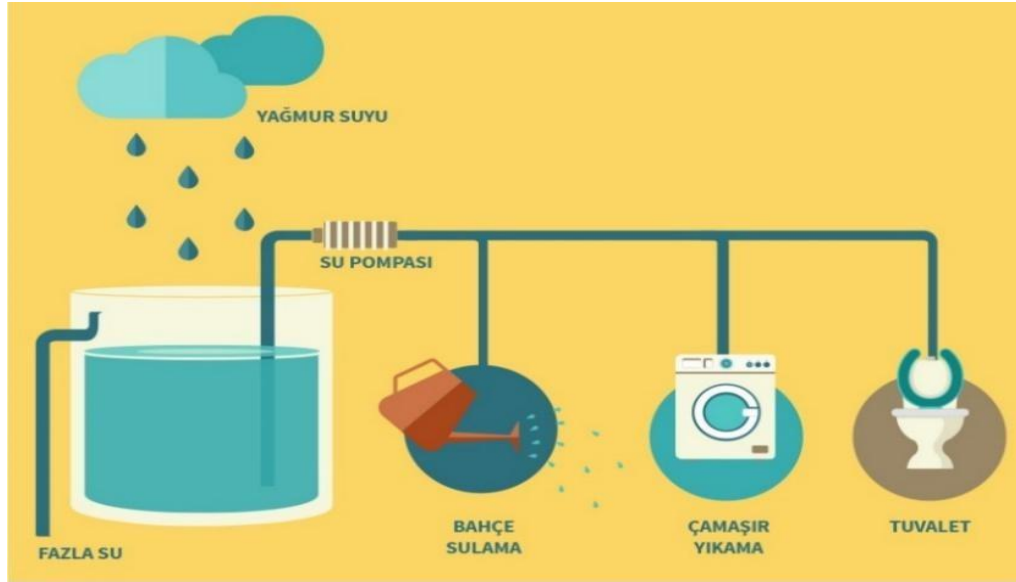
Şekil 49. Yağmur suyu toplama ve yeniden kullanım sistemin akım şeması (Himat, 2018)

Eysel su kullanım dağılımına bakıldığında, tuvaletlerde harcanan su oranı yaklaşık %30'dur. Bu miktar, yağmur suyu hasadı ile kolaylıkla karşılanabilmektedir. Ayrıca %12 oranında çamaşır yıkamada ve %4 oranında bahçe sulamada kullanılan su da bu sistemle desteklenebilir. Kamu ve ticari binalarda ise tuvaletlerde kullanılan su miktarı çok daha fazladır ve bu oran %74'e kadar çıkabilmektedir (Sousa ve diğ., 2018). Bu nedenle yağmur suyu hasadı sistemlerinin özellikle kamu binalarında uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Evsel su kullanımı



Şekil 50. Evsel su kullanımının dağılımı (Himat, 2018)



Şekil 51. Yağmur suyu toplanması ve genel kullanımı (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018)

Yağmur suyunun hasat edilerek geri dönüştürülmesi, sürdürülebilir su yönetiminin önemli bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, 23 Haziran 2017

tarihinde yürürlüğe giren “Yağmur Suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik” ile bu sistemlerin uygulanması hukuki zemine kavuşturulmuştur (ÇŞB, 2017a).

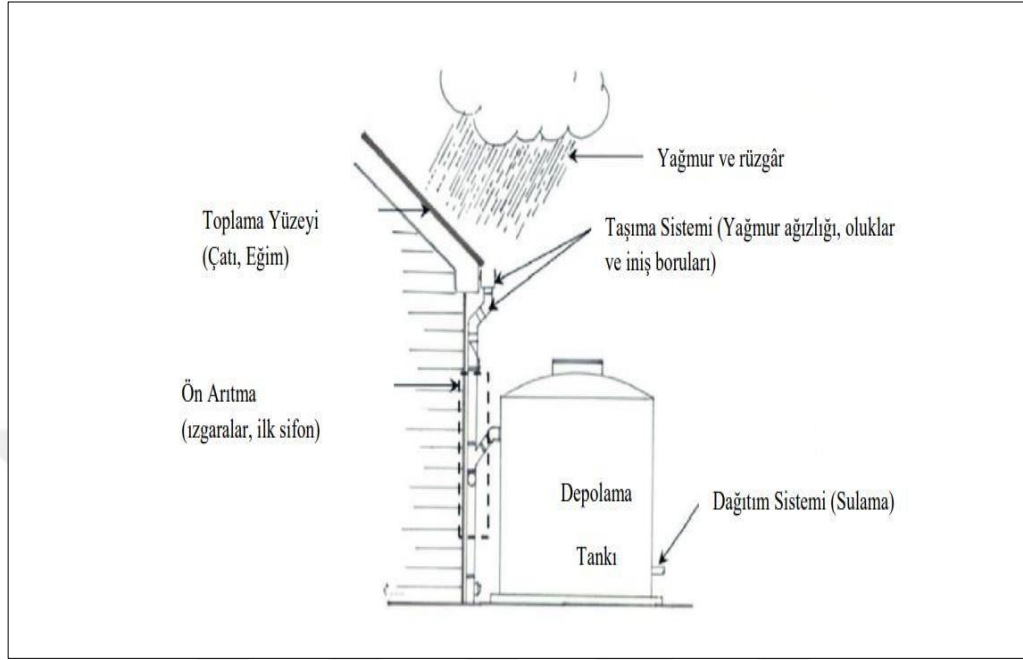
1.6.6.3. Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinin Bileşenleri

Yağmur suyu toplama sistemleri, yağışların doğrudan temas ettiği yüzeylerden başlayarak, suyun arıtılması ve kullanımına kadar geçen süreci kapsayan çeşitli bileşenlerden oluşur. Bu sistemlerde teras, çatı, asfaltlı veya asfaltsız alanlar gibi yüzeyler yağmur suyunun ilk toplandığı alanlardır. Toplanan yağmur suyu, sistemin ilk aşamasında yaprak, dal, böcek gibi katı kirleticilerden arındırılır. Ardından kullanım amacına bağlı olarak gerekli filtrasyon ve arıtma işlemlerinden geçirilir ve uygun depolama alanlarında biriktirilir. Arıtılan su, ihtiyaç duyulan bölgelere yönlendirilerek çeşitli alanlarda kullanılır.

Şekil 52’de şematik olarak gösterilen bu sistemde yer alan ana bileşenler şunlardır:

1. **Toplama Yüzeyi / Çatı:** Yağışın doğrudan temas ettiği ilk yüzeydir. Çoğunlukla yapıların çatısı bu görevi üstlenir ve suyu sistemin diğer bölümlerine yönlendirir.
2. **Oluklar ve İniş Boruları:** Çatıdan toplanan yağmur suyu, oluklar ve iniş boruları yardımıyla yer çekimi etkisiyle sistemin deposuna aktarılır.
3. **Izgaralar (İlk Sifon):** Sistemin giriş ve çıkış noktalarında yer alan bu filtreler, yaprak, çöp, taş gibi büyük kirleticileri tutarak sistemin genel verimliliğini artırır.
4. **Depolama Tankı:** Yağmur suyunun toplandığı ve ihtiyaç anına kadar muhafaza edildiği bölümdür. Depolar yer üstünde ya da yer altında konumlandırılabilir.
5. **Taşıma Sistemi:** Yağmur suyu genellikle yerçekimiyle taşınsa da, yüksek kotta konumlandırılan depolardan suyun aktarımı pompa sistemleri ile sağlanabilir.
6. **Su Arıtma Ünitesi:** Izgaralar katı parçacıkları temizlese de, kullanılabilir temiz su elde etmek için özel filtrasyon ve arıtma sistemleri kullanılır. Bu aşama, suyun kullanım amacına göre değişiklik gösterebilir (Üstün ve diğ., 2020).

Bu sistem bileşenleri birlikte çalışarak, yağmur suyunun etkin şekilde toplanmasını, depolanmasını ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar.



Şekil 52. Yağmur suyu toplama sistemlerinin bileşenleri (Pradhan ve Sahoo, 2019).

1.6.7. Yağmur Suyu Kullanım Yerleri

Yağmur suyu, yalnızca bireysel kullanım alanlarıyla sınırlı kalmayıp; sanayi, tarım, parklar, yeşil alanlar ve çeşitli kentsel altyapı sistemlerinde de etkin bir şekilde kullanılabilir. Özellikle suyun iletkenliğinin düşük olması, onu soğutma sistemlerinde avantajlı bir seçenek hâline getirmektedir. Bu özellik sayesinde, soğutma kulelerinde ve buhar kazanlarında soğutma suyu olarak kullanılması mümkündür (Şahan, 2022).

Yağmur suyunun alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmesi, hem mevcut su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltmakta hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda, yağmur suyunun değerlendirilme alanları şu şekilde özetlenebilir:

- Peyzaj ve bahçe sulama
- Tuvalet rezervuarlarında kullanımı
- Araba yıkama
- Çamaşır yıkama (uygun arıtma sonrası)

- Yangın söndürme sistemleri
- Yeraltı su kaynaklarının beslenmesi
- Tarımsal sulama
- Soğutma sistemleri (soğutma kulesi, buhar kazanı vb.)
- Kentsel altyapılarda drenaj kontrolü

Yağmur suyunun kullanım alanları ve bu alanlara göre gereklilik duyulan arıtma düzeyleri tablo 6’da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Tablo 6. Yağmur suyunun kullanım alanları (Akaydın, 2017)

Kullanım Yeri	Uygulama/ Amaç
Şehir	Araç yıkama vb. temizlik işlerinde Beton üretim tesislerinde Yangın söndürme çalışmalarında Ticari binaların tuvaletlerinde Rekreasyon ve şehir içindeki su havuzlarında Golf sahalarının sulanmasında Park ve bahçe sulamalarında
Endüstri	Kişisel ihtiyaç Tesis peyzaj alanlarında Proseste kullanım Kazan beslemede Soğutma suyu
Kişisel Kullanım	Filtrasyondan geçerek içme suyu Çamaşır yıkama Tuvalet, banyo vb. durumlarda
Tarım	Sulama
Restorasyon/Rekrasyon	Sulak alanların iyileştirilmesi Rekreasyon amaçlı kullanım Akarsuların beslenmesi Diğer (Balık üretimi, yapay kar, vb.)
Yeraltı Suyuna Besleme	Akiferlerin su kapasitesinin arttırılması Geri kazanılmış suyu depolamak İleri arıtmanın sağlanması Zemin çökmelerinin kontrolü veya engellenmesi Kıyı şeridinde bulunan kuyulara tuzlu su girişini önlemek için bariyer teşkilinde
İçme suyu Kaynağı	Doğrudan içme suyu kaynağı olarak Dolaylı içme suyu kaynağı olarak

1.6.8. Toplanmış Yağmur Suyunun Depolanması

Yağmur suyu hasadı sistemlerinde en yüksek maliyet kalemi depolama birimidir. Depolama hacmi arttıkça sistem maliyeti de artar; ancak hacmin düşürülmesi durumunda kullanım süresi ve verim düşebileceğinden bu dengenin iyi sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, bölgenin yıllık minimum ve maksimum yağış verileri dikkate alınarak ortalama bir hacim hesaplamasıyla depo tasarımı yapılmalıdır.

Depolama tankının tasarımında, yağmur suyunun nerelerde ve ne şekilde kullanılacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, bahçe sulama ve tuvalet rezervuarları, hasat edilen suyun en sık kullanıldığı alanlardır. Bu nedenle bu tür kullanım alanlarına yönelik sistem tasarımları öncelikli olmalıdır. Özellikle konut dışı yapılarda, su tarifelerinin daha yüksek olması ve en yoğun kullanım genellikle tuvaletlerde gerçekleşmesi sebebiyle, yağmur suyu kullanım sistemleri bu alanlarda önemli ekonomik tasarruflar sağlayabilir. Ayrıca, depolama tankı ve pompa sistemleri yüksek maliyetli bileşenler olduğundan, özellikle bahçe sulama gibi uygulamalarda yer üstü depolar tercih edilerek pompa ihtiyacı azaltılabilir. Bu durumda hem ekipman maliyeti düşer hem de bahçe sulamada kullanılacak şebeke suyu miktarından ciddi oranda tasarruf edilir (Himat, 2018).

Tablo 7. Yağmur suyu kullanımı için çeşitli senaryolar (Belmeziti ve diğ., 2013)

Kullanım	Oran	Sıklık
Evlerin Tuvalet rezervuarı	30 (L/Kişi)	Her gün (340 gün/yıl)
Çalışanların Tuvalet rezervuarı	18 (L/Kişi)	Her iş günü (220 gün/yıl)
Ziyaretçilerin Tuvalet rezervuarı	1.8 (L/Kişi)	Her iş günü (220 gün/yıl)
Öğrencilerin Tuvalet rezervuarı	4 (L/Kişi)	Her iş günü (175 gün/yıl)
Bir gece kalanların Tuvalet rezervuar	27 (L/Kişi)	Her gün
Bahçe sulama	3 (L/m ²)	Nisan ve Ekim arasında her gün (yağmurlu günler hari)
Zemin yıkama	0.15 (L/m ²)	Haftada 4 sefer
Çamaşır makinesi	80 (L/Kişi)	Haftada bir gün
Araba yıkama-servis istasyonu	150 (L/araç)	Her ay

Yağmur suyu; tanklarda ya da doğrudan rezervuarlarda toplanmak üzere iki temel şekilde depolanabilir. Bu alanların güvenliği büyük önem taşımaktadır. Özellikle hayvanların erişimini engelleyecek önlemler alınmalı ve sistem düzenli olarak temiz tutulmalıdır. Kurak dönemlerin uzadığı, yağışların düzensiz ve az olduğu bölgelerde bu sistemler hayati önem taşımaktadır (Himat, 2018).

Depolama amacıyla kullanılan tanklar genellikle yer üstüne inşa edilirken, bazı sistemlerde kısmen toprağa gömülü olarak da kurulabilir. Varil, konteyner gibi yapılar da yer üstü depolama çözümleri arasında tercih edilmektedir. Yağmur suyunun çatılardan toplanarak depolanması, sistemin en yaygın ve tipik uygulamalarından biridir (Worm ve Hattum, 2006; Thomas ve Martinson, 2007). Depolama sistemi seçilirken bazı kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar arasında sistemin ekonomik olması, yedek parça temininin kolay olması, inşa ve uygulama sürecinin pratik olması, ihtiyaca uygun boyutta tasarlanması ve bakımının kolay yapılabilir olması yer alır.

Çatılardan hasat edilen yağmur suları çoğu yerde evsel ihtiyaçlarda ve bazı durumlarda içme suyu olarak kullanılmaktadır. Tarım alanında ise genellikle çiçekçilik ve bahçe sulama gibi faaliyetlerle sınırlı kalmıştır. Gelişmiş ülkelerde ise yağmur suyu toplama sistemlerinin depolama tanklarıyla birlikte projelendirilmesi yasal zorunluluk haline getirilmiş; bu sistemleri planlarına dahil etmeyen yapılar için inşaat izni verilmemektedir (Oweis ve diğ., 2012).

Geçmişte kilden yapılan depolama tankları kullanılmışken günümüzde tuğla, beton, galvanizli demir, polivinil klorür (PVC) gibi daha dayanıklı ve hijyenik malzemeler tercih edilmektedir (Worm ve Hattum, 2006). Tank boyutları belirlenirken çatının büyüklüğü, bölgenin yıllık yağış oranı ve suya olan günlük kullanım ihtiyacı dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır. Yer üstü ve yer altı depolama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 8’de detaylı şekilde sunulmuştur.

Tablo 8. Bazı depolama tanklarının olumlu ve olumsuz yönleri (Thomas ve Martinson, 2007; Urban, 2010)

Tank Türü	Olumlu Yönleri	Olumsuz Yönleri
Yerüstünde	-Bakım ve onarımı kolay ve ucuzdur. -Yerçekimi ile su aktarımı sağlanarak pompa maliyetinden kurtulunabilir. -Kazı ve dolgu maliyeti olmaz. -Basit sistemler olduğu için teknik personel ihtiyacına ihtiyacı yoktur. -Temizliği kolaydır.	-Arazide yer kaplarlar. -Olası kazalarda hasar görme ihtimalleri çoktur. -Estetik açıdan görüntü hoş gelmeyebilir.
Yeraltında	- Olası kazalarda zarar görme ihtimalleri yoktur. -Arazide gömülü olacağı için yer kaplamaz. -Estetik açıdan görünmeyeceği için hoşnutsuzluk yaratmaz.	-Su alınması için pompa gereksinimi olacağından daha maliyetlidir. -Bakım ve onarım maliyeti fazladır. -Sızıntı ve arıza tespiti zordur. -Taşkınlarda kirlenme olasılığı vardır. -Kazı ve dolgu maliyeti vardır. -Temizlik için kolayca boşaltılamaz. -Profesyonel destek gerektirir.
Açık Depolar	- Maliyeti az ve bakım maliyeti düşüktür. - Su kalitesinin iyileştirilmesi sağlanır.	-Kamu güvenliği sorunu vardır. -Yüksek buharlaşmaya maruz kalır. -Kontaminasyon sorunu yaşanabilir. -Sivrisinek üreme potansiyeli yüksektir. -Yüksek ötrofikasyon potansiyeli vardır. -Su seviyesindeki değişkenliklerin yaratacağı estetik problemler oluşabilir.
Akifer	-Arazide küçük yerler kaplarlar. -Maliyeti uygundur. -Buharlaşma olmaz. -Tuzlu suyun akifere girmesine engel olur.	-Bakım maliyetleri yüksektir. -Ön işlemde geçmez ise yeraltı sularını kirlitebilirler. -Uygun jeoloji şartları gereklidir.

1.6.9. Yağmur Suyu Hasadının Avantajları ve Dezavantajları

Yağmur suyu hasadı, bireysel kullanım açısından oldukça avantajlı bir sistemdir. Kullanıcılar, herhangi bir kuruma veya üçüncü kişiye bağımlı olmaksızın bu sistemi uygulayabilir ve kendi ihtiyaçlarını karşılayabilirler. Yağmur suyunun toplanması, hem su tasarrufu sağlaması hem de doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılmasına katkı sunması açısından önemlidir. Hemen her çatı malzemesinden su hasadı yapılabilmesi, uygulama açısından esneklik sağlar. Bununla birlikte, yağmurun hangi sıklıkla ve ne zaman yağacağını öngörememek, sistemin bazı sınırlılıklarını da beraberinde getirebilir. Bu nedenle, yağmur suyu hasadına yönelik yatırımlar planlanırken sistemin avantajları ve dezavantajları dikkate alınmalı; yerel

yönetimler, özel sektör temsilcileri ve sivil toplum kuruluşları bu sistemlerin yaygınlaşması için iş birliği yapmalı ve kullanıcıları teşvik etmelidir (Hattum ve Worm, 2006).

1.6.9.1. Yağmur Suyu Depolamanın Avantajları

- Kurulum maliyeti düşüktür ve işletimi oldukça kolaydır.
- Bireysel olarak uygulanabildiğinden kullanıcıya bağımsızlık kazandırır.
- Mevcut su tesisat sistemlerine entegre edilerek kullanılabilir.
- Doğaya verdiği zarar yok denecek kadar azdır.
- Yağmur suyu ücretsiz bir kaynak olduğundan ekonomik fayda sağlar.
- Depoların evlere yakın yerleştirilmesi kullanım kolaylığı sunar.
- Bazı kullanım alanlarında arıtmaya gerek kalmadan doğrudan kullanılabilir.
- Mevcut su kaynaklarının tükenmesini engeller.
- Deprem ve benzeri olağanüstü durumlarda acil su temini sağlar.
- Sel ve taşkınları azaltarak, dere, nehir, göl ve denizlere ulaşan kirleticilerin miktarını düşürür (Karakaya ve Gönenç, 2005; Himat, 2018).

1.6.9.2. Yağmur Suyu Depolamanın Dezavantajları

- Sistemin bakım, onarım ve temizliği düzenli yapılmadığında işlevsellik sorunları ortaya çıkar.
- Küresel iklimdeki düzensiz yağış rejimi, su hasadı verimliliğini olumsuz etkileyebilir.
- Bireysel kurulumlar, toplumsal dayanışma ve paylaşım imkânını sınırlamaktadır.
- Tüm sorumluluğun sistem sahibine ait olması, tercih edilirliliğini azaltır.
- Şebeke suyu tüketiminin azalması, yerel yönetimlerin gelir kaybına yol açabilir.
- Yağmur suyunun kalitesi; atmosferik kirlilik, böcek ve hayvan atıkları ile parçacıklarla bozulabilir.
- Yağmur suyu hasadıyla ilgili yasal ve politik düzenlemelerin eksikliği, uygulama isteğini zayıflatır.
- Depolama tankları, kamusal alanlarda potansiyel güvenlik riskleri taşıyabilir.
- Depoların yer kaplama ihtiyacı, alan kullanımını kısıtlayabilir (Karakaya ve Gönenç, 2005; Himat, 2018).

1.6.10. Yağmur Suyunun Mikrobiyolojisi ve Kimyası

Yağmur suyunun kirlilik yükünü belirleyen temel parametreler; çözünmüş metaller, AKM, organik maddeler ve biyolojik yük olarak özetlenebilir. Ancak yapılan araştırmalar, çatıdan akan yağmur sularında BOİ, KOİ ve AKM seviyelerinin genellikle oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, kuru hava kirliliğine bağlı olarak çatılardaki birikintiler, ilk yağışlarla birlikte suya karışarak şok kirletici etkiler oluşturabilmektedir (Karel ve diğ., 2016).

Hasat edilen yağmur suyunun güvenli kullanımı için fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik yönden değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar, yağmur suyunun fiziksel ve kimyasal açıdan Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve diğer sağlık kuruluşlarının içme suyu standartlarına çoğu zaman uygun olduğunu ortaya koymuştur. Ancak mikrobiyolojik kalite açısından değerlendirildiğinde, özellikle işlenmemiş yağmur suyunda koliform bakterilerin, patojen mikroorganizmaların ve çeşitli parazitlerin varlığı sıklıkla tespit edilmektedir (Dissanayake ve Han, 2021).

Yağmur suyunun mikrobiyolojik kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biri, suyun ilk temas ettiği yüzey olan çatıdır. Çatı yüzeyinde birikebilen pas, silt, kireç, kuş ve kemirgen dışkıları, ölü bitkisel materyaller, yabancı partiküller ve mikroorganizmalar yağmur suyunun kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir. Özellikle kuş dışkısı ve yaprak birikintileri gibi organik atıklar suyun BOİ ve KOİ artırarak su kalitesini düşürebilir (Dissanayake ve Han, 2021; Geben, 2023).

Sonuç olarak, yağmur suyu hasadı sistemlerinin etkinliği, yalnızca suyun toplanması değil, aynı zamanda güvenli ve sağlıklı bir biçimde kullanılmasını sağlayacak arıtma sistemlerinin entegrasyonuna da bağlıdır. Bu bağlamda, sistemlerin tasarımı sırasında AKM çökmesini kolaylaştıracak ve mikrobiyal yükü azaltacak ön arıtma süreçlerinin dahil edilmesi büyük önem taşımaktadır.

1.6.10.1. Çatı Teknik Yapısı ve Su Kalitesi

Yağmur suyunun kalitesi, suyun ilk temas ettiği yüzey olan çatı kaplama materyallerine doğrudan bağlıdır. Bu yüzeyler; pH, toplam organik karbon konsantrasyonu, bulanıklık ve mikrobiyal yük gibi su kalitesini belirleyen pek çok fiziksel ve kimyasal parametre üzerinde önemli etkilere sahiptir. Çatıların yapısı ve

malzeme özellikleri, hasat edilen yağmur suyunun yeniden kullanım potansiyelini ve gerekli arıtma düzeyini belirleyen temel unsurlardan biridir. American Rainwater Catchment Systems Association (ARCSA) üyeleriyle yapılan bir ankette, yağmur suyu hasadı yapılan yapılarda kullanılan çatı materyallerinin %48'inin asfalt ve bitüm içerikli, %38'inin metal ve %5'inin ise kil/beton kiremitten oluştuğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada, bireysel kullanıcıların %25'inin hasat ettikleri yağmur suyunu içme suyu olarak kullandığı ve bu kullanıcıların %75'inin UV ışınlama, %11'inin ise kesikli klorlama ile suyu dezenfekte ettikleri bildirilmiştir (Keithley ve diğ., 2018; Geben, 2023). Bu durum, farklı çatı malzemelerinin yağmur suyunun fiziksel ve mikrobiyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

Çatı tipi ve kaplama materyalinin seçimi yalnızca suyun kalitesini değil, aynı zamanda verimini de etkilemektedir. Texas'ta yapılan bir çalışmada, farklı çatı kaplama materyallerinin (metal, yeşil ve soğuk çatılar, beton kiremit, asfalt ve fiberglas kiremitler) yağmur suyu verimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; özellikle yeşil çatılar ve kiremit yüzeylerinin, hasat edilen suda çözünmüş organik karbon miktarını artırdığı ve bunun sonucunda klorlama sonrası daha yoğun bir arıtma ihtiyacının ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Seul'de yapılan bir araştırmada, dört farklı çatı tipi (galvanizli çelik, kil kiremit, ahşap kiremit ve beton kiremit) ile hasat edilen yağmur sularının kalite ve verimi karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, yüksek sıcaklık ve UV ışık altında galvanizli çelik çatıların, yağmur suyu hasadı için en uygun materyal olduğu belirlenmiştir. Ayrıca rüzgarın yönü ve hızı gibi meteorolojik parametrelerin de çatıya düşen partikül ve mikrobiyal bileşimi etkileyerek yağmur suyunun mikrobiyolojik kalitesini doğrudan etkilediği vurgulanmıştır (Mao ve diğ., 2021; Geben, 2023).

Yağmur suyu hasadında kullanılan çatı materyallerinin seçimi, yalnızca suyun miktarını değil, aynı zamanda kalitesini de doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Bu nedenle sistem tasarımı yapılırken bölgenin iklimsel koşulları, çatı eğimi, malzeme tipi ve yüzeyin temizlik durumu dikkatle değerlendirilmelidir.

1.6.10.2. Yağmur Suyu Arıtımı

Yağmur suyu, özellikle çatılar ve yollar gibi yüzeylerden hasat edildiğinde çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirleticiler içerebileceğinden, kullanılmadan önce arıtma süreçlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Yağmur suyunun yeniden kullanımını sağlamak amacıyla uygulanacak arıtma yöntemleri; suyun kirletici yüküne, kullanım amacına ve sistemin kurulduğu bölgenin özelliklerine göre belirlenmelidir. Yağmur suyunun arıtılmasında önerilen başlıca yöntemler arasında güneş enerjisi destekli arıtma sistemleri, UV dezenfeksiyon, membran teknolojileri, klorlama, pastörizasyon ve partikül ayırma teknikleri yer almaktadır. Örneğin, yağmur suyunun çatılardan toplanarak doğrudan depolanması ve ardından klorlama yöntemiyle dezenfekte edilip içme suyu olarak kullanılması, maliyet açısından avantaj sağlayabilmektedir. Ancak bu tür uygulamalar, özellikle altyapının yetersiz olduğu dağınık yerleşim bölgelerinde mikrobiyolojik riskler taşıyabilir (Liu ve diğ., 2021; Geben, 2023).

Yağmur suyunun güvenli şekilde yeniden kullanımı için çok aşamalı arıtma süreçlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu süreçlerde filtrasyon, dezenfeksiyon ve gerektiğinde ileri arıtma teknolojileri birlikte kullanılmalı; arıtma düzeyi ise kullanım amacına uygun olarak planlanmalıdır.

1.6.10.3. Arıtma Ekipmanları ve Dezenfeksiyon Yöntemleri

Yağmur suyunun güvenli bir şekilde yeniden kullanımını sağlamak için çeşitli arıtma ekipmanları ve dezenfeksiyon yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemlerin temel amacı, yağmur suyu toplama ve depolama süreçlerinde karşılaşılabilecek kirleticileri ve zararlı partikülleri uzaklaştırarak suyu daha verimli ve hijyenik hale getirmektir. Bunlar;

- **Yaprak Tutucu;** Yaprak tutucu, çatı yüzeylerinde biriken iri maddeler ve özellikle yaprak gibi döküntülerin sistemin borularını tıkamasını veya mekanik aksamda hasara yol açmasını önlemek amacıyla kullanılan bir ilk filtrasyon ekipmanıdır.
- **Kum Tutucu;** Kum tutucu daha ince taneli katı partiküllerin yağmur suyundan uzaklaştırılması amacıyla kullanılan bir diğer temel ekipmandır. Çakıl, antrasit,

kuvars kumu ve aktif karbon gibi farklı tane boyutlarına sahip katmanlarla doldurulmuş basınç tanklarında uygulanan, yaygın ve etkili bir filtrasyon yöntemidir. Kolay işletilebilir yapıları ve düşük bakım maliyetleri sayesinde hem evsel hem de endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

- **Aktif Karbon;** içme suyu arıtımında kullanılmakta olup suda bulunan organik bileşiklerin giderilmesinde, renk ile koku azaltımında ve serbest klorun tutulmasında etkin rol oynamaktadır. Aktif karbon filtreleri genellikle toz veya granül formda üretilir. Filtrenin çalışma mantığı, kirleticilerin aktif karbon yüzeyine tutunarak sudan ayrılması esasına dayanır.
- **İyon Değişimi;** Suda bulunan kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}) ve bazı mineraller, suyun sertliğine neden olmaktadır. Suyun sertliğini gidermek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri iyon değişimi metodudur. Sert su, hem insan sağlığı hem de tesisatlar açısından çeşitli sorunlar yaratır. Özellikle sıcak su sistemlerinde biriken kireç tabakaları, enerji verimliliğini düşürürken cihaz ömrünü de olumsuz etkiler. İyon değişimi yöntemi yalnızca sertlik gideriminde değil, aynı zamanda suyun iletkenliğinin azaltılmasında da etkilidir. Suda bulunan anyon ve katyonların uzaklaştırılması için ikili kolon ve mixbed sistemleri kullanılır.
- **UV Dezenfeksiyonu;** Yağmur suyunda insan sağlığına zararlı olabilecek patojen mikroorganizmalar vardır. Bu patojenler, kronik hastalıklara, akut enfeksiyonlara ve hatta ölüme yol açabilmektedir. Suda bulunan mikroorganizmaların etkisiz hâle getirilmesi için hem kimyasal hem de fiziksel yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında fiziksel dezenfeksiyon metodu olan UV ışınları, en yaygın ve etkili çözümlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Mikroorganizmaların DNA yapısında en fazla hasara yol açan UV ışınları, 240-280 nm dalga boyu aralığında bulunan UV-C bandı içinde yer alır.
- **Klorlama;** Klorlama, içme suyu ve atık su arıtımında en yaygın şekilde tercih edilen kimyasal dezenfeksiyon yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, suda bulunan patojen mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesini amaçlayan dezenfeksiyon sürecinde önemli bir rol oynar. Klorlama işlemi; katı, sıvı veya gaz formlarda uygulanabilen klor bileşikleriyle gerçekleştirilir. Maliyeti düşük, temin edilmesi kolay ve uygulanabilirliği yüksek olması sebebiyle özellikle su temini ve arıtma sistemlerinde yaygınlıkla kullanılmaktadır. Klorlama prosesinin optimizasyonu

için C·T değeri (konsantrasyon x temas süresi) ve perde faktörü gibi kriterler kullanılmaktadır. Bu parametreler doğrultusunda gerekli hesaplamalar yapılarak güvenli ve etkin bir klorlama süreci tasarlanabilir. Tablo 9 ve 10'da klorlama işleminin planlanmasında kullanılan C·T değerleri ve perde faktörü örnekleri yer almaktadır (Geben, 2023; Kanat, 2014).

Tablo 9. Perde Faktörü

Faktör	Tanım
0,1	Perdesiz, karışım esaslı, çok düşük uzunluk/genişlik oranı yüksek giriş ve çıkış akış hızı, Tek giriş çıkış hatlı kapalı dairesel ya da diktörtgen şeklindeki tank Girişin tavanda çıkışın ise tabanda (ya direk aşağıya doğru ya da giriş hattıyla aynı tarafta) olduğu dairesel ya da diktörtgen şeklindeki tank
0,3	Bir veya birden fazla perdesiz giriş ve çıkışların olduğu ve içerisinde perde bulunmayan tank, Girişin tavanda çıkışın ise karşı duvarın tabanında olduğu dairesel ya da diktörtgen şeklindeki tank
0,5	Perdeli giriş ve çıkışa sahip içerisinde birkaç perde bulunan tank
0,7	Giriş perdesi delikli içerisinde kıvrımlı veya delikli perdelerin olduğu, çıkışı savaklı veya delikli savaklı tank,
1	Çok yüksek genişlik/uzunluk oranı (boru akışı) delikli giriş, çıkış ve içerisinde perdesi bulunan tank

Tablo 10. Serbest klorla %99,9 (4-log) patojen giderimi için gerekli C.T değeri

Sıcaklık °C	pH	
	6-9	10
0,5	12	90
5	8	60
10	6	45
15	4	30
20	3	22
25	2	15

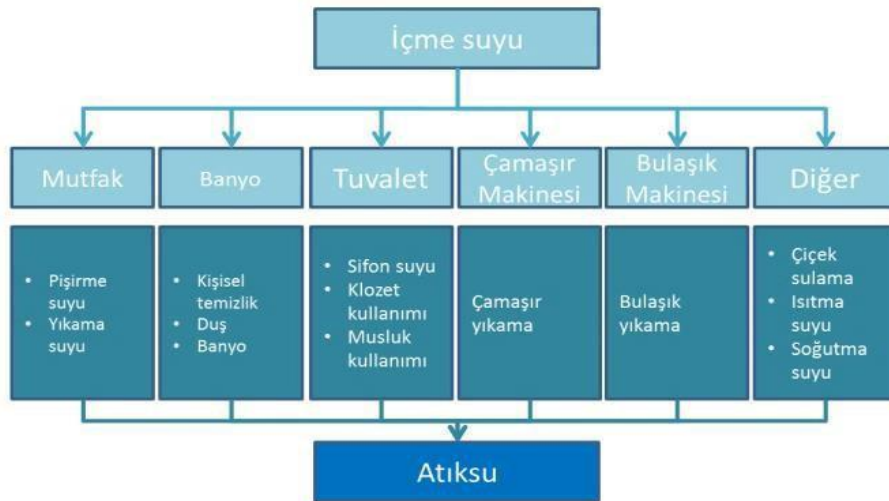
1.7. Gri Su

Gri su; konutlarda günlük yaşamda kullanılan temiz suyun, sabun, deterjan, şampuan ve benzeri kimyasallarla karışması sonucu kirlenerek ortaya çıkan atık su türüdür. EN 12056-1 standardına göre gri su, üriner atık içermeyen ve biyolojik kirlilik yükü

düşük olan atık su olarak tanımlanmaktadır. Gri suyun içeriğindeki kirlilik düzeyi, büyük ölçüde kullanıcıların tükettiği malzeme ve ürünlere bağlı olarak şekillenir. Gri su, konutlarda banyo, duş, lavabo, çamaşır ve bulaşık makineleri gibi kaynaklardan sürekli olarak oluşmakta ve bölgesel, mevsimsel ya da diğer dışsal faktörlerden çok az etkilenmektedir (Şahan, 2022).

Evsel atık suyun yaklaşık %75'ini gri su oluşturmaktadır (Karahan, 2011; Kütük, 2017; Kutlu, 2017). Bu nedenle gri suyun arıtılarak tekrar kullanılması, sadece su tüketimini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda kanalizasyon sistemlerine yönlendirilen atık su miktarını da düşürmekte, dolayısıyla atık su arıtma tesislerinin işletme yükünü ve maliyetlerini de azaltmaktadır (Değirmenci, 2023).

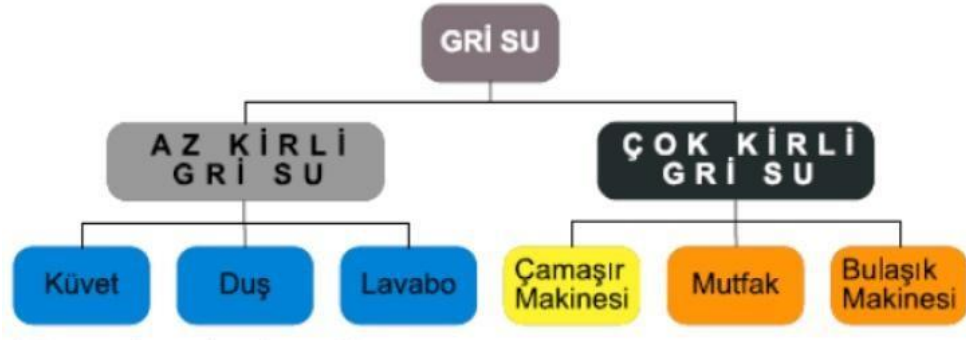
Kentlerde su tüketimi, kırsal alanlara göre çok daha yüksektir. Bunun temel nedenleri arasında şehir yaşamına bağlı alışkanlıklar, yaşam standartları, teknolojik imkanlar ve ekonomik koşullar yer almaktadır (Türkiye Belediyeler Birliği, 2016). Konutlardaki bireysel su tüketim oranları ise kişisel alışkanlıkların yanı sıra evde kullanılan teknolojik cihazlara da bağlıdır. Günlük yaşantıda bireylerin gerçekleştirdiği çok sayıda etkinlik su tüketimine neden olmakta ve buna bağlı olarak farklı kaynaklardan gri su oluşmaktadır. Bu kullanım alanlarının çeşitliliği ve dağılımı, Şekil 53'te gösterilmiştir (Aybuğa, 2018).



Şekil 53. Su kullanım bileşenleri

Evsel kaynaklı gri sular, içerdikleri kirlilik yüküne göre “az kirli” ve “çok kirli” olmak üzere iki gruba ayrılır. Az kirli gri su genellikle musluk ve banyo sularından

oluşurken, çok kirli gri su ise çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve mutfak lavabosu gibi kaynaklardan gelen atık sulardır. Bu kaynaklara ilişkin sınıflandırma Şekil 54’de gösterilmektedir (Avery ve diğ., 2007).



Şekil 54. Az kirli gri su ve çok kirli su kaynakları

Atık sular genel olarak içeriklerine göre sınıflandırılmaktadır: sıvı olanlar “sarı su”, katı olanlar ise “kahverengi su” olarak adlandırılırken; her iki türün birleşimi “siyah su” olarak tanımlanır. Gri su ise, ürinal (idrar) ve fekal (dışkı) artıklar içermeyen atık su olarak tanımlanmakta ve bu nedenle siyah sudan ayrılmaktadır. Gri suyun bileşimi, olduğu kullanım yerine göre farklılık göstermektedir (Eriksson, 2002).

Gri suyun sağlıklı bir şekilde tekrar kullanılabilmesi için öncelikle uygun bir tesisatla düzgün biçimde toplanması, ardından kullanım amacına göre titizlikle seçilmiş arıtma ve dezenfeksiyon yöntemlerinin uygulanması şarttır. Bu nedenle virüsler ve bakteriler, yeterli işlem görmemiş gri sudan bile geçerek canlı kalabilme özelliğine sahiptir; bu nedenle etkin bir arıtma sistemi kurulmadan geri dönüşümüne izin verilmemelidir. Toplama aşamasından dezenfeksiyona kadar her adımda hijyen standartlarına uyarak hayata geçirilen bütünleşik bir süreç, hem suyun kalitesini korur hem de yeniden kullanım güvenliğini garanti altına alır. Böylece çevresel sürdürülebilirlik sağlanırken, insan ve ekosistem sağlığı da korunmuş olur (March ve diğ., 2002). Gri suyun potansiyel kullanım alanları ise Şekil 55’te özetlenmiştir.

Tablo 11. Kaynağına göre gri su karakterizasyonu (Şahan, 2022)

Gri su kaynağı	Kirletici parametreler
Bulaşık makinesi	AKM, organik madde, yağ ve gres, tuzluluk, sodyum, nitrat, fosfor, çamaşır suyu, pH
Çamaşır makinesi	AKM, organik madde, yağ ve gres, artan tuzluluk, deterjan ve bakteri
Lavabo (Mutfak dahil)	AKM, organik madde, yağ ve gres, sabun, bakteri, şampuan kalıntısı
Duş-küvet	AKM, organik madde, yağ ve gres, sabun, şampuan kalıntısı

Ayrıca, çamaşır yıkama sonrası elde edilen, banyo ve mutfak kaynaklı gri suların ayrı ayrı ve karışık olarak incelendiği analizlerde, bu farklı kaynaklardan elde edilen karışık gri suyun karakteristik özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 12’de verilmiştir (Li ve diğ., 2009).

Tablo 12. Ayrı kaynaklardan oluşan gri suların kirlilik değerleri (Li ve diğ., 2009; Üçevli, 2017)

Parametre	Banyo	Çamaşır yıkama	Mutfak	Karışık
pH	6,4-8,1	7,1-10	5,9-7,4	6,3-8,1
AKM(mg/L)	7-505	68-465	134-1300	25-183
Bulanıklık(NTU)	44-375	50-444	200-400	29-183
KOI(mg/L)	100-633	231-2950	26-2050	100-700
BOİ(mg/L)	50-300	48-472	536-1460	47-466
Toplam Azot(mg/L)	3,6-19,4	1,1-40,3	11,4-74	1,7-34,3
Toplam Fosfor(mg/L)	0,11->49,8	>171	2,9 - >74	0,11-22,8
Toplam Koliform (EMS/100 ml)	10-2,4 x 10 ⁷	200,5-7 x 10 ⁵	>2,4 x 10 ⁸	56-8,03 x 10 ⁷
Fekal Koliform (EMS/100 ml)	0-3,4 x 10 ⁵	50-1,4 x 10 ³	-	0,1-1,5 x 10 ⁸

Gri suyu oluşturan parametrelerin fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklere göre kategorize edilmesi, hangi kirleticilerin hangi düzeyde bulunduğunu anlamamıza yardımcı olur. Bu kapsamda, gri suyun fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerine dair değerler sırasıyla Tablo 13, 14 ve 15’de detaylı biçimde gösterilmiştir.

Tablo 13. Kaynaklarına göre gri suyun fiziksel özellikleri (Birben, 2012)

Gri su kaynağı	Kirlenici parametreleri		
	Bulanıklık (NTU)	Toplam Katı (mg/L)	Toplam Çözünmüş Katı (mg/L)
Banyo/Duş	92	631	76
Karışık Evsel Su	20,6	-	12

Tablo 14. Kaynaklarına göre gri suyun kimyasal özellikleri (Birben, 2012)

Gri su kaynağı	Kirlenici parametreleri			
	pH	EC (µS/cm)	BOD ₅ (mg O ₂ /L)	COD (mg O ₂ /L)
Banyo/Duş	7,6	-	216	424
Duş	7,5	1241	78	170
Mutfak	5,6	1066	1100	2244
Banyo	10,0	1088	76	225
Banyo	7,3	421	200	421

Tablo 15. Kaynaklarına göre gri suyun mikroorganizma özellikleri (Birben, 2012)

Gri su Kaynağı	Mikroorganizmalar (CFU 100 m /L)		
	TC	E.coli	FE
Banyo/Duş	500-2.4x10 ⁷	170-3.3x10 ³	-
Çamaşır yıkama	10 ⁴ -10 ⁵	-	-
Karışık evsel su	8,1	6	4,4

1.7.2. Gri Suyun Arıtılması

Gri suyun arıtım süreci, öncelikle mevcut kirliliği oluşturan parametrelerin detaylı analiz edilmesiyle başlar. Bu analiz sonuçları doğrultusunda, en uygun arıtma sistemi belirlenir. Arıtma sisteminin seçiminde yalnızca kirlilik yükü değil, gri suyun nerede ve ne amaçla kullanılacağı da büyük önem taşır. Bu bağlamda, arıtma sürecinin en kritik aşaması dezenfeksiyon işlemidir. Dezenfeksiyon yetersiz uygulanırsa, ciddi

halk sağlığı sorunlarına yol açabileceğinden bu aşama dikkatle planlanmalı ve yürütülmelidir. Uygulanan sistemin düzenli olarak kontrol edilmesi, bakım işlemlerinin zamanında yapılması, kullanım sıklığına bağı olarak periyodik numune alınması ve analiz sonuçlarının titizlikle değeriendirilmesi büyük önem arz etmektedir (Şahan, 2022).

Gri suyun depolama süresi, zararlı kokuların ve sinek üremesinin önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle arıtılmış gri su, depolama tankında en fazla 24 saat bekletilmelidir (Şahin, 2010).

Gri su, kullanılacağı amaç doğrultusunda uygun fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım basamaklarından geçirilmelidir.

1.7.2.1. Fiziksel Arıtma

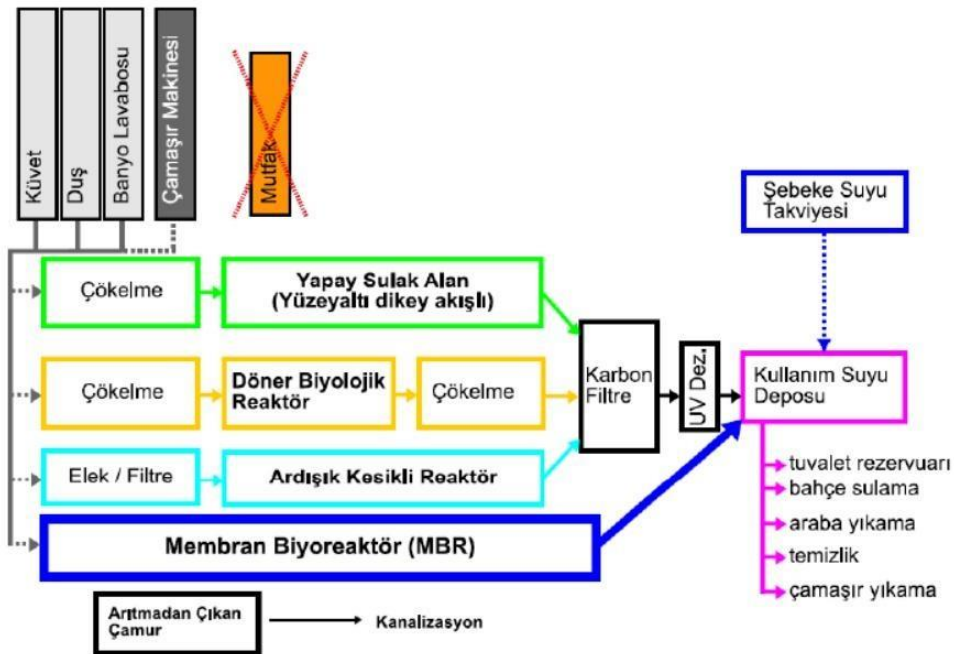
Fiziksel arıtma, gri sudaki kirletici yükün azaltılmasında ilk basamak olarak kullanılan yöntemdir. Bu aşamada temel olarak filtrasyon ve çöktürme işlemleri uygulanmaktadır. Ön arıtma kapsamında yer alan filtrasyon işleminde, gri sudaki AKM'lerin, patojen mikroorganizmaların ve bazı organik bileşiklerin uzaklaştırılması hedeflenir. Bu amaçla 5 mikronluk kaba filtrasyon, kum filtreleri veya membran filtreler kullanılabilir. Filtrasyon işlemi, ileri arıtım tekniklerine geçmeden önce suyun yükünü azaltarak sistem verimliliğini artırır (Üstün ve Tırpancı, 2015).

1.7.2.2. Kimyasal Arıtma

Gri suyun ileri düzeyde arıtımında kimyasal yöntemler etkin şekilde kullanılmaktadır. Kimyasal arıtma; özellikle çözünmüş kirleticilerin, nutrientlerin (azot ve fosfor gibi) ve organik maddelerin gideriminde etkili olup, farklı teknikleri içermektedir. Bu yöntemler arasında fotokatalitik oksidasyon, gelişmiş oksidasyon prosesleri, granüler aktif karbon adsorpsiyonu, elektrokoagülasyon ve iyon değişim sistemleri yer almaktadır. Bu yöntemlerin seçiminde suyun kullanım amacı, kirleticilerin cinsi ve maliyet gibi faktörler belirleyicidir (Üstün ve Tırpancı, 2015).

1.7.2.3. Biyolojik Arıtma

Gri suyun arıtılmasında kullanılan bir diğer yöntem ise biyolojik arıtma teknolojileridir. Bu yöntemler, organik kirleticilerin mikroorganizmalar aracılığıyla parçalanmasını esas alır. En yaygın kullanılan biyolojik arıtım sistemleri; membran biyoreaktörler (MBR), ardışık kesikli reaktörler (SBR), dönen biyolojik reaktörler (RBC) ve yapay sulak alanlar (Constructed Wetlands - CW) şeklindedir. Bu sistemlerden MBR hariç diğer yöntemler, verimli bir çalışma için öncesinde fiziksel ön arıtmaya ihtiyaç duymaktadır. Ön arıtma kapsamında filtrasyon ve çöktürme işlemleri gerçekleştirilir. Arıtım sürecinin sonunda dezenfeksiyon işlemi hayati öneme sahiptir. Gri suyun yeniden kullanımında en çok tercih edilen dezenfeksiyon yöntemleri klorlama ve UV ışınlamadır (Üstün ve Tırpancı, 2015). Bu arıtma teknolojilerinin genel yapısı ve süreçleri şekil.56’da şematik olarak gösterilmiştir.



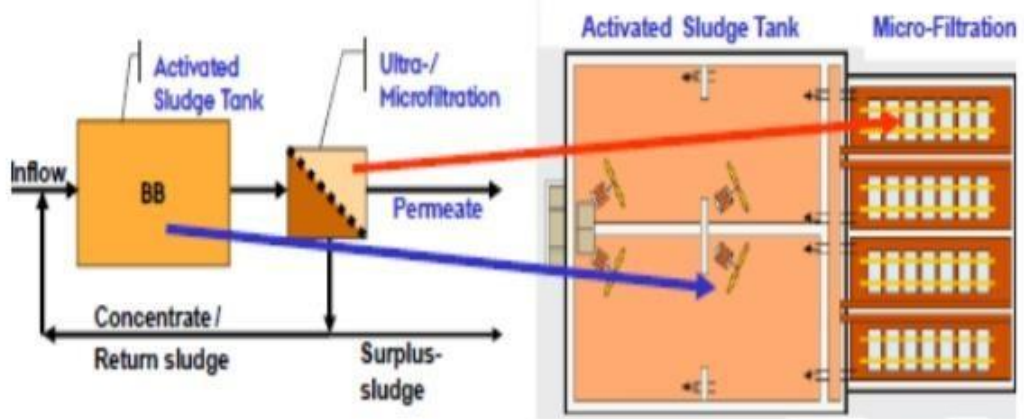
Şekil 56. Gri su arıtma teknolojileri (Şahan, 2022)

1.7.2.3.1. Membran Biyoreaktörler (MBR)

MBR sistemleri, gri suyun arıtılmasında günümüzde en çok tercih edilen ileri arıtma teknolojilerinden biridir. Bu sistemler, aktif çamur prosesi ile membran filtrasyonunun birleşiminden oluşmakta ve hem biyolojik arıtmayı hem de fiziksel ayırmayı aynı ünite de gerçekleştirebilmektedir. Membran prosesleri, arıtma

sistemlerinde hem saflaştırma hem de ayırma işlemleri için kullanılmakta olup, genel olarak mikrobiyal ve partikül kaynaklı kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılmasında etkin rol oynamaktadır (Kıtış ve diğ., 2012).

MBR sistemlerinin gri su arıtımında bu denli yaygın tercih edilmesinin temel nedenlerinden biri, çıkış suyunun kalitesinin oldukça yüksek olması ve ilave çöktürme tankı veya kimyasal arıtım ihtiyacının bulunmamasıdır. Bu özellikleri sayesinde, sistemler hem alan tasarrufu sağlamak hem de yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmektedir. MBR sistemlerinin çalışma prensibi, ön arıtmadan geçen gri suyun biyolojik reaktörde arıtılması ve ardından 0,10 – 0,15 bar basınç altında membran filtreler yönleştirilmesi esasına dayanır. Bu filtrelerden geçen su, bakteri, virüs ve partiküllerden arındırılarak yüksek kalitede arıtılmış su elde edilmesini sağlar. MBR sistemlerinin genel çalışma şeması şekil.57’de verilmiştir (Üstün ve Tırpancı, 2015).



Şekil 57. MBR'nin çalışma prensipleri

Gri suyun arıtımında en çok tercih edilen arıtma sistemi olan bu membran sistemlerinin uygunluğu, kullanım amacına göre seçilen membran tipine bağlıdır. Bu bağlamda, Tablo 16’da farklı membran çeşitlerinin gözenek çapı, ayrıştırabildiği maddeler ve kullanım alanları detaylı şekilde gösterilmiştir (Kıtış ve diğ., 2012).

Tablo 16. Membran tiplerinin uygulama alanları

Proses	Uygulama Alanı
Ters Osmoz (RO)	Toplam Çözünmüş Katının Azaltılması - Deniz suyu tuzunun giderilmesi (sadece RO) - Az tuzlu suların tuzlarının giderilmesi - Yüksek silika içeren suların tuzlarının giderilmesi (Elektrodiyaliz önerilen) İnorganik İyon Giderimi
Elektrodiyaliz	- Florit - Nütrientler (azot, fosfor) - Radyonükleoitler (sadece RO) - SDWA düzenlemelerinde bulunan inorganikler (arsenik vs.) Sentetik Organiklerin Giderimi (sadece RO)
Nanofiltrasyon	Sertlik Giderimi Organiklerin Giderimi - Dezenfeksiyon yan ürünlerinin giderimi - Sentetik organik kimyasallar (pestisitler) - Renk
Mikrofiltrasyon, Ultrafiltrasyon	Parteküllerin Giderimi - Askıda katılar - Bulanıklık - Virüsler (boşluk çapına ve membran özelliğine göre) - Bakteriler - Protozoa kistleri - kolloidler (boşluk çapına ve membran özelliğine göre) - inorganik presipitantlar ve yardımcı presipitantlar (demir, mangan) - organik yardımcı presipitantlar

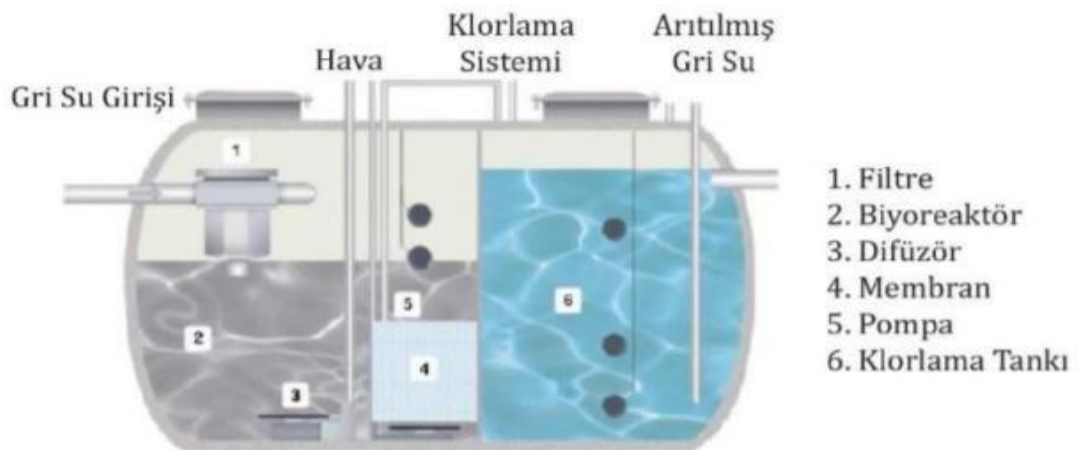
Gri suyun MBR arıtmasından geçtikten sonra hastalık yapıcı mikroorganizmaların tamamen yok edilmesi için dezenfeksiyon işlemine tabi tutulması gerekir. Atık suyun yeniden kullanılabilir hâle getirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı dezenfeksiyon yöntemlerinin virüs, protozoa ve bakteriler üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 17’de sunulmuştur. Çalışmada Klorlama, Ozonlama ve UV ışınları ile gerçekleştirilen dezenfeksiyon yöntemlerinin etkinliği kıyaslandığında; UV ve Ozon ile dezenfeksiyonun klorlama yöntemine göre daha yüksek kısa süreli etkinlik sağladığı tespit edilmiştir. Ancak, UV ve ozon gibi yöntemlerin etkisi zamanla azaldığı için, uzun süreli dezenfeksiyon sağlamakta yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, optimum ve sürdürülebilir bir dezenfeksiyon

sağlanması açısından klorlama yöntemi gri su arıtımında daha yaygın ve etkili bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Abik, 2016).

Tablo 17. Dezenfeksiyon çeşitlerinin bakteri, protozoa ve virüslere olan tesiri (Abik, 2016)

Mikroorganizma çeşitleri	Klor	Ozon	UV
Bakteri	Çok etkili	Çok etkili	Etkili
Protozoa	Etkisiz-az etkili	Etkili	Çok etkili
Virüs	Çok etkili	Çok etkili	Etkili

MBR sistemleri, hem su kalitesi gereksinimi yüksek uygulamalarda hem de yer kısıtı olan alanlarda oldukça ideal bir çözüm sunmaktadır. Son çöktürme tankına gerek olmaması ve çamurun membran üstünde oluşmasıyla daha az çamur olması gibi etkenler daha fazla tercih edilmesini sağlar. Sürdürülebilir su yönetimi açısından etkili bir alternatif oluşturmaktadır. Bu sistemlerin en önemli avantajları arasında kompakt yapıları, daha az çamur üretmeleri, yüksek arıtım verimliliği ve çöktürme ihtiyacını ortadan kaldırmaları yer almaktadır. Gri su, ilk olarak ön filtrelemeden geçirilerek reaktöre yönlendirilir. Reaktörde uygun aerobik koşullarda mikroorganizmaların yardımıyla biyolojik arıtım gerçekleştirilir. Ardından su, belirli bir basınç altında membran yüzeyinden geçirilir ve çıkış hattında genellikle klorlama ünitesi gibi bir dezenfeksiyon aşaması ile tamamlanır (Üstün ve Tırpancı, 2015) (Şekil.58).



Şekil 58. MBR sistemi ile gri su arıtımı

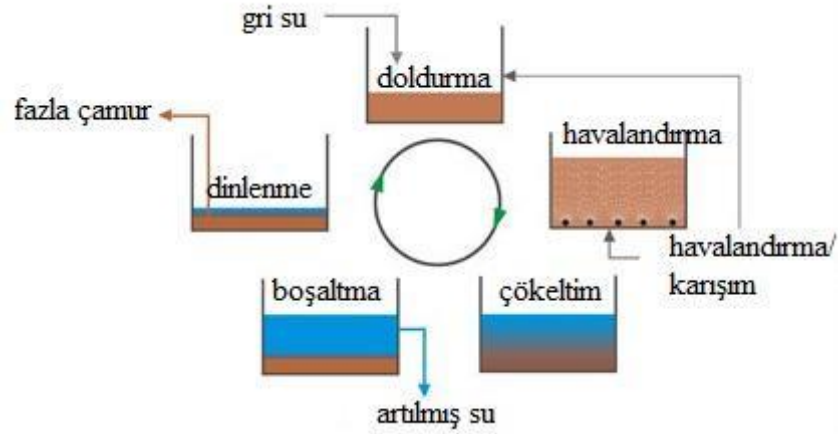
1.7.2.3.2. Ardışık Kesikli Reaktör (SBR)

SBR sistemleri, fosfor ve azot gibi besin elementlerinin (nutrientlerin) uzaklaştırılmasında yaygın olarak tercih edilen biyolojik arıtma yöntemlerinden biridir. SBR sistemleri, “doldur-boşalt” prensibine dayalı olarak çalışmakta ve tüm işlem adımlarını aynı tank içinde gerçekleştirmektedir (Üstün ve Tırpancı, 2015).

SBR teknolojisi, özellikle paket atıksu arıtma sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Bu paket sistemlerde, evsel atık suların ve gri suyun arıtımı için gerekli tüm aşamalar aynı tank içinde, ardışık olarak gerçekleştirilmektedir. Tipik olarak sistem, günde dört periyot çalışacak şekilde programlanmakta; her periyotta sırasıyla; atık suyun reaktöre alınması (doldurma), kontrollü havalandırma ile biyolojik oksidasyonun sağlanması (havalandırma), biyolojik çamurun çökertilmesi (çökeltme), arıtılmış suyun sistemden alınması (boşaltma) ve gerekli durumlarda dezenfeksiyon aşaması ile tamamlanmaktadır. Bu işlemler belirli zaman aralıklarıyla ardışık olarak tekrarlanır (Üstün ve Tırpancı, 2015).

Gri suyun miktarına bağlı olarak, SBR tek bir tanktan ya da paralel çalışan birden fazla tanktan oluşabilir. Arıtım süreci başlangıcında gri su reaktöre alınır; karıştırıcı yardımıyla homojen hale getirilir ve difüzör ile hava pompası desteğiyle havalandırma sağlanır. Ardından çökeltme, boşaltma ve dinlendirme işlemleri gerçekleştirilir. Bu aşamalarda havalandırma ve karıştırma işlemleri durdurularak biyolojik çamurun dibe çökmesi sağlanır (Üstün ve Tırpancı, 2015).

SBR sistemleri, düşük alan gereksinimi, esnek işletim yapısı ve yüksek arıtma verimliliği ile özellikle küçük ve orta ölçekli uygulamalar için uygun bir alternatif sunmaktadır.



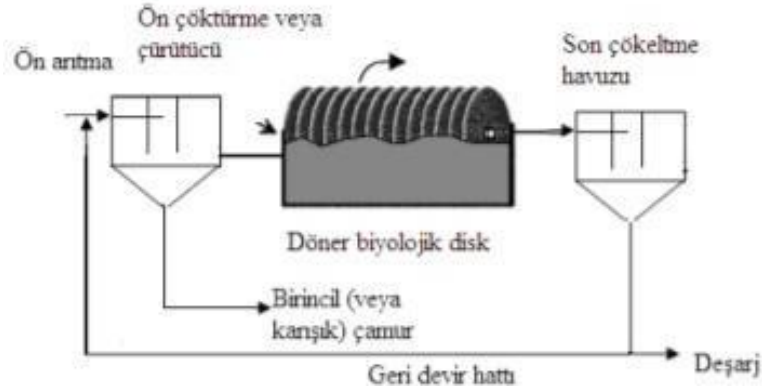
Şekil 59. Gri suyun ardışık kesikli reaktörde arıtılması

1.7.2.3.3. Döner Biyolojik Disk (Rotating Biological Contactor – RBC)

RBC sistemleri, gri suyun biyolojik arıtımında kullanılan etkin yöntemlerden biri olup, genellikle ön arıtma işlemlerinin ardından uygulanmaktadır. Sistemin temel bileşenlerini, plastikten imal edilen ve belirli bir kalınlığa sahip diskler oluşturmaktadır. Bu diskler bir şaft üzerine paralel şekilde yerleştirilmiş olup, yaklaşık %40–50’lik bölümleri reaktör sıvısına daldırılmış durumdadır. Diskler, şaft mekanizması aracılığıyla düşük devirli bir motor yardımıyla döndürülür. Bu döner hareket sayesinde disklerin havayla temas eden yüzeyinde biyofilm tabakası gelişir. Bu biyofilm üzerinde yerleşen mikroorganizmalar, gri suyun içerisinde bulunan organik maddeleri metabolize ederek suyun arıtılmasını sağlar. Disklerin dönüşü, hem biyolojik oksidasyon için gerekli olan oksijenin mikroorganizmalara ulaştırılmasını hem de disklerin sıvıya yeniden daldırılmasıyla arıtılacak suyla sürekli temasını mümkün kılar (Şahan, 2022).

RBC sistemlerinde arıtılan su, diskler üzerinden geçtikten sonra genellikle bir çökeltme tankına yönlendirilir. Bu aşamada biyolojik çamur ayrıştırılarak uzaklaştırılır. Son kullanım amacı doğrultusunda, özellikle yeniden kullanım hedefleniyorsa, ek olarak dezenfeksiyon işlemi de gereklidir. Her ne kadar RBC sistemleri etkin bir biyolojik arıtım sağlasa da, diğer ileri biyolojik arıtma teknolojileriyle karşılaştırıldığında daha fazla yer kaplaması, disk ve motor sistemleri nedeniyle daha yüksek ilk yatırım maliyeti gibi dezavantajlara sahiptir. Bu

nedenlerle, sınırlı alanlara sahip uygulama alanlarında tercih edilmesi güç olabilir (Şahan, 2022).



Şekil 60. Döner biyolojik disk

1.7.2.3.4. Yapay Sulak Alanlar (Constructed Wetlands – CW)

CW, atık suyun arıtımında doğal süreçlerin kontrollü bir şekilde kullanıldığı, sürdürülebilir ve düşük maliyetli sistemlerdir. Bu sistemler, doğal sulak alanların işleyişi model alınarak tasarlanır ve arıtma işlemi fiziksel, kimyasal ve biyolojik mekanizmalar yoluyla gerçekleştirilir (Şahan, 2022).

CW genellikle derinliği 1 metreyi geçmeyen yatak, havuz veya kanal biçimindeki alanlarda uygulanır. Bu alanlara çakıl, taş ve kum gibi gözenekli malzemeler yerleştirilerek geçirgen bir ortam oluşturulur. Sulak alanda kullanılan yüzey veya sucul bitkiler ise arıtma sürecine aktif olarak katılır. Bu bitkiler, atık sudaki organik maddeleri, besin elementlerini (özellikle azot ve fosfor bileşiklerini) ve patojenleri uzaklaştırmakta etkili rol oynarlar. Yapay sulak alan sistemlerinde, atık suyun giriş hızı, bekletme süresi ve su seviyesi gibi parametreler kontrol altında tutulur. Sistem genellikle geçirimsiz bir kil tabakası veya sentetik izolasyon malzemeleriyle kaplanarak yer altı su kaynaklarının kirlenmesi önlenir. Böylece, arıtma işlemi boyunca çevresel etkiler minimize edilir. Yatay veya düşey akışlı olarak tasarlanabilen bu sistemler, özellikle küçük yerleşim birimlerinde, kırsal alanlarda ve doğal çevrenin korunmasının öncelikli olduğu bölgelerde yaygın olarak tercih edilmektedir (Şahan, 2022).

1.7.3. Arıtılmış Gri Suyun Kullanım Alanları

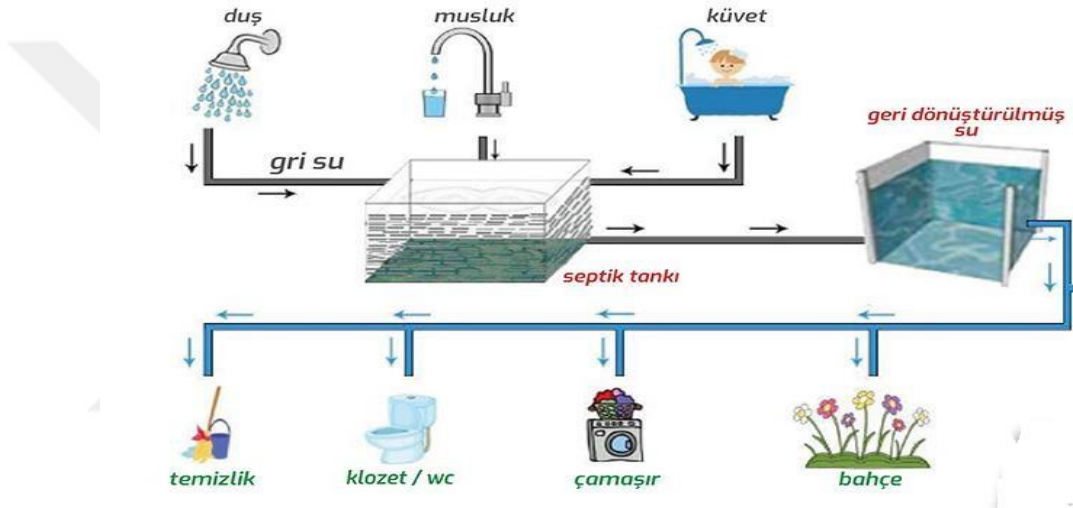
Gri su, içerdği patojen mikroorganizmalar ve organik madde bakımından siyah suya kıyasla oldukça düşük kirlilik potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, uygun arıtma ve dezenfeksiyon süreçlerinden geçirildiğinde birçok alanda yeniden kullanılabilir hâle gelmektedir. Doğru arıtma sistemlerinin kullanımıyla organik maddelerin büyük ölçüde giderilmesi ve dezenfeksiyon işlemleriyle patojen yükünün ortadan kaldırılması mümkündür. Özellikle bakiye klorun kontrol altında tutulduğu durumlarda patojenik mikroorganizmaların hayatta kalma ihtimali oldukça düşüktür. Bu bağlamda, gri suyun yeniden kullanım potansiyeli oldukça geniştir. Arıtılmış gri su; yangın söndürme sistemleri, araç yıkama, tarımsal sulama, çamaşır ve bulaşık makinelerinde kullanım gibi birçok alanda değerlendirilebilir. Ayrıca yerel yönetimlerin park ve bahçe sulamaları gibi kamuya yönelik faaliyetlerinde de alternatif su kaynağı olarak kullanılabilir (Değirmenci, 2023).

Gri suyun kentsel kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada, gri suyun yanı sıra sarı su, kahverengi su ve siyah su gibi diğer evsel atık su türlerinin içerikleri, potansiyel geri kazanım ürünleri ve uygun nihai kullanım alanları detaylı biçimde incelenmiştir. Bu çalışmada gri suyun yeniden kullanıma uygunluğu, düşük riskli kullanım senaryolarıyla ilişkilendirilerek değerlendirilmiş; kullanım alanlarına ilişkin örnekler Tablo 18’de verilmiştir (Belir Baykal, 2018)

Tablo 18. Ayrık akımların bileşenleri, ürünleri, olası son kullanım alanları (Belir Baykal, 2018)

	Önemli Bileşenler	Değerli Bileşenler	Tekrar Kullanılmadan Giderilecek Bileşenler	Değerli Ürünler	Son Kullanım Alanları
GRİ SU Tuvalet atık suyu haricindeki atıksu	-Organik madde -Patojenler	-Su	-Organik madde -Patojenler	-Su	-Su çevrimi -Sifon/servis suyu -Sulama -Yer altı suyu besleme
SARI SU Kaynakta ayrılmış atıksu	-Azot -Fosfor -Potasyum	-Azot -Fosfor -Potasyum	-Patojenler -Farnasotikler -Hormonlar	-Gübre	-Tarım -Peyzaj -Yeşil alan
KAHVERENGİ SU Kaynakta ayırılmış dışkı	-Organik madde -Fosfor -Patojenler	-Organik madde -Fosfor	-Patojenler	-Enerji -Kompost	-Enerji -Tarım
SİYAH SU Tuvalet atıksuları	-Organik madde -Azot -Fosfor -Potasyum -Patojenler	-Organik madde -Azot -Fosfor -Potasyum	-Patojenler	-Enerji -Kompost -Gübre	-Enerji -Tarım

Gri su, evsel faaliyetler sonucunda oluşan ve sınırlı düzeyde kirlilik içeren atık sudur. Arıtıldıktan sonra tekrar evsel kullanıma kazandırılması mümkündür. Özellikle tuvalet rezervuarlarında, çamaşır ve bulaşık makinelerinde kullanım için uygun bir alternatif su kaynağıdır. Mevcut binalarda yapılacak küçük çaplı tesisat düzenlemeleri ve kompakt paket arıtma sistemlerinin kurulması sayesinde, gri suyun döngüsel olarak yeniden kullanımı pratik ve ekonomik şekilde sağlanabilir. Bu kapsamda gri suyun potansiyel kullanım alanları Şekil.61’de görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 61. Gri suyun kullanım alanları (Masdaf, 2022)

Evsel atık su bileşenleri arasında yüksek patojen içeriğine sahip olan kahverengi suyun, toplam atık su içerisindeki oranı oldukça düşüktür. Sarı suyun (idrar) gübre üretiminde değerlendirilmesinden ötürü, atık su arıtma tesislerine yönlendirilmesi gereken kahverengi suyun oranının yalnızca %0,1 düzeyinde kaldığı görülmektedir (Tablo.19). Bu da atık su arıtma tesislerinin yükünü ciddi anlamda azaltmakta ve işletme maliyetlerinde önemli ölçüde düşüş sağlamaktadır.

Tablo 19. Evsel atıksu fraksiyonları ve hacimleri (Beler Baykal ve Allar, 2007)

Atık su fraksiyonları	Yüzde (%)
Gri su	75
Sarı su	1
Kahverengi su	0,1
Diğer(Sifon suyu)	23,9

Gri su, sarı su ve kahverengi su şeklinde ayrı ayrı sınıflandırıldığında ve gri su özelinde ayrı bir arıtma sistemi kurulduğunda; hem önemli miktarda suyun yeniden kullanımı mümkün olmakta hem de kanalizasyon sistemlerine gidecek atık su debisi kayda değer şekilde azalmaktadır. Bu durum, özellikle su kıtlığı yaşayan bölgelerde kaynakların korunması açısından son derece önemlidir.

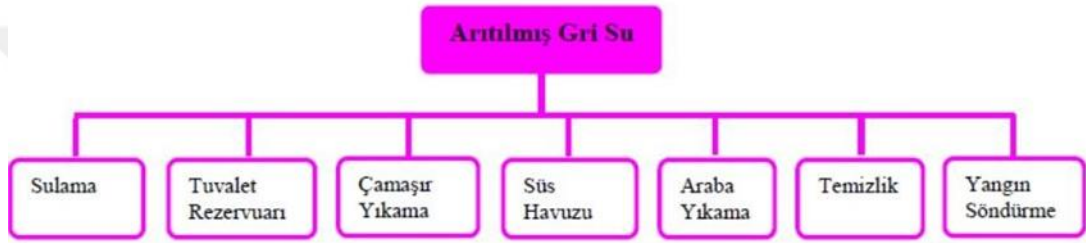
Dünyada birçok ülke, arıtılmış atık suların yeniden kullanımı konusunda çeşitli uygulamaları hayata geçirmiştir. Bu uygulamalar, su kaynaklarının korunması ve alternatif kaynakların değerlendirilmesi bakımından kritik öneme sahiptir. Arıtılmış atık suların yeniden kullanım alanlarına ilişkin bazı örnekler Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Dünyadaki bazı atıksuyun tekrar kullanımı projeleri (Kretschmer ve diğ., 2002)

Proje Adı	Amaç	Sonuç
İsrail, Jeezrael Vadisi	Tatlı su kaynağı sıkıntısı nedeniyle belediye atıksularını sulama suyu olarak geri kazanılması	Vadideki tüm sulama suyu ihtiyacının %80’ini karşılamıştır.
Meksika	Mega şehirlerde atıksu arıtımı ile ilgili sorunlardan ötürü arıtma olmadan atıksuyun tarımsal sulamada kullanımını denemek amacı ile 85.000 ha araziye uygulama yapılmıştır.	Suda ki yüksek organik madde toprakların fiziksel ve kimyasal koşullarında iyileştirme meydana getirmiştir. Mahsul verimi %94-150 arasında gerçekleşmiştir. Tüketim yapan 100.000 den fazla kişide paraziter kaynaklı hastalık görülmüştür. İkincil arıtma gerekliliği vurgulanmıştır.
Belçika	Yerel olarak yetiştirilen Pazar ürünlerini dolduran fabrika çevresinde ki 550 hektarlık tarım alanında sulama yapılmıştır.	Bu sulama ile ürünlerin kalitesinde değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.
Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), Sharjah	Atıksu bahçe ve peyzaj sulamaları için kullanılmıştır. Konu ile ilgili olarak halk sağlığını koruyucu düzenlemeler bulunmaktadır.	Yeşil alanların genişletilmesi ve yeraltı su kaynaklarının korunumu sağlanmıştır.

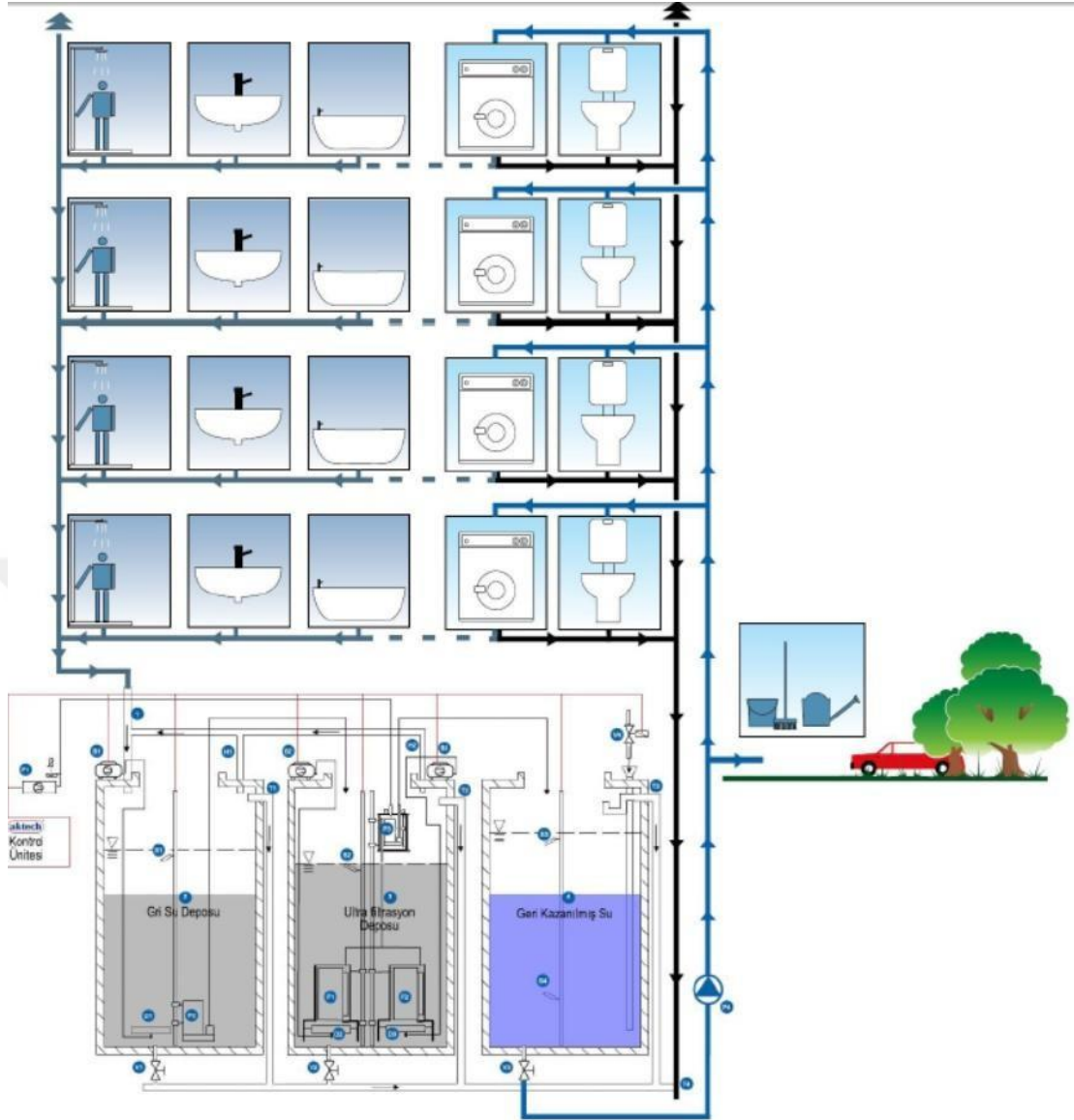
1.7.4. Gri Suyun Yeniden Kullanılabilirliğinin Avantaj ve Dezavantajları

Gri suyun yeniden kullanımı, su kaynaklarının korunması ve su tasarrufu sağlanması açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Ancak bu sürecin başarıyla yürütülebilmesi için seçilecek arıtma sisteminin maliyet, işletme kolaylığı ve arıtma kalitesi gibi pek çok faktör dikkate alınmalıdır. Gri suyun tekrar kullanımında en kritik aşamalardan biri dezenfeksiyon sürecidir. Kullanım alanına göre suyun kalitesi değişkenlik göstermelidir. Özellikle çamaşır ve bulaşık makineleri gibi doğrudan insan sağlığını etkileyen kullanım alanları için yüksek düzeyde arıtılmış, hijyenik açıdan güvenli su elde edilmesi gerekmektedir (Şahan, 2022).



Şekil 62. Gri suyun yeniden kullanım alanları (Şahan, 2022)

Gri suyun tuvalet rezervuarları, bahçe sulama veya çamaşır yıkamada yeniden kullanımı için MBR gibi ileri arıtma teknolojileri tercih edilmelidir. Arıtılmış gri su; mikrobiyolojik ve hijyenik açıdan güvenli, AKM içermeyen, düşük bulanıklık seviyesine sahip, kokusuz ve görsel olarak berrak bir nitelikte olmalıdır. Yapılan bilimsel araştırmalar, arıtılmış gri suyun başta bahçe sulama, tuvalet rezervuarları, süs havuzları ve çamaşır yıkama olmak üzere çeşitli alanlarda güvenle kullanılabileceğini ve ayrıca yüzey sularına doğrudan deşarjının da çevresel açıdan uygun olacağını göstermektedir (Şahan, 2022).



Şekil 63. Gri su yeniden kullanılabilirlik sisteminin çalışma prensibi (Şahan, 2022)

1.7.4.1. Gri Suyun Yeniden Kullanımının Avantajları

- **Su tasarrufu sağlar:** Evsel su tüketiminin önemli bir kısmını azaltır.
- **İçme suyu kaynaklarının korunmasına katkı sağlar:** İçilebilir kalitedeki suyun gereksiz tüketiminin önüne geçilir.
- **Doğal kaynakların sürdürülebilirliği desteklenir.**
- **Atık su miktarı azalır:** Bu da kanalizasyon sistemlerine olan yükü hafifletir.
- **Alternatif kullanım alanları oluşturur:** Bahçe sulama, yangın söndürme, araç yıkama gibi alanlarda içme suyu yerine kullanılabilir.

1.7.4.2. Gri Suyun Yeniden Kullanımının Dezavantajları

- **Yüksek yatırım maliyeti:** Özellikle ileri arıtma sistemlerinin kurulumu maliyetlidir.
- **İşletme ve bakım zorlukları:** Sistemin sürekliliği için düzenli bakım gereklidir.
- **Teknoloji bağımlılığı:** Gerekli ekipmanların bir kısmı ithal olduğu için yedek parça temini zaman ve maliyet açısından zorluk yaratabilir.
- **Toplumsal bilinç düzeyi ve algısı:** Gri su kullanımı konusunda kamuoyunda yaygın bir önyargı ve isteksizlik mevcuttur (Şahan, 2022)

1.8. Literatür Araştırması

Bu bölümde, yağmur suyu ve gri suyun yeniden kullanım potansiyeli ile ilgili ulusal ve uluslararası akademik çalışmalar incelenerek, literatürdeki mevcut bilgi birikimi ortaya konulmuştur. Çalışmalar; farklı üniversiteler, sanayi tesisleri ve yerleşim birimleri gibi çeşitli ölçeklerde gerçekleştirilen uygulamaları, bu sistemlerin teknik boyutlarını ve ekonomik geri dönüş sürelerini kapsamaktadır.

Sevimli (2021) tarafından yapılan çalışmada; Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü özelinde yağmur suyu ve gri su hasadı ile sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi uygulamaları değerlendirilmiştir. Bölgeye ait son 15 yıllık yağış verileri temel alınarak yapılan analizler doğrultusunda, önerilen sistemlerin uygulanması durumunda kampüs genelinde yüzeysel akışın %18 oranında azaltılabileceği öngörülmüştür. Çalışmada bina rezervuarlarında kullanılmak üzere tek yağmur suyu ve yağmur suyu ile gri su birlikte iki ayrı çözüm yolu ile araştırma yapılmıştır. Yağmur suyu hasadına dayalı senaryoda, binaların yıllık toplam su ihtiyacının % 90,9, % 58,1 ve % 44,6 'sının karşılanabileceği belirlenmiştir. Sistem maliyetinin geri dönüş süreleri 4,7 yıl, 5,8 yıl ve 6,2 yıl olarak hesaplanmıştır. Yağmur suyu ve gri su hasadının birlikte değerlendirildiğinde binaların yıllık toplam su tüketiminin % 100, % 76,7 ve % 62,2'inin temin edileceği öngörülmüştür. Birlikte olan uygulamada sistem maliyetinin geri dönüşü yaklaşık 6 yıl ve 8,8 yıl olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, yağmur suyu ve gri suyun birlikte değerlendirilmesinin hem su tasarrufunu artırdığını hem de ekonomik olarak uygulanabilir bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Günaydın (2021) tarafından yürütülen çalışmada; Yalova Üniversitesi mühendislik fakültesinde yağmur suyunun tuvalet rezervuarlarında kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Çalışmada, sistemin boyutlandırılması amacıyla regresyon analizi uygulanmış ve öğrenci sayısı temel alınarak farklı senaryolar geliştirilmiştir. En az 300 ve en fazla 1500 öğrenci kapasitesi dikkate alınarak, 3000 litre ile 15.000 litre arasında değişen depo hacimlerinin yeterli olacağı öngörülmüştür. Söz konusu iki farklı öğrenci sayısı senaryosu için yapılan ekonomik değerlendirmelerde, sistemin geri ödeme süresi minimum 6 yıl, maksimum 13 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, kampüs ölçeğinde yağmur suyu hasadının tuvalet rezervuarlarında kullanımının hem teknik hem de ekonomik açıdan uygulanabilir bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Şahan (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yağmur suyu ve gri su arıtma sistemlerinin teknik esasları ile bu sistemlerin yatırım ve işletme maliyetleri analiz edilmiştir. Gri suyun arıtımı için konut bazında iki farklı yöntem karşılaştırılmıştır. MBR sistemi kullanıldığında konut başına yatırım maliyeti 858,26 euro olarak hesaplanırken, ardışık kesikli reaktör sisteminde bu maliyetin 503 euroya düştüğü tespit edilmiştir. Ancak SBR'nin işletme maliyetlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca yağmur suyu arıtımına ilişkin ekonomik analiz yapılmış ve sistemin yatırım maliyetinin 135 euro olduğu ortaya konmuştur. İşletme maliyetlerinin ise oldukça düşük düzeyde gerçekleştiği vurgulanmıştır. Bu sonuçlar, özellikle yağmur suyu arıtım sistemlerinin düşük maliyetli alternatifler arasında yer aldığını göstermektedir.

Aldawahid (2022) tarafından yapılan çalışmada, yağmur suyu hasadı sisteminin Bursa otobüs terminalinde uygulanabilirliği incelenmiştir. Çalışmada, 2021 yılına ait Bursa ili aylık yağış verileri ile otobüs terminaline ait çatı alanı bilgileri kullanılarak, potansiyel olarak hasat edilecek yağmur suyu miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen bu miktarın terminaldeki yeşil alanların sulanması, araç yıkama, yer temizliği ve tuvaletlerde kullanımı için ne kadarının karşılayacağı hesaplanmıştır. 100 m³ hacimli 11 tank ile bu ihtiyacın %24,4'ü karşılandığı tespit edilmiş olup, yapılan sistemin yatırım geri dönüş süresi 18 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, yağmur suyu hasadı sistemlerinin büyük ölçekli kamu alanlarında sınırlı bir katkı sağlasa da

Çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Değirmenci (2023) tarafından yürütülen çalışmada Süleyman Demirel  niversitesi ve Isparta Uygulamalı Bilimler  niversitesinde bulunan binalara ait yağmur suyu hasadı hacimleri hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca   renci ve personel sayıları dikkate alınarak gri su miktarları hesaplanmış ve bu miktarların kampüs içindeki yeşil alanların sulama ihtiya ı yeterliliği incelenmiştir. Süleyman Demirel  niversitesinde hem rektörlük binası için bir yağmur suyu hasadı projesi hazırlanmış hem de gri suların arıtılması amacıyla sistem kurulması gereken alanlar belirlenmiş ve projesi hazırlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, toplam gri su hacminin yağmur suyu hasadı miktarından fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak her iki kaynak birlikte değerlendirildiğinde dahi, elde edilen suyun kampüsteki tüm yeşil alan sulama ihtiya ını karşılamakta yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır.

Geben (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir fabrikanın çatısı baz alınarak yağmur suyu hasadı sistemi tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında, 22000 m² çatı alanına sahip fabrikanın yıllık 6514 m³ yağmur suyu toplanacağı hesaplanmıştır. Toplanan suyun içme suyu, soğutma kulesi, yangın tesisat sistemi, proses suyu, buhar kazanı make-up suyu, araç yıkama ve peyzaj sulaması gibi farklı amaçlarla kullanılabileceği belirtilmiştir. Yıllık toplam 34.867,08 m³ su ihtiya ı olan fabrikada, yağmur suyu hasadı ile yaklaşık %19 oranında su tasarrufu sa lanabilece i belirlenmiş ve sistemin geri dönüş süresi 6 yıl olarak hesaplanmıştır.

Aybu a (2018) tarafından yapılan çalışmada Ankara kent merkezinde yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımının uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Gri su için tahmini evsel su kullanım değerleri hesaplanmıştır. Çamaşır makinası, banyo ve duş gibi kaynaklardan elde edilen gri suların tuvalet rezervuarlarında kullanılabilirliği esas alınarak tahmini evsel kullanım değerleri hesaplanmıştır. Yağmur suyu hasadı ile ihtiya ın %11,44 ile %13,32'sinin karşılanabileceği; 2 ve 5 ton hacimli depolarla yağmur suyunun ortalama %61 ile %73'ünün hasat edilebileceği hesaplanmıştır. Ankara ili dikkate alındığında her iki sistemin birlikte değerlendirilmesi sonucunda sağlanabilecek toplam tasarruf oranı ortalama %36 ile %38 arasında hesaplanmıştır.

Gökbaş (2018) tarafından yürütülen çalışmada, Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi'nde yağmur suyunun yüzeysel akışı ve hasadı iki farklı aşamada ele alınmıştır. Arazi koşullarına göre yüzeysel akış miktarında %15, yeşil bina çatısı uygulaması ile %2,5 oranında azalma sağlandığı hesaplanmıştır. Yağmur suyu hasadının bina rezervuarlarında kullanılması ile %13 ila %30 oranında su tasarrufu sağlanabileceği belirlenmiş, sistemlerin geri dönüş sürelerinin ise 1,3 ile 8,8 yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Tuncer (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı şehirlerde ve farklı amaçlarla kullanılan yapılarda yağmur suyu hasadına ilişkin geri ödeme süreleri hesaplanmış ve karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir. Ankara'da yer alan 29.000 m² çatı alanına sahip bir fabrikanın geri ödeme süresi 3,8 yıl olarak hesaplanırken; 8.700 m² çatı alanına sahip bir kütüphanede bu sürenin 18 yıl, 1.150 m² çatı alanlı bir sitede ise 20,3 yıl olduğu belirlenmiştir. İzmir'de bulunan 3.500 m² çatı alanına sahip bir hemşirelik fakültesinde geri dönüş süresi 6 yıl, Manisa'daki 44.860 m² çatı alanına sahip bir fabrikada ise bu sürenin sadece 2,6 yıl olduğu tespit edilmiştir.

Özgün (2023) tarafından yapılan çalışmada, evsel nitelikli gri suyun ardışık kesikli reaktör ile arıtımın ve yeniden kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Kocaeli'nde 6 ailenin yaşadığı 20-24 kişilik bir binadan elde edilen gri su, 25-30 litrelik bir akvaryum reaktörde test edilmiştir. 2,5 günlük hidrolik bekleme süresinin 1 güne kıyasla daha verimli sonuçlar sağladığı belirlenmiştir. Arıtma sonucunda; pH ort. 8.11, elektriksel iletkenlik ort. 860 µS/cm, çözülmüş oksijen ort. 7.43 mg/L olarak ölçülmüştür. Giderim verimleri sırasıyla; bulanıklık %99, AKM %98, fosfat %88, toplam azot %90, KOİ %89 ve BOİ %98 olarak raporlanmış, sonuçların arıtılmış gri su standartlarını büyük ölçüde karşıladığı tespit edilmiştir.

Üçevli (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada, alınan gri su numuneleri membran biyoreaktör, koagülasyon ve elektrokoagülasyon süreçlerinden geçirilerek tuvalet rezervuarları ve peyzaj sulaması gibi alanlarda kullanım potansiyeli incelenmiştir. Çalışma kapsamında, AB içme ve kullanma suyu standartları referans alınmış ve farklı arıtım teknikleri (RO, mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon ve polialüminyumklorür ile demir elektrot uygulamaları) test edilmiştir. Elde edilen veriler, arıtılmış gri suyun söz konusu kullanım alanlarında herhangi bir sağlık riski oluşturmadan

kullanılabileceğini göstermiştir.

Kalıpcı ve diğ. (2021) tarafından Giresun Üniversitesi'nde gerçekleştirilen araştırmada, Güre ve Gazipaşa kampüslerindeki toplam 44.017,918 m² çatı alanından yılda yaklaşık 43.185.058,22 litre yağmur suyu hasadı yapılabileceği belirlenmiştir. Elde edilen yağmur suyunun yeşil alan sulamasında kullanılması durumunda yaklaşık 8.637.011,644 m² alanın su ihtiyacının karşılanabileceği, tuvaletlerde kullanılması değerlendirilmesi halinde ise yaklaşık 878 kişinin bir yıllık tuvalet su ihtiyacını karşılayabileceği hesaplanmıştır.

Eren (2016) tarafından Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde yapılan çalışma, kampüs ölçeğinde yağmur suyu hasadı potansiyelini ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışmada, kampüsteki her bina için yağmur suyu hasadı miktarları hesaplanmış ve yeşil alanların sulama gereksinimi karşılaştırılmıştır.

Köse Mutlu (2021) tarafından yürütülen çalışmada, İstanbul'da bir kentsel dönüşüm projesi örneği üzerinden çok katlı binalarda gri suyun yerinde arıtılması ve yeniden kullanılmasının fizibilitesi değerlendirilmiştir. Çalışma, gri su sistemlerinin özellikle yeni yerleşim alanlarında entegre bir altyapı sistemi olarak planlanabileceği ve sürdürülebilir su yönetimi açısından önemli katkılar sağlayabileceğini göstermiştir.

Albalawneh ve Chang (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tarımsal sulama amacıyla gri suyun geri dönüşümüne yönelik bir sistem önerilmiştir. Gri suyun kimyasal özellikleri ve çeşitli arıtım teknolojileri analiz edilerek, özellikle sınırlı su kaynaklarına sahip tarım alanlarında kullanılabilecek şematik bir geri dönüşüm sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada, evsel atık suyun %50 ila %80'inin gri sudan oluştuğu ve bu kaynağın etkin kullanımıyla ciddi su tasarrufu sağlanabileceği vurgulanmıştır.

South Indian University (SIU) bünyesinde gerçekleştirilen bir çalışmada, üniversite kampüsündeki farklı niteliklere sahip binaların çatı alanları değerlendirilerek yağmur suyu toplama potansiyeli analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, kampüs genelinde yılda yaklaşık 1.130.680 m³ yağmur suyunun toplanabileceği ve bu suyun muson mevsimi haricindeki dönemlerde kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, yağmur suyu hasadı sistemine ilişkin yapılan maliyet analizleri doğrultusunda, söz konusu

sistemin geri ödeme süresi yaklaşık 13 yıl olarak hesaplanmıştır (Anchan ve diğ., 2021).

Kolavani (2020) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, İran'ın kuzeyinde yer alan Gilan, Mazandaran ve Golestan eyaletlerindeki yedi farklı şehirde konut sektörüne yönelik yağmur suyu hasadı sistemlerinin teknik fizibilitesi değerlendirilmiştir. Çalışmada, ev ve apartmanlarda uygulanan yağmur suyu hasadı sistemlerinin evsel su tüketiminde, özellikle ev ve bahçe temizliği amacıyla kullanılan su miktarında, sırasıyla %15 ve %30 oranında tasarruf potansiyeli sunduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yağmur suyu deposu kapasitelerinin konutların büyüklüğü ve yapısal özellikleriyle olan uyumu incelenmiş; çatı alanındaki değişimin sistemin verimliliği üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Araştırma kapsamında, kişi başına günlük içme suyu tüketiminin yaklaşık 152 ila 242 litre arasında değiştiği ve yıllık ortalama yağış miktarının 523 ila 1720 mm arasında olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgular, yağmur suyu hasadı uygulamasının konut sektöründe teknik açıdan büyük ölçüde uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle daha fazla yağış alan şehirlerde, daha küçük çatı alanlarıyla dahi yüksek verim elde edilebildiği; buna karşın, içme suyu talebinin yüksek olduğu Nowshahr ve Ramsar gibi şehirlerde, daha geniş çatı alanına sahip senaryoların daha uygun sonuçlar sunduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, yağmur suyu hasadı sistemlerinin teknik fizibilitesinin değerlendirilmesinde her bir yerleşim yerinin su talebi, çatı alanı ve günlük yağış miktarı gibi yerel parametreler dikkate alınarak ayrı ayrı analiz yapılması önerilmektedir.

Avustralya'daki Batı Sidney Üniversitesi kampüsünde, çatılardan ve havzalardan yağmur suyunu toplamak amacıyla oluk ve iniş boruları aracılığıyla çalışan entegre bir yağmur suyu hasadı sistemi geliştirilmiş ve fizibilitesi değerlendirilmiştir. Sistem, 2 m³ hacminde plastik bir tanktan ve bu tanka entegre edilmiş bir ilk yıkama ünitesinden oluşmaktadır. Geliştirilen sistemin, özellikle kırsal bölgelerdeki haneler için temiz içme suyu temininde kullanılabileceği belirlenmiştir. Ekonomik analiz sonucunda, sistemin litre başına 0,07 Avustralya doları üretim maliyetiyle yaklaşık 8 yıl içinde geri ödeme sağlayabileceği hesaplanmıştır. Ayrıca, sistemden elde edilen içme suyunun kalitesi temel parametreler açısından analiz edilmiş; sonuçların Avustralya İçme Suyu Standartları'nda belirtilen kriterleri karşıladığı tespit edilmiştir. Sistem, günlük ortalama 348 ± 20 litre içme suyu üretim kapasitesine

sahip olup, sürdürülebilir ve uygulanabilir bir çözüm olarak değerlendirilmiştir (Alim ve diğ., 2021).

Mao ve diğ. (2021) tarafından Çin'de gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı meteorolojik koşullar ve çatı kaplama malzemeleri (galvanizli metal, seramik karo, beton ve asfalt) altında toplanan yağmur suyunun kalite özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, çatıdan toplanarak yağmur suyu tankında biriktirilen suyun, ilk yıkama tankındaki suya kıyasla daha yüksek kalitede olduğunu, ancak bu suyun doğrudan yeniden kullanımının önerilmediğini ortaya koymuştur. Çatı kaplama malzemeleri arasında karşılaştırma yapıldığında, seramik karo ile kaplı çatılardan elde edilen yağmur suyunun en yüksek kaliteye sahip olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, en düşük su kalitesi ise asfalt kaplamalı çatılardan toplanan yağmur suyunda gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, çatı malzemesinin yağmur suyu hasadı sistemlerinde su kalitesini önemli ölçüde etkileyen bir değişken olduğunu ortaya koymaktadır.

İngiltere'de yapılan kapsamlı bir çalışmada, yağmur suyu hasadı sistemleri detaylı şekilde incelenmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda uygulayıcılara yönelik bir kılavuz hazırlanmıştır. Bu kılavuzda, yağmur suyu hasadı sistemlerinin uygulanabilirliğine ilişkin çeşitli önemli hususlar vurgulanmaktadır. Öncelikle, düşük akışlı musluklar, havalandırmalı duş başlıkları, yağmur suyu fiçileri ve düşük hacimli sifon sistemleri gibi daha basit ve ekonomik su koruma teknolojilerinin, genellikle daha kısa geri ödeme süresi sunduğu ve yağmur suyu hasadı sistemlerinden önce değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Ayrıca, yağmur suyu hasadı sistemlerinin su verimliliği sağlayan uygulamalardan sonra, kaynak azaltımı, yeniden kullanım ve geri dönüşüm ilkelerini esas alan çevresel sürdürülebilirlik hiyerarşisi kapsamında ele alınması gerektiği belirtilmektedir. Yağmur suyu hasadı sistemlerinin alternatif bir su kaynağı sunarak şebeke suyu talebini azaltma potansiyeli taşıdığı, ancak toplam su tüketimini tek başına azaltmadığı da vurgulanmaktadır. Bununla birlikte, bu tür sistemlerin genellikle hükümet destekli sürdürülebilirlik politikaları kapsamında teşvik edildiği, dolayısıyla kamu politikaları ile entegre şekilde değerlendirilmesinin önem taşıdığı ifade edilmektedir. Ayrıca, yağmur suyu hasadı sistemlerinin kurulumu açısından en uygun zamanın yeni bina inşaatları ya da büyük ölçekli yenilemeler olduğu; mevcut binalara sonradan entegre edilmesinin daha

maliyetli ve zahmetli olabileceği belirtilmiştir. Son olarak, projelerin maliyet etkinliğinin, uygulama ölçeği ile doğru orantılı olarak arttığı sonucuna ulaşılmıştır (EA, 2010).

ABD'nin Kaliforniya eyaletinde, Cranfield Üniversitesi kampüsündeki öğrenci yurtlarında yürütülen bir çalışmada, gri suyun klorla dezenfeksiyonuna yönelik sistemin etkinliği, organik madde ve partikül içeriğinin etkisi bağlamında değerlendirilmiştir. Çalışmada, 18 öğrenci dairesinin banyo lavaboları, küvetleri ve duşlarından yerçekimi ile toplanan gri su, yer altı deposunda biriktirilmiş ve buradan sürekli sirkülasyon sağlayan 1.400 L kapasiteli bir tutma tankına pompalanmıştır. Bu tankta depolanan suyun BOİ, KOİ, AKM ve toplam koliform düzeyleri dokuz ay boyunca düzenli olarak izlenmiş; ayrıca, rastgele alınan numuneler üzerinde parçacık boyutu ve klor gereksinimi analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, söz konusu gri suyun doğrudan klorla dezenfeksiyonunun, kentsel suyun yeniden kullanımı için gerekli olan uluslararası mikrobiyolojik standartları sağlamadığını ortaya koymuştur. Özellikle Kaliforniya Eyaleti tarafından kentsel yeniden kullanım için belirlenen 2,2 toplam koliform/100 mL sınır değerine, 80 mg/L'ye kadar uygulanan başlangıç klor konsantrasyonlarında dahi ulaşamamıştır. Çalışmada, klor temas süresi ve konsantrasyonunun artırılmasının koliform giderimini iyileştirebileceği ifade edilse de, bu uygulamaların pratik ve sürdürülebilir olmadığı sonucuna varılmıştır. Dezenfeksiyon etkinliğinin en çok parçacık boyutuna bağlı olduğu, büyük boyutlu partiküllerin koliform bakterileri fiziksel olarak koruyarak klorun inaktivasyon etkisini azalttığı belirlenmiştir. Klorla dezenfeksiyon sonrası gri sudaki toplam koliformların yaklaşık %91'inin partiküllerle bağlantılı olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, gri suyun yeniden kullanımında etkili bir klor dezenfeksiyonu için öncelikle AKM'lerin giderilmesi ve ardından yüksek başlangıç klor konsantrasyonu ile yeterli temas süresi uygulanması önerilmiştir (Winward ve diğ., 2008).

İspanya'nın kuzeydoğusunda yer alan 441 odalı üç yıldızlı bir tatil köyünde gri suyun yeniden kullanımına yönelik bir sistemin teknik ve ekonomik olarak değerlendirildiği bir çalışma yapılmıştır. Otelde 1990'lı yıllarda yapılan su tüketimi analizleri sonucunda, en yüksek su kullanımının tuvalet sifonlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda, odalardaki duş ve el yıkama lavabolarından elde edilen gri su, ızgaradan geçirilerek bir gri su tankında toplanmış, ardından klorla dezenfekte

edilerek tuvaletlerde yeniden kullanıma sunulmuştur. Uygulanan bu sistem sayesinde otelde yılda ortalama 10.000 m³ tatlı su tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir. Ancak, özellikle yaz aylarında meydana gelen koku epizodları nedeniyle klor dezenfeksiyonunun yeterli olmadığı durumlar gözlemlenmiş ve bu durum sistemin etkinliğini sınırlamıştır. Bu nedenle, günlük 1 m³ kapasiteye sahip bir MBR pilot tesisi kurularak, bu teknolojinin teknik ve ekonomik fizibilitesi değerlendirilmiştir. Altı ay süresince otelde işletilen optimize enerji tüketimine sahip MBR pilot sistemi temel alınarak, gri suyun ayrı toplanması, MBR ile arıtımı, arıtılmış suyun depolanması ve dezenfeksiyon süreçlerini içeren kapsamlı bir ekonomik model oluşturulmuştur. Modelleme sürecinde İspanya'daki güncel su ve enerji maliyetleri ile 20 yıllık bir planlama dönemi esas alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, mevcut 5 m³/gün kapasiteli sistemin uygulanabilir olduğunu ortaya koyarken, 30 m³/gün su tüketimi olan otelde sistemin geri ödeme süresi yaklaşık 3 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, otel gibi yüksek su tüketimine sahip tesislerde MBR tabanlı gri su yeniden kullanım sistemlerinin hem teknik hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu göstermektedir (Atanasova ve diğ., 2017).

Imteaz ve Shanableh (2012) tarafından yürütülen çalışmada, su verimliliği sağlayan teknolojilerin geri ödeme süresi ve ekonomik uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında çift sifonlu tuvaletler, akış kısıtlayıcı aparatlar ve su tasarruflu çamaşır makineleri gibi teknolojilerden elde edilen su tasarruf oranlarının %30 ile %50 arasında değiştiği ve bu uygulamaların ortalama geri ödeme süresinin 1,9 yıl olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, söz konusu su tasarrufu teknolojilerinin önemli miktarda içme suyu tasarrufu sağlayabildiğini ve ilk yatırım maliyetlerinin iki yıldan daha kısa sürede geri kazanılabileceğini ortaya koymuştur. Aynı çalışmada, Avustralya'nın Melbourne kentinde bulunan çok katlı bir binada gri su arıtım sisteminin ekonomik fizibilitesi de incelenmiştir. Yapılan analizlerde, binadan elde edilen gri su miktarının, kompleksin çevresinde yeterli yeşil alan bulunmaması nedeniyle ihtiyaç duyulandan fazla olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, üst katlardan toplanan gri suyun tüm bina ihtiyaçlarını karşılayabildiği ifade edilmiştir. 20 katlı bir binanın çatısına MBR sistemi kurulması durumunda öngörülen kurulum maliyetinin 163.000 dolar, bakım maliyetlerinin ise 4 ila 300 dolar arasında değiştiği ve bu sistemin geri ödeme süresinin 22 yıl olduğu hesaplanmıştır. Ancak bina kat

sayısındaki artışla birlikte sistemin ekonomik verimliliği de artmakta; örneğin, 30 katlı bir binada aynı sistemin geri ödeme süresi 8 yıla kadar düşmektedir. Bu bulgular, bina ölçeğinin gri su arıtım sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliğini doğrudan etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

Kılıç ve Rukiah (2022) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul Havalimanı'nın çatı yüzeylerinden toplanabilecek yağmur suyunun, havalimanı çevresindeki su ihtiyacının karşılanmasındaki potansiyel katkısı değerlendirilmiştir. Analiz kapsamında, çatılardan toplanan yağmur sularının yeşil alan sulamasında haftanın belirli günlerinde kullanılması durumunda, toplam sulama suyu ihtiyacının ne kadarının karşılanabileceği hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, yağmur suyu ile hem yeşil alanların sulama ihtiyacı hem de yolcu başına düşen su tüketimi ile havalimanı bünyesindeki otelin yıllık su ihtiyacı, yılın 73 günü boyunca karşılanabilmektedir. Ekonomik analiz sonucunda ise, yağmur suyu toplama sisteminin toplam kurulum maliyetinin 760.680 TL (88.554 dolar) olduğu ve sistemin geri ödeme süresinin yaklaşık 5,5 yıl olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, yağmur suyu hasadı sistemlerinin büyük ölçekli altyapılar için çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik uygulanabilirlik açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Kutlu ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Antalya iline bağlı önemli bir turizm merkezi olan Alanya ilçesinde seçilen pilot bir bölgeye ait gri su potansiyeli değerlendirilmiştir. Seçilen otel ve konutlara ilişkin elde edilen verilere dayanarak, günlük gri su debisi hesaplanmış ve gri suyun kaynakları, oluşan miktarları ile olası kullanım alanları araştırılmıştır. Analizler sonucunda, otelde günlük 39.480 litre (toplam su tüketiminin %40'ı), konutlarda ise günlük 43.344 litre (toplam su tüketiminin %51'i) gri su üretildiği belirlenmiştir. Gri suyun lavabo, duş ve banyo gibi kaynaklardan oluştuğu tespit edilmiş; geri kazanılan bu suyun, özellikle peyzaj sulama, rezervuar sistemleri ve temizlik gibi ikincil kullanım alanlarında değerlendirilebileceği öngörülmüştür. Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelere göre, gri suyun geri kazanımı ile su tüketiminde otellerde %40, konutlarda ise %51 oranında tasarruf sağlanabileceği; bu doğrultuda toplamda %45,5 oranında su verimliliği elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, turizm

bölgelerinde gri suyun geri kazanımının su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir.



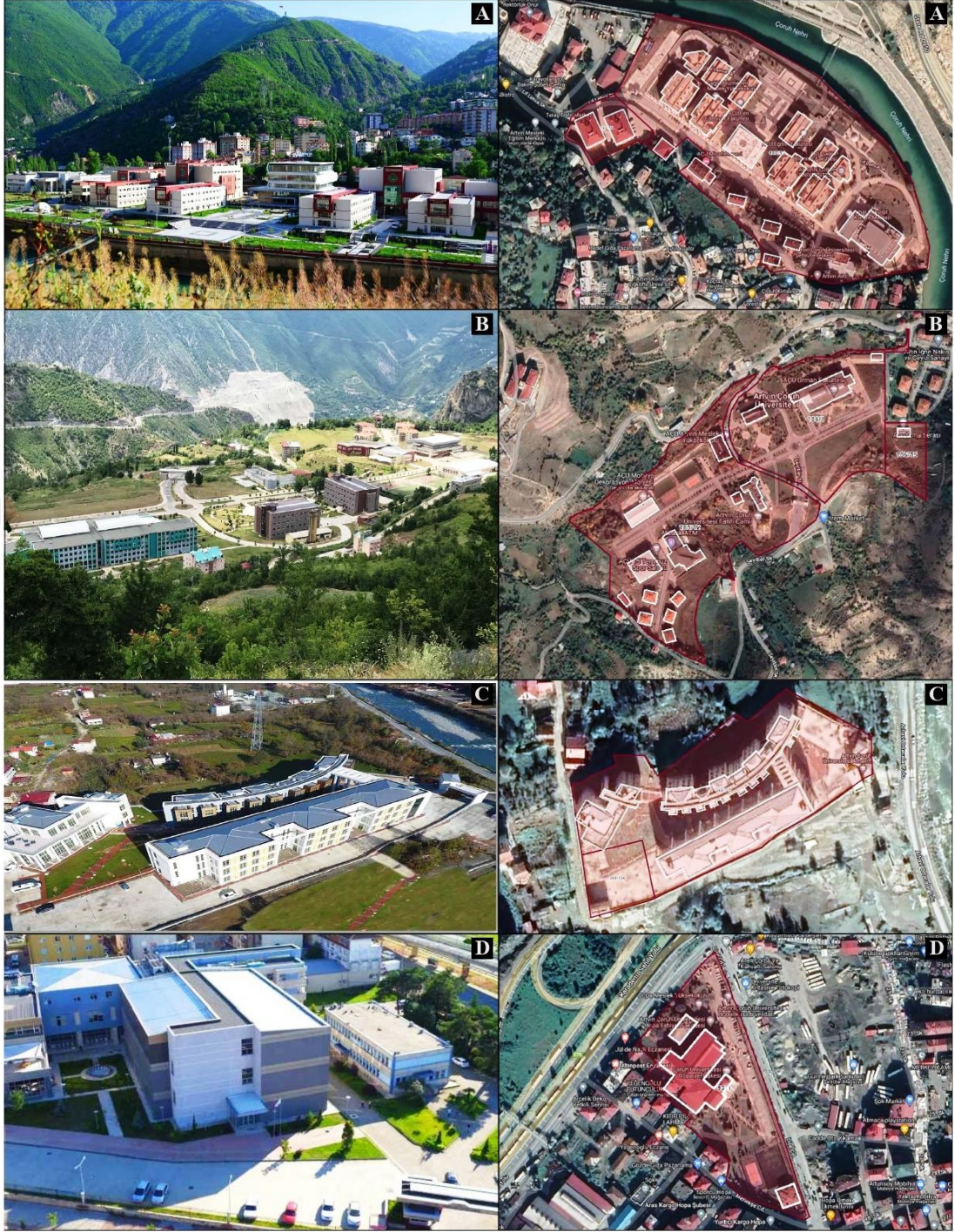
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, AÇÜ'ye ait tüm yerleşkelerdeki binaların yağmur suyu ve gri suyun yeniden kullanımına yönelik potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda; üniversiteye ait tüm binalar için ayrı ayrı yağmur suyu hasadı hesaplamaları yapıldı, yıllık su tasarrufu miktarları ve uygun depo hacimleri belirlendi, tüm veriler doğrultusunda bir fayda-maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece sistemin üniversite ölçeğinde uygulanabilirliği ortaya konulacaktır.

2.1. Çalışma Alanı

AÇÜ 17 Mayıs 2007 tarihli ve 5662 Sayılı Kanun kapsamında Artvin' de kurulmuştur. Üniversite toplam yedi yerleşkede eğitim-öğretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Bu yerleşkeler; Merkez, Seyitler, Hopa, Arhavi, Borçka, Şavşat ve Ardanoç yerleşkeleridir. Tüm yerleşkelerde bulunan yapılar Tablo.26'da gösterilmiştir.

Merkez yerleşkesi; şehir merkezinde Çoruh Nehri boyunca 76.070,97 m² alan üzerine inşa edilmiştir. Rektörlük, Ali Nihat Gökyiğit(ANG) Kongre ve Kültür Merkezi ile Merkezi Kütüphane bu yerleşkede bulunmaktadır. Seyitler Yerleşkesi; merkez yerleşkeye yaklaşık 5 km mesafede olup, merkeze bağlı seyitler köyünde bulunan yerleşke 180.584,01 m² alan üzerine inşa edilmiştir. Arhavi yerleşkesi; şehir merkezine yaklaşık 70 km uzaklıkta olup 20.295,21 m² alan üzerine inşa edilmiştir. Hopa Yerleşkesi; şehir merkezine yaklaşık 54 km uzaklıkta olup 68.416,42 m² alan üzerine inşa edilmiştir. Ardanoç yerleşkesi; şehir merkezine yaklaşık 40 km uzaklıkta olup 34.856,46 m² alan üzerine inşa edilmiştir. Şavşat Yerleşkesi; şehir merkezine yaklaşık 67 km uzaklıkta olup 7.829,88 m² alan üzerine inşa edilmiştir. Borçka yerleşkesi; şehir merkezine yaklaşık 25 km uzaklıkta olup 28.390,30 m² alan üzerine inşa edilmiştir. ANG Botanik Bahçesi; şehir merkezine yaklaşık 10 km uzaklıkta olup 143.099,65 m² alan üzerine inşa edilmiştir.



Şekil 66. Yerleşkelerin fotoğrafları ve uydu görüntüleri, A: Merkez yerleşke, B: Seyitler Yerleşkesi, C: Arhavi yerleşkesi, D: Hopa Yerleşkesi



Şekil 67. Yerleşkelerin fotoğrafları ve uydu görüntüleri, E: Ardanuç yerleşkesi, F: Şavşat Yerleşkesi, G: Borçka yerleşkesi, H: ANG Botanik Bahçesi

AÇÜ'nün yerleşkelerinde bulunan yapılar Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. AÇÜ Kampüsleri ve Binaları

Fakülte Adı	Yerleşke
Rektörlük Binası	Merkez Yerleşke
Merkezi Kütüphane	Merkez Yerleşke
ANG Kongre ve Kültür Merkezi	Merkez Yerleşke
Konukevi	Merkez Yerleşke
Lojmanlar	Merkez Yerleşke
A, B, C ve D Blokları (Derslikler)	Merkez Yerleşke
Orman Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi
Mühendislik Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi
Artvin Meslek Yüksekokulu (MYO)	Seyitler Yerleşkesi
Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı İdari Binası (YİTDB)	Seyitler Yerleşkesi
Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BİLTEKMER)	Seyitler Yerleşkesi
Kapalı Spor Salonu	Seyitler Yerleşkesi
Sosyal Tesis Binası	Seyitler Yerleşkesi
Endüstriyel Tasarımlar Uyg. ve Arş. Merkezi	Seyitler Yerleşkesi
Ormancılık Uygulama ve Araştırma Merkezi(Sera)	Seyitler Yerleşkesi
Lojmanlar	Seyitler Yerleşkesi
Depo	Seyitler Yerleşkesi
Ulaştırma Binası	Seyitler Yerleşkesi
Borçka Acarlar MYO	Borçka Yerleşkesi
Lojmanlar	Borçka Yerleşkesi
Hopa MYO İdari Binası	Hopa Yerleşkesi
Hopa MYO Eğitim Binası	Hopa Yerleşkesi
Fitness Salonu	Hopa Yerleşkesi
Şavşat MYO	Şavşat Yerleşkesi
Tarihi Bina	Ardanuç Yerleşkesi
Derslik Binası	Ardanuç Yerleşkesi
Arhavi MYO İdari Binası	Arhavi Yerleşkesi
Arhavi MYO Eğitim Binası	Arhavi Yerleşkesi
Yemekhane	Arhavi Yerleşkesi

AÇÜ'ye ait tüm yerleşkelerde oluşan toplam gri su miktarının belirlenebilmesi için öncelikle her fakültede bulunan öğrenci ve akademik personel sayıları tespit edilmiştir. Bu kapsamda, veriler AÇÜ 2024 Yılı Faaliyet Raporu'ndan temin edilmiştir (AÇÜ, 2024). Gri su hesaplamalarında kullanılacak sayısal veriler Tablo 22 ve Tablo 23'te sunulmaktadır.

Tablo 22. AÇÜ öğrenci sayıları (2024)

AÇÜ	
Birim	TOPLAM
Orman Fakültesi	212
Eğitim Fakültesi	1040
Fen-Edebiyat Fakültesi	1307
İlahiyat Fakültesi	604
Hopa İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	377
Mühendislik Fakültesi	112
Sağlık Bilimleri Fakültesi	870
Sanat Tasarım Fakültesi	247
İşletme Fakültesi	274
Spor Bilimleri Fakültesi	264
Turizm Fakültesi	145
Artvin MYO	2518
Arhavi MYO	418
Hopa MYO	542
Borçka Acarlar MYO	1035
Sağlık Hizmetleri MYO	1887
Yusufeli MYO	237
Şavşat MYO	350
TOPLAM	12439

Tablo 23. Akademik Personel Sayısı (2024)

AÇÜ	
Birim	Akademik Personel Sayısı
Rektörlük	46
Orman Fakültesi	45
Eğitim Fakültesi	56
Fen-Edebiyat Fakültesi	56
İlahiyat Fakültesi	30
Hopa İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	34
Mühendislik Fakültesi	27
Sağlık Bilimleri Fakültesi	35
Sanat Tasarım Fakültesi	26
İşletme Fakültesi	6
Spor Bilimleri Fakültesi	9
Turizm Fakültesi	3
Artvin MYO	75
Arhavi MYO	16
Hopa MYO	12
Borçka Acarlar MYO	29
Sağlık Hizmetleri MYO	32
Yusufeli MYO	14
Şavşat MYO	8
TOPLAM	559

2.2. Yağmur Suyu Hasadının Hesaplanması

Binalarda çatı yüzeylerinden toplanacak yağmur suyu miktarının hesabı için yağmur suyu verimi formülü kullanılmıştır. Verim hesabı yapılırken; toplam çatı alanı, yıllık ortalama yağış miktarı, çatı malzemesine göre belirlenen akış katsayısı ile filtre etkinlik katsayısı dikkate alınır.

$$\Sigma V_y = A_y \times Y \times K_a \times \beta$$

Bu formülde; V_y : Yağmur suyu verimi, A_y : Yağmur toplama alanı, toplam çatı alanı, Y : Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından belirlenen toplam yıllık yağış miktarı, K_a : Çatı akış katsayısı, β : Filtre etkinlik katsayısıdır (Dadhich ve Mathur, 2016; Taşçı 2021; Şimşek ve Demir, 2023)

Yağmur suyu toplama alanları, AÇÜ YİTDB tarafından sağlanan çatı yüzey alanı verileri doğrultusunda belirlenmiştir. Hesaplamalar, Microsoft Excel ortamında gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar tablo halinde sunulmuştur (Tablo 35).

Çatı malzemesi, toplanabilecek yağmur suyunun miktarını doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Bu bağlamda kullanılan akış katsayısı, yüzeyden kaynaklanan su kayıplarını temsil eden boyutsuz bir değerdir. Akış katsayısı; yağışın yoğunluğu, süresi, yüzey eğimi ve çatı kaplama malzemesinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Singh ve diğ., 2011; Şimşek ve Demir, 2023).

Bu nedenle, bir çatıya düşen yağışın tamamının geri kazanılamayacağı göz önüne alınarak, hesaplamalarda mutlaka uygun bir akış katsayısının dikkate alınması gerekmektedir. Tablo 24’te, farklı çatı malzemeleri için önerilen akış katsayısı değerleri yer almaktadır.

Tablo 24. Farklı çatı tipleri için akış katsayısı (Dadhich ve Mathur, 2016; Taşçı 2021; Şimşek ve Demir, 2023)

Çatı tipi	Akış katsayısı
Metal çatı	0,9
Asbest çatı	0,8
Kiremitli çatı	0,75
Beton çatı	0,70

Filtre etkinlik katsayısı; çatıdan toplanan suyun ilk filtre sisteminden geçerken karşılaşabileceği kayıpları temsil eder. Filtrasyon sırasında görünen katı maddelerin tutulması hedeflenir; bu sebeple suyun bir kısmının sistem dışı kalması göz önüne alınarak etkinlik katsayısı eklenmiştir. Alman standartları tarafından belirtilen katsayı olup değeri 0,9'dur (DIN, 1989)

Hesaplamalarda kullanılmak üzere MGM'nin resmi internet sitesinden elde edilen verilere göre, Artvin iline ait 1949–2023 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış miktarı 694,7 mm (694,7 L/m²) olarak alınmıştır (Tablo 25).

Tablo 25. MGM, Artvin İline ait yağış istatistik verileri (MGM,2024)

ARTVİN	Ölçüm Periyodu (1949-2024)	Ortalama Yağışlı	Aylık Toplam Yağış Miktarı
AYLAR		Gün Sayısı (mm)	Ortalaması (mm)
Ocak		13,00	85,0
Şubat		12,64	72,0
Mart		13,57	60,8
Nisan		12,63	52,5
Mayıs		14,14	53,7
Haziran		12,63	48,9
Temmuz		8,36	31,7
Ağustos		8,14	29,0
Eylül		8,62	38,1
Ekim		10,95	60,9
Kasım		10,99	75,9
Aralık		11,67	86,2
Yıllık		137,3	694,7

Yeşil alanların sulama ihtiyacı, birim alan başına 5 litre/m² su tüketimi esas alınarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, toplam yeşil alan su ihtiyacı; toplam yeşil alan miktarı ile birim sulama suyu ihtiyacının çarpılmasıyla elde edilmiştir.

2.3. Gri Su Miktarının Hesaplanması

Gri suyun toplam oluşma miktarının hesaplanmasında aşağıda verilen formül kullanılmıştır:

Gri Su Miktarı = Çalışma Süresi (saat) × Saatlik Oluşan Gri Su Miktarı (Litre/kişi-saat) × Kişi Sayısı

AÇÜ'ye ait tüm yerleşkelerde oluşan toplam gri su miktarının belirlenebilmesi için öncelikle her fakültede bulunan öğrenci, akademik personel sayıları tespit edilmiştir. Bu kapsamda, gerekli veriler AÇÜ 2024 Yılı Faaliyet Raporu'ndan temin edilmiştir (AÇÜ, 2024). Gri su hesaplamalarında kullanılacak öğrenci sayılarına ilişkin veriler Tablo 22 ve Tablo 23'te sunulmaktadır.

Belediyeler tarafından deşarj edilen günlük atıksu miktarları esas alınarak, gri su, sarı su ve kahverengi suya ait oluşum miktarları hesaplanmıştır. Bu kapsamda, atıksuyun bileşenlerine ait oranlar literatürde belirtilen yüzdelik dağılıma göre değerlendirilmiştir. Buna göre; atıksuyun %75'i gri su, %1'i sarı su ve %0,1'i kahverengi su olarak kabul edilmiştir (Beler Baykal, 2018).

Tablo 26'da, bu oranlar doğrultusunda günlük oluşan gri su, sarı su ve kahverengi su miktarları gösterilmektedir.

Tablo 26. Gri su, sarı su ve kahverengi su günlük miktarları

Belediyelerde deşarj edilen kişi başı günlük atıksu miktarı (litre/kişi-gün) (TÜİK, 2022)	Gri su (L/gün)	Sarı su (L/gün)	Kahverengi su (L/gün)
197	147,75	1,97	0,197

Planlama, kişi başı kullanım verileri esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Ancak, veri yetersizliği nedeniyle endüstriyel birimler ile kampüs yaşamının oluşturabileceği farklılıklar çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

Saatlik atıksu miktarları hesaplanırken bireylerin üniversitede geçirdikleri süreler dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Günlük kişi başı atıksu debisi 197 litre olarak alınmış ve bu değer doğrultusunda saatlik atıksu oluşum miktarı 8,21 litre olarak hesaplanmıştır.

Tablo 27'de, öğrenci ve personel için belirlenen saatlik zaman dilimleri doğrultusunda oluşan gri, sarı ve kahverengi su miktarları ayrıntılı biçimde gösterilmiştir. Gri, kahverengi ve sarı su miktarları tablo 27'de verilen değerler ışığında yerleşkelerdeki kişi sayısı baz alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 27. Kişi başı hesaplanan günlük gri, sarı ve kahverengi su miktarları (Değirmenci, 2023)

		Saat	Atıksu Miktarı (L)	Gri Su (L)	Sarı Su (L)	Kahverengi Su (L)
Öğrenci	8.30-16.30	8	65,68	49,26	0,66	0,066
Personel	8:00-17:00	9	73,89	55,42	0,74	0,074
Güvenlik Görevlisi	00:00-24:00	24	197	147,75	1,97	0,197

Bu hesaplama yöntemi ile AÇÜ'ye ait yerleşkelerde günlük atıksu miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca, gri su ve atıksu karakterizasyonuna ilişkin minimum ve maksimum değerlerin ortalaması alınarak, hesaplamalarda kullanılmak üzere ortalama karakterizasyon değerleri elde edilmiştir. Bu kapsamda kullanılan ortalama değerler, Tablo 28 ve Tablo 29'da detaylı olarak sunulmuştur. Oluşan kirlilik yükü hesaplanmasında atıksu debisi ve gri su ile atıksu karakterizasyonunun ortalama değerleri kullanılır.

Tablo 28. Atıksu karakterizasyonu (Yiğit, 2007)

	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama
T	C	6,6	25,5	18,9
pH		6,9	8,3	7,9
AKM	mg/L	52	276	109
Bulanıklık	NTU	40	213	90
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	642	8300	1454
BOi ₅	mg/L	95	380	205
KOİ	mg/L	105	695	316
N _{toplam}	mg/L	28,8	70,3	49,3
Kjeldahl N _{toplam}	mg/L	18,5	52	34
NH ₃	mg/L	7,3	44	24
NO ₂	mg/L	0,1	1,6	0,7
NO ₃	mg/L	5,5	37,5	14,5

Tablo 29. Gri su minimum ve maksimum değerlerin ortalaması (Efe, 2017)

	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama
Alkalinite	mg/L	192	388	290
Renk	Pt-Co	0	12,2	6,1
Organik Karbon _{toplam}	mg/L	42,2	304	173,1
NH ₄	mg/L	0,3	23,2	11,75
P _{toplam}	mg/L	0,36	39	19,68
PO ₄	mg/L	0,301	69,06	34,68
SO ₄	mg/L	60	603	331,5
Yağ ve Gress	mg/L	2	118,5	60,25
Cl	mg/L	21	736,2	378,6
K	mg/L	8,9	33,7	21,3
Ca	mg/L	6,6	290,36	148,48
Mg	mg/L	5,45	106,45	55,95
Na	mg/L	105,25	320,98	213,12
Fe	mg/L	0,05	1,64	0,85
Cu	mg/L	0	0,2	0,1
B	mg/L	0,2	6,6	3,4
Si	mg/L	0	0	0
Al	mg/L	0	0	0
Zn	mg/L	0	0,4	0,2

Arıtma ihtiyacını belirlerken, istenilen kirlilik yükü hesaplamasında kullanılan temel formül aşağıda verilmiştir:

Kirlilik Yüğü (günlük) = Kirleticinin numunede ölçülen değeri (mg/L) × Atıksu debisi (L/gün)

Kullanacağımız diğer formülasyonlar;

Yıllık Tasarruf Edilen Tutar = İhtiyacı Karşılanan Su Miktarı x Su Birim Fiyatı

Geri Ödeme Süresi = Toplam Sistem Maliyeti / Yıllık Tasarruf Edilen Tutar

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Yağmur Suyu Hasadı Toplam Hacminin Belirlenmesi

Araştırma kapsamında, AÇÜ'ye ait tüm yerleşkelerde bulunan yapıların çatı yüzey alanları ve çatı tipleri tespit edilmiştir. Bu verilere dayanarak, potansiyel olarak hasat edilebilecek yağmur suyu miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamada kullanılan çatı alanları ve tiplerine ilişkin veriler, AÇÜ YİTDB'den temin edilmiştir.

Elde edilen çatı alanı verileri ile birlikte yağış miktarı, çatı akış katsayısı ve filtre etkinlik katsayısı esas alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda her bir yapı için yıllık hasat edilebilecek yağmur suyu miktarları belirlenmiştir. Tablo 30'da her yerleşkede bulunan binalara ait yağmur suyu hasadı ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tablo 30. Bina çatı alanı yüzeyleri ve hasat edilen yağmur suyu miktarı

Bina	Yerleşke	Yıllık Yağış Miktarı (mm)	Çatı Alanı (m ²)	Çatı Tipi	Çatı Katsayısı	Filtre Katsayısı	Hasat Edilecek Yağmur Miktarı (m ³)
Rektörlük Binası	Rektörlük	694,7	1155	Sac	0,9	0,9	649,93
ANG Kongre ve Kültür Merkezi	Merkez Yerleşke	694,7	2248	Membran	0,7	0,9	983,86
Merkezi Kütüphane	Merkez Yerleşke	694,7	875	Prekast	0,7	0,9	382,95
Konukevi	Merkez Yerleşke	694,7	810	Sac	0,9	0,9	455,79
Lojmanlar	Merkez Yerleşke	694,7	822	Sac	0,9	0,9	462,55
Tüm Merkezi Derslikler	Merkez Yerleşke	694,7	8604	Pvc Jeo Membran	0,7	0,9	3765,64
TOPLAM			14514				6700,71

Tablo 30. Bina çatı alanı yüzeyleri ve hasat edilen yağmur suyu miktarı (devam)

Orman Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi	694,7	4584	Membran ve Polikarbon	0,7	0,9	2006,24
Mühendislik Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi	694,7	1085	Sac ve Cam	0,9	0,9	610,54
Artvin MYO	Seyitler Yerleşkesi	694,7	1085	Sac ve Cam	0,9	0,9	610,54
YİTDB	Seyitler Yerleşkesi	694,7	291	Sac	0,9	0,9	163,75
BİLTEKMER	Seyitler Yerleşkesi	694,7	967	Membran	0,7	0,9	423,22
Kapalı Spor Salonu	Seyitler Yerleşkesi	694,7	2744	Sac ve Membran	0,9	0,9	1544,07
Sosyal Tesis Binası	Seyitler Yerleşkesi	694,7	2683	Membran ve Cam	0,7	0,9	1174,24
Endüstriyel Tasarımlar Uyg. Arş. Mer.	Seyitler Yerleşkesi	694,7	1720	Sac	0,9	0,9	967,86
Sera	Seyitler Yerleşkesi	694,7	252	Polikarbon	0,7	0,9	110,29
Lojmanlar	Seyitler Yerleşkesi	694,7	2002	Sac	0,9	0,9	1126,54
Depo	Seyitler Yerleşkesi	694,7	126	Sac	0,9	0,9	70,90
Ulaştırma Binası	Seyitler Yerleşkesi	694,7	180	Membran	0,7	0,9	78,78
TOPLAM			17719				8886,96
Borçka Acarlar MYO	Borçka Yerleşkesi	694,7	3049	Sac	0,9	0,9	1715,69
Lojmanlar	Borçka Yerleşkesi	694,7	567	Sac	0,9	0,9	319,05
TOPLAM			3616				2034,75

Tablo 30. Bina çatı alanı yüzeyleri ve hasat edilen yağmur suyu miktarı (devam)

Hopa MYO İdari Binası	Hopa Yerleşkesi	694,7	2953	PVC Jeo Membran	0,7	0,9	1292,41
Hopa MYO Eğitim Binası	Hopa Yerleşkesi	694,7	361	Sac ve Membran	0,9	0,9	203,14
Fitness Salonu	Hopa Yerleşkesi	694,7	269	Sac	0,9	0,9	151,37
TOPLAM			3583				1646,92
Şavşat MYO	Şavşat Yerleşkesi	694,7	2208	Sac	0,9	0,9	1242,46
TOPLAM			2208				1242,46
Derslik Binası	Ardanuç Yerleşkesi	694,7	382	Sac	0,9	0,9	214,95
Tarihi Bina	Ardanuç Yerleşkesi	694,7	738	Sac	0,9	0,9	415,28
TOPLAM			1120				630,23
Arhavi MYO İdari Binası	Arhavi Yerleşkesi	694,7	1897	Sac	0,9	0,9	1067,46
Arhavi MYO Eğitim Binası	Arhavi Yerleşkesi	694,7	502	Sac	0,9	0,9	282,48
Yemekhane	Arhavi Yerleşkesi	694,7	644	Sac	0,9	0,9	362,38
TOPLAM			3043				1712,32
GENEL TOPLAM							22854,34

Yerleşkelerdeki yeşil alanlar ve bu yeşil alanların su ihtiyacı Tablo 31’de sunulmuştur. Yeşil alanların sulama ihtiyacının hesaplanmasında her bir sulama için harcanan su miktarı 5 l/m² kabul edilmiştir. Bu yaklaşımla, mevcut yeşil alanların sulama ihtiyacı hesaplanmış ve yağmur suyu hasadı potansiyeli ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 31. Yerleşkeler göre çatı alanı, yağmur miktarı ve yeşil alan miktarları

Yerleşke	Bina Sayısı	Çatı Alanı (m ²)	Hasat Edilecek Yağmur Miktarı (m ³)	Yeşil Alan (m ²)	Yeşil Alan Su İhtiyacı (m ³)
Merkez Yerleşke	6	14514,00	6700,71	31205	156,03
Seyitler Yerleşkesi	12	17719,00	8886,96	86492	432,46
Borçka Yerleşkesi	2	3616,00	2034,75	16361	81,81
Hopa Yerleşkesi	3	3583,00	1646,92	10370	51,85
Şavşat Yerleşkesi	1	2208,00	1242,46	2220	11,10
Ardanuç Yerleşkesi	2	1120,00	630,23	5660	28,30
Arhavi Yerleşkesi	3	3043,00	1712,32	3681	18,41

Tablo 31’de, her bir yerleşkeye toplam yeşil alan büyüklükleri ve bu alanların tek bir sulama uygulaması için ihtiyaç duyduğu su miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre, AÇÜ bünyesindeki tüm yerleşkelerde toplam yeşil alan 155.989 m² olarak belirlenmiş; bu alanların tamamı için günde bir sefer sulama su ihtiyacı ise yaklaşık 780 m³ olarak hesaplanmıştır.

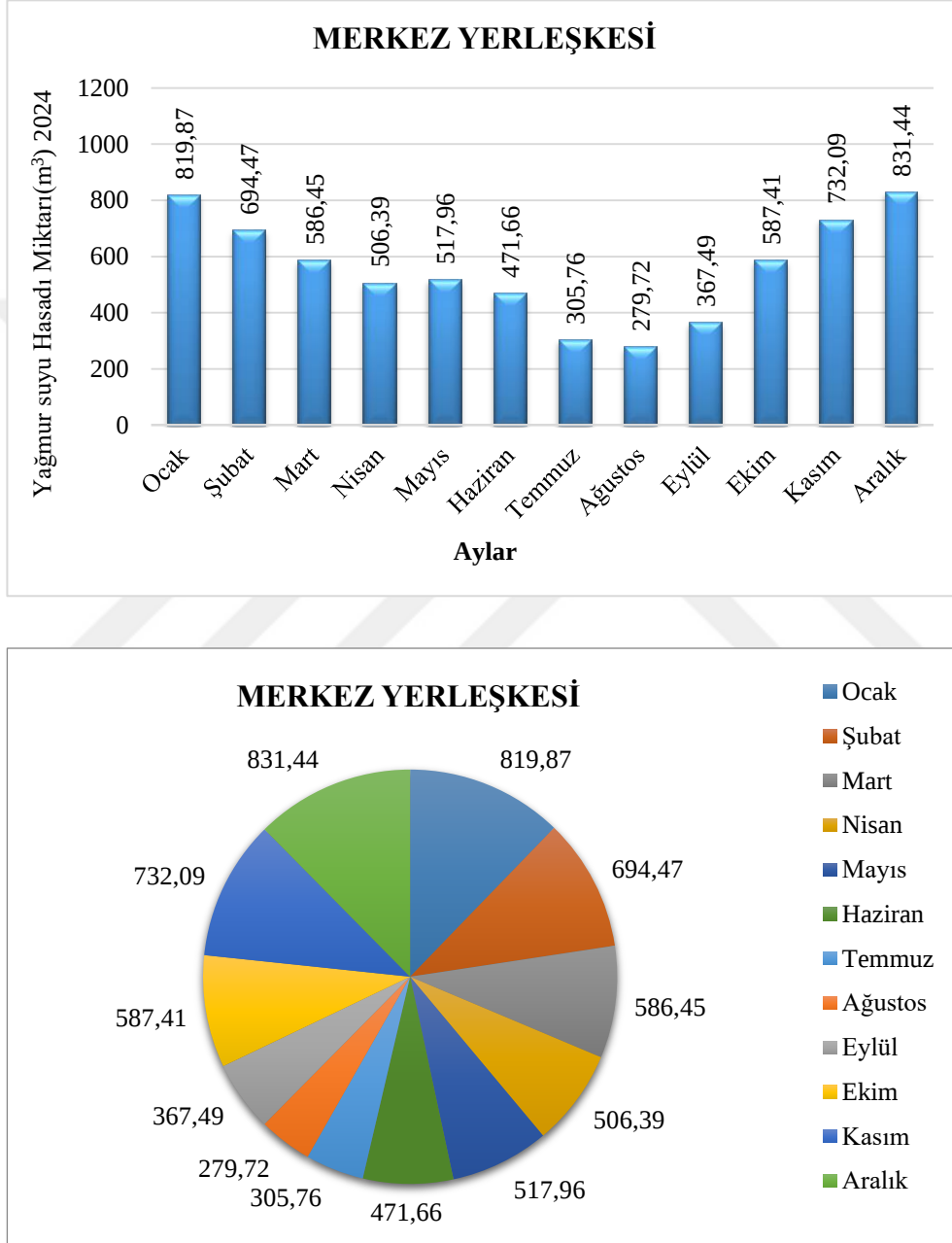
Tüm yerleşkelerdeki yeşil alanların sulama uygulamalarının sıklığına göre (günde 1 kez, haftada 1 kez ve haftada 2 kez) ihtiyaç duyulan toplam su miktarları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tablo 32’de hesaplanan veriler ışığında yağmur suyu hasadının mevcut sulama ihtiyacını hangi düzeyde karşılayabileceği kıyaslanmalı olarak ortaya konulmuştur.

Tablo 32. Bölgelere göre sulama suyu ihtiyaçları

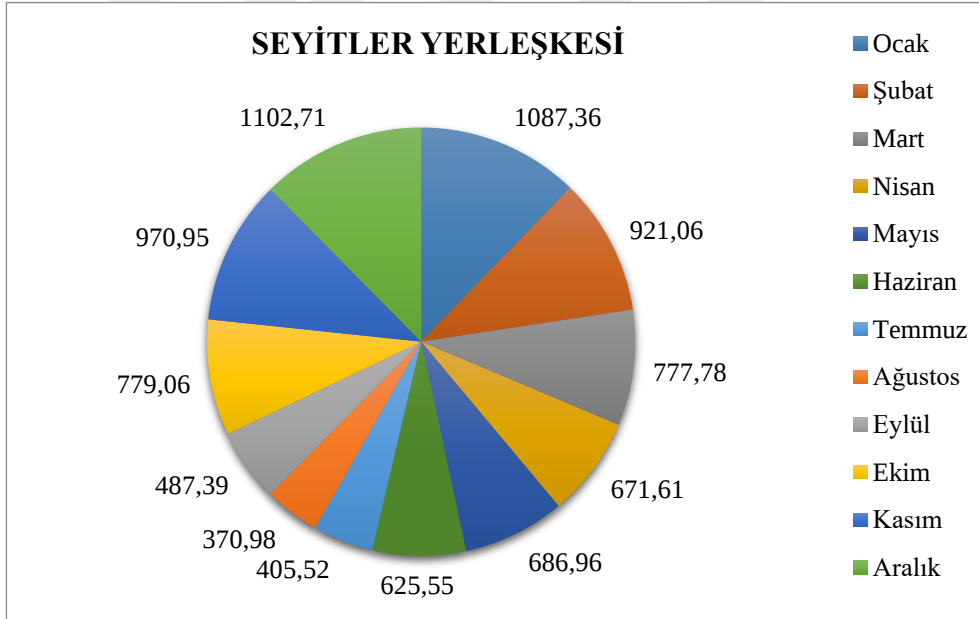
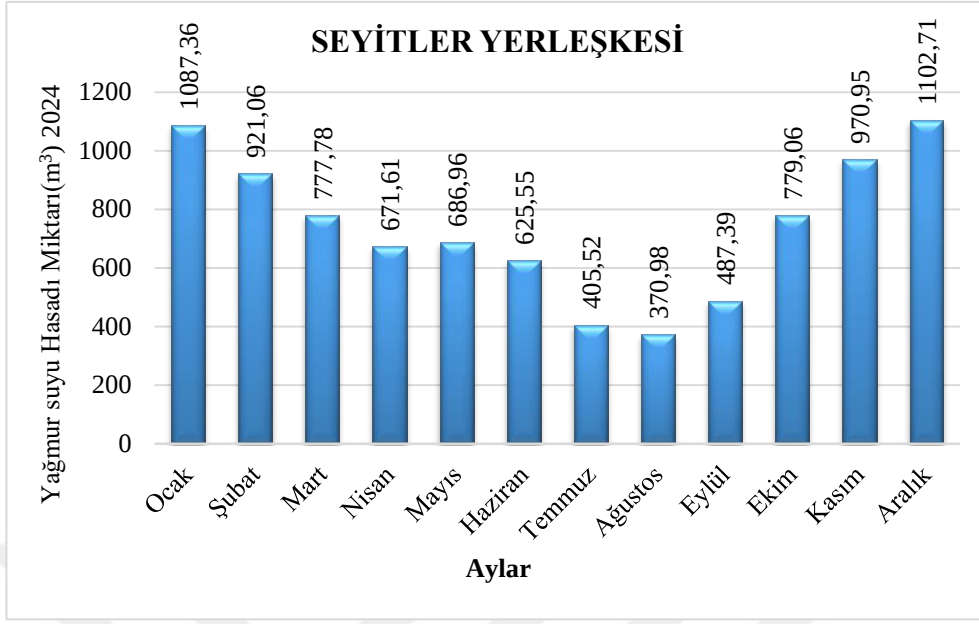
Yerleşkeler	Çatı Yağmur Suyu Miktarı (Yıllık, m3)	Yeşil Alan Günlük Su İhtiyacı (m3)	Yıllık Toplam Su İhtiyacı (m ³)	Karşılanan Su İhtiyacı Yüzdesi, %	Tekrarlama
Merkez Yerleşke	6700,71	156,03	56950,95	11,77	Her Gün Sulama
			16227,12	41,29	Haftada 2 Kez Sulama
			8113,56	82,59	Haftada 1 Kez Sulama
Seyitler Yerleşkesi	8886,96	432,46	157847,9	5,63	Her Gün Sulama
			44975,84	19,76	Haftada 2 Kez Sulama
			22487,92	39,52	Haftada 1 Kez Sulama
Borçka Yerleşkesi	2034,75	81,81	29860,65	6,81	Her Gün Sulama
			8508,24	23,92	Haftada 2 Kez Sulama
			4254,12	47,83	Haftada 1 Kez Sulama
Hopa Yerleşkesi	1646,92	51,85	18925,25	8,70	Her Gün Sulama
			5392,4	30,54	Haftada 2 Kez Sulama
			2696,2	61,08	Haftada 1 Kez Sulama
Şavşat Yerleşkesi	1242,46	11,1	4051,5	30,67	Her Gün Sulama
			1154,4	107,63	Haftada 2 Kez Sulama
			577,2	215,26	Haftada 1 Kez Sulama
Ardanuç Yerleşkesi	630,23	28,3	10329,5	6,10	Her Gün Sulama
			2943,2	21,41	Haftada 2 Kez Sulama
			1471,6	42,83	Haftada 1 Kez Sulama
Arhavi Yerleşkesi	1712,32	18,41	6719,65	25,48	Her Gün Sulama
			1914,64	89,43	Haftada 2 Kez Sulama
			957,32	178,87	Haftada 1 Kez Sulama

3.2. Depo Hacmi Hesabı

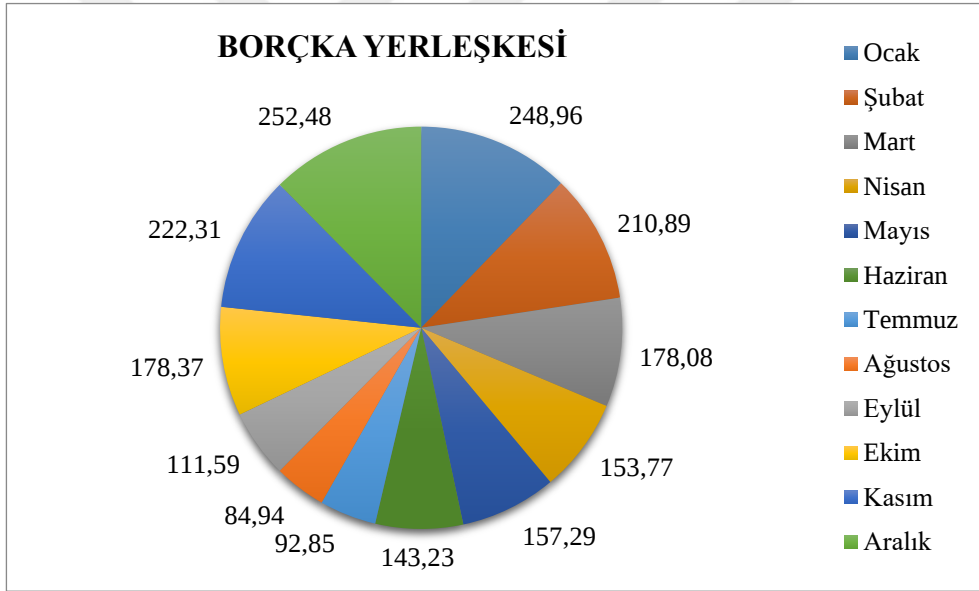
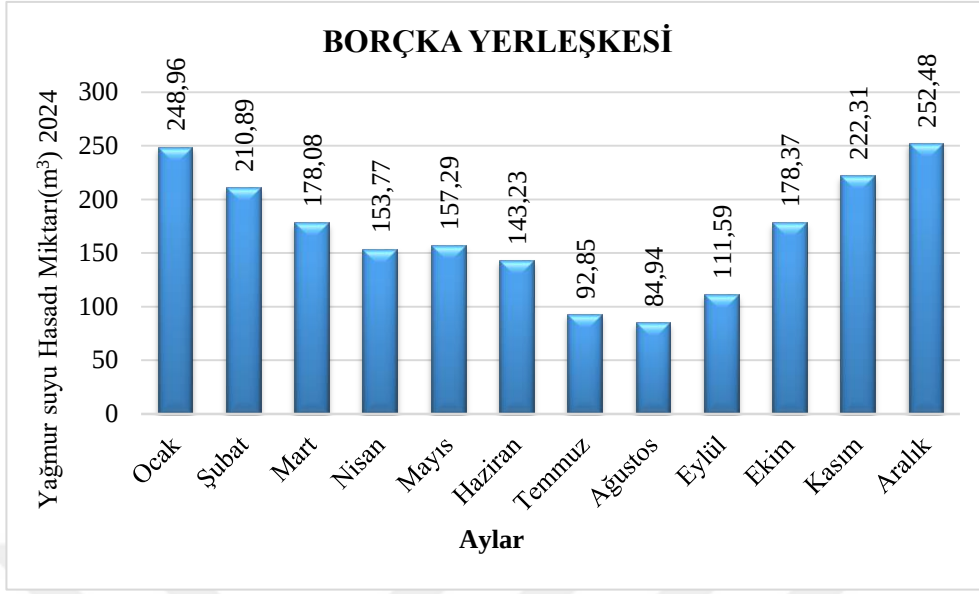
Depo hacmi belirlenirken, maksimum yağış miktarının gerçekleştiği ay esas alınmaktadır. Meteorolojiden alınan aylık veriler ile hesaplanan tüm yerleşkelere ait aylık toplam yağmur suyu hasadı grafikleri aşağıda verilmiştir.



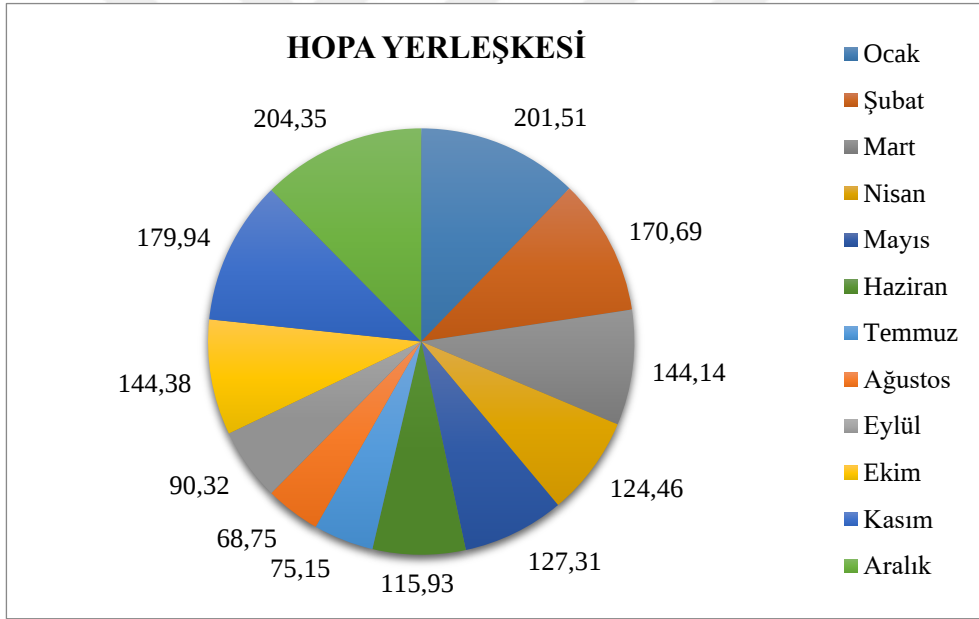
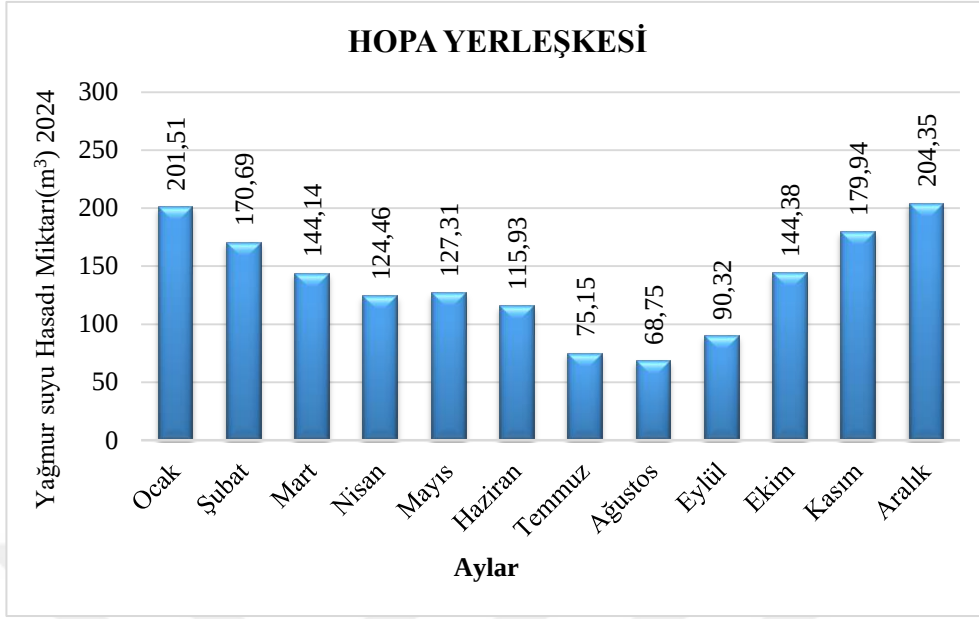
Şekil 68. Merkez Yerleşkeye ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları



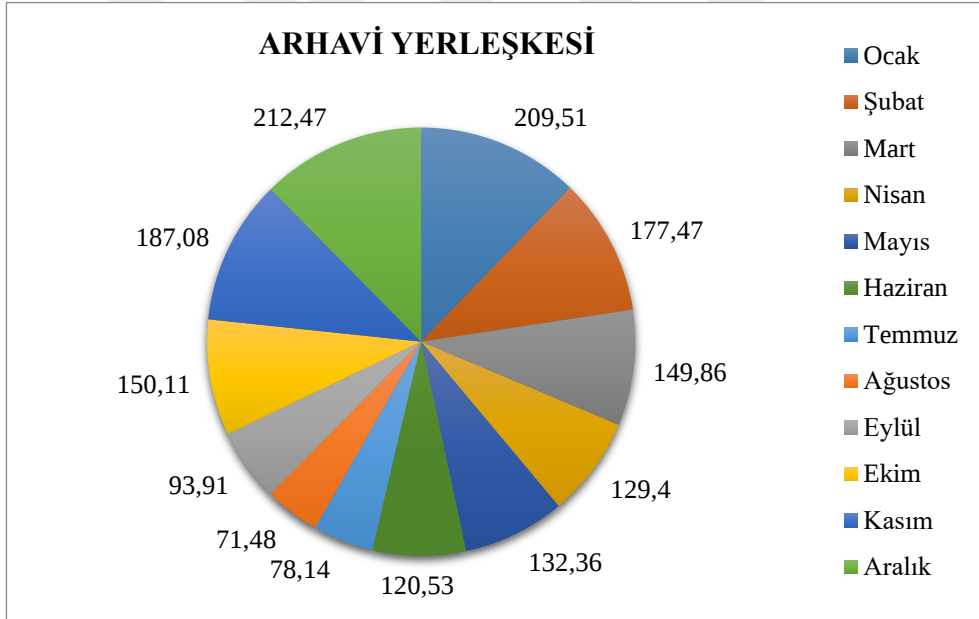
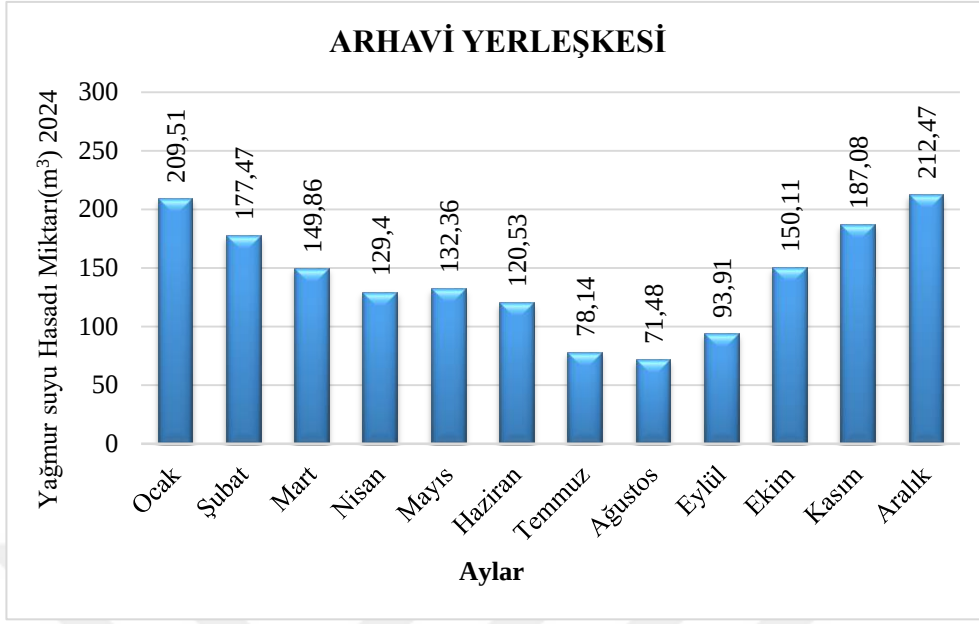
Şekil 69. Seyitler Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları



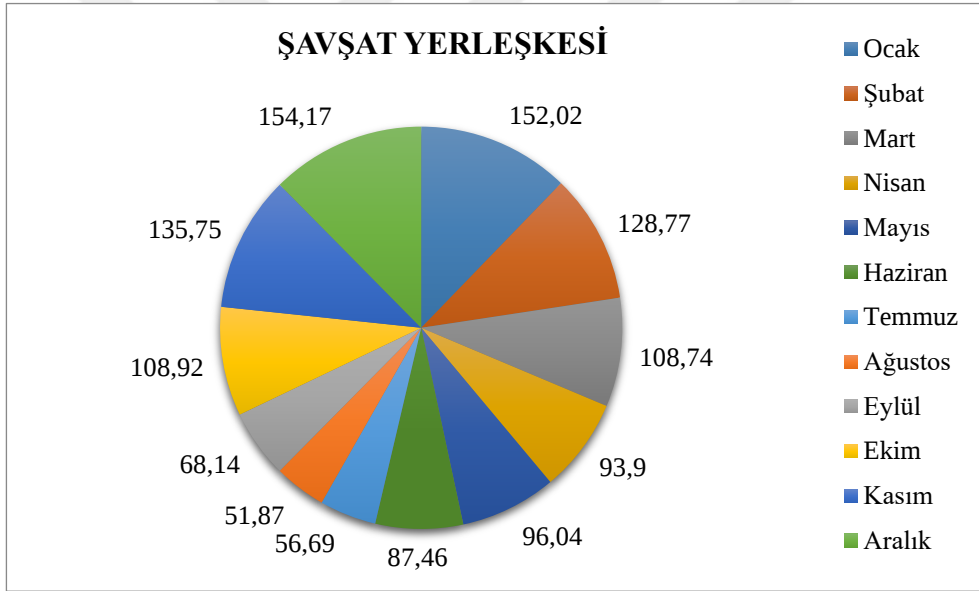
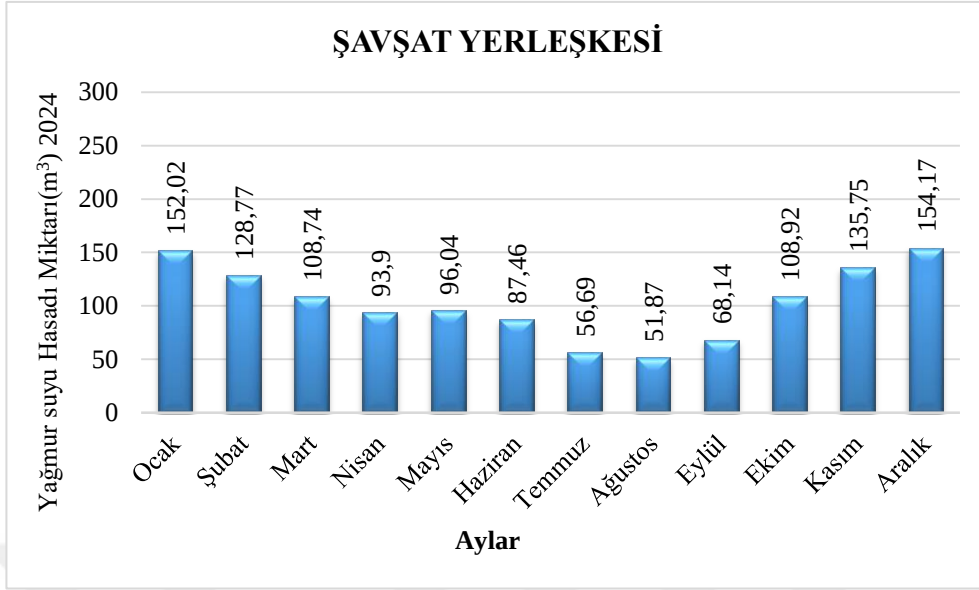
Şekil 70. Borçka Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları



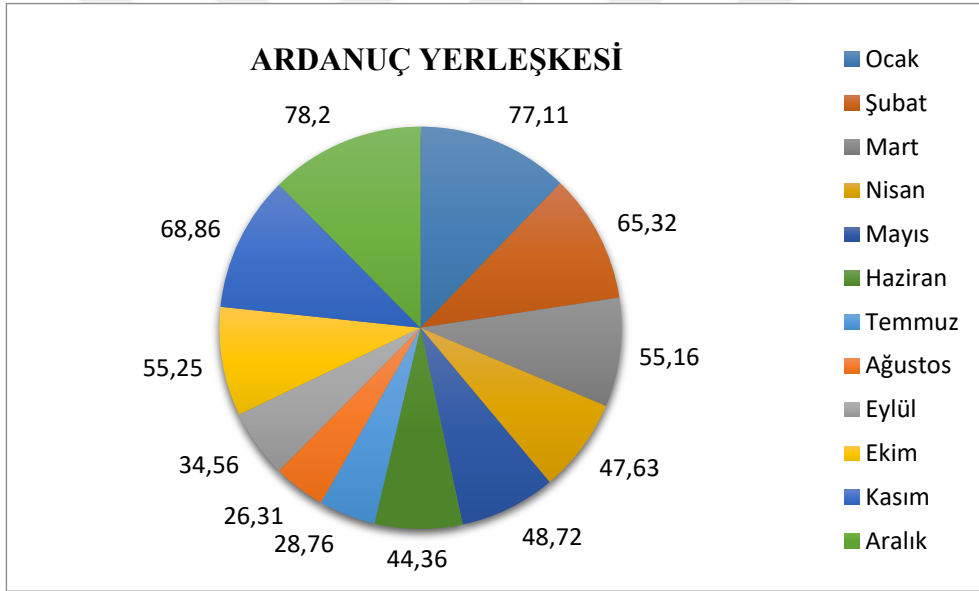
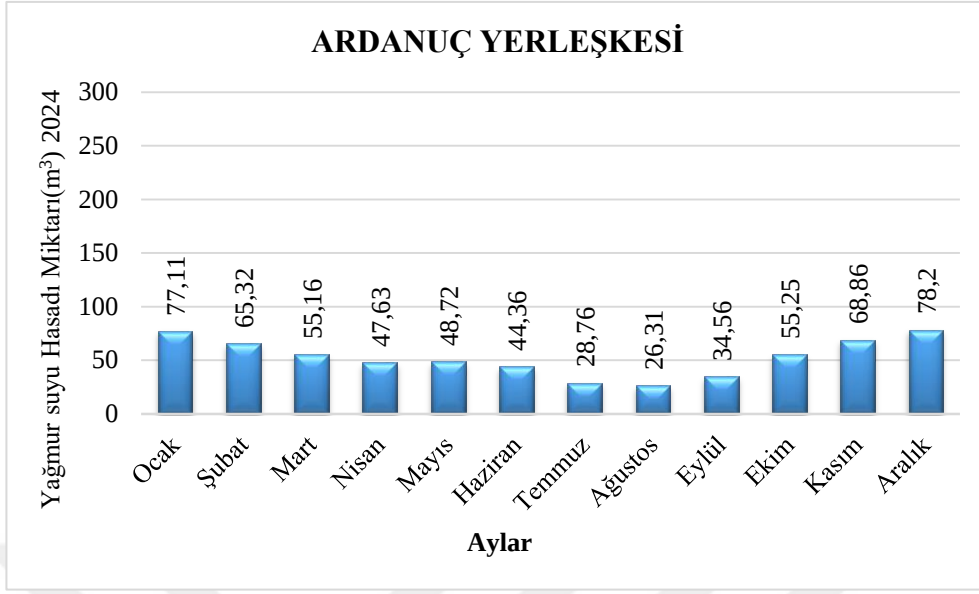
Şekil 71. Hopa Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları



Şekil 72. Arhavi Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları



Şekil 73. Şavşat Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları



Şekil 74. Ardanuç Yerleşkesine ait aylık yağmursuyu hasadı miktarları

Depo hacmi belirlenirken, maksimum yağış miktarının gerçekleştiği ay esas alınmaktadır. Tablo ve grafiklerdede görüldüğü gibi en yüksek yağmur suyu hasadı aralık ayında oluşmaktadır. Tablo 25'te verilen değerlerde Aralık ayında yağış miktarının 86,20 mm olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu veriden hareketle, her bir yerleşke için aralık ayında oluşacak yağmur suyu hasat miktarı hesaplanmış ve ihtiyaç duyulan yağmur suyu depolama hacimleri Tablo 33'de hesaplanmıştır.

Tablo 33. Yağmur Suyu Hasadına göre Yapıların İhtiyacı olan Depo Hacimleri

Bina	Yerleşke	Aralık Ayı Yağış Miktarı (mm)	Çatı Alanı (m ²)	Hasat Edilecek Yağmur Miktarı (m ³)	Gereken Depo Hacmi (m ³)
Rektörlük Binası	Rektörlük	86,2	1155	80,64	100
ANG Kongre ve Kültür Merkezi	Merkez Yerleşke	86,2	2248	122,08	100+25
Merkezi Kütüphane	Merkez Yerleşke	86,2	875	47,52	50
Konukevi	Merkez Yerleşke	86,2	810	56,56	60
Lojmanlar	Merkez Yerleşke	86,2	822	57,39	60
Tüm Merkezi Derslikler	Merkez Yerleşke	86,2	8604	467,25	100x5
TOPLAM			14514	831,44	
Orman Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi	86,2	4584	248,94	100x2+50
Mühendislik Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi	86,2	1085	75,76	50+30
Artvin MYO	Seyitler Yerleşkesi	86,2	1085	75,76	50+30
YİTDB	Seyitler Yerleşkesi	86,2	291	20,32	25
BİLTEKMER	Seyitler Yerleşkesi	86,2	967	52,51	60
Kapalı Spor Salonu	Seyitler Yerleşkesi	86,2	2744	191,59	100x2
Sosyal Tesis Binası	Seyitler Yerleşkesi	86,2	2683	145,70	100+50
Endüstriyel Tasarımlar Uyg. Arş. Mer.	Seyitler Yerleşkesi	86,2	1720	120,09	100+25
Sera	Seyitler Yerleşkesi	86,2	252	13,69	15
Lojmanlar	Seyitler Yerleşkesi	86,2	2002	139,78	100+40
Depo	Seyitler Yerleşkesi	86,2	126	8,80	10
Ulaştırma Binası	Seyitler Yerleşkesi	86,2	180	9,78	10
TOPLAM			17719	1102,71	

Tablo 33. Yağmur Suyu Hasadına göre Yapıların İhtiyacı olan Depo Hacimleri (devam)

Borçka Acarlar MYO	Borçka Yerleşkesi	86,2	3049	212,89	100x2+15
Lojmanlar	Borçka Yerleşkesi	86,2	567	39,59	40
TOPLAM			3616	252,48	
Hopa MYO İdari Binası	Hopa Yerleşkesi	86,2	2953	160,37	60+60+50
Hopa MYO Eğitim Binası	Hopa Yerleşkesi	86,2	361	25,21	30
Fitness Salonu	Hopa Yerleşkesi	86,2	269	18,78	20
TOPLAM			3583	204,35	
Şavşat MYO	Şavşat Yerleşkesi	86,2	2208	154,17	100+60
TOPLAM			2208	154,17	
Derslik Binası	Ardanuç Yerleşkesi	86,2	382	26,67	30
Tarihi Bina	Ardanuç Yerleşkesi	86,2	738	51,53	60
TOPLAM			1120	78,20	
Arhavi MYO İdari Binası	Arhavi Yerleşkesi	85,6	1897	132,45	100+40
Arhavi MYO Eğitim Binası	Arhavi Yerleşkesi	85,6	502	35,05	40
Yemekhane	Arhavi Yerleşkesi	85,6	644	44,97	50
TOPLAM			3043	212,47	

3.3. Gri Suyun Kirlilik Yükünün Hesaplanması

Gri suyun kirlilik yükü hesaplamasında, Tablo 28 ve Tablo 29'da yer alan ortalama parametre değerleri ile Tablo 28'de belirtilen günlük gri su miktarları temel alınmıştır. Kirlilik yükü, her bir kirletici parametrenin ortalama konsantrasyonu ile debideki gri su miktarının çarpılmasıyla elde edilmiştir. Bu hesaplama, gri suyun arıtma gereksiniminin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir.

Gri suyun sarı su ve kahverengi sudan ayrıştırılması, toplam kirlilik yükünün düşmesini sağlamak ve daha düşük maliyetli arıtma sistemlerinin kullanılmasına

olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, ayrı toplanmış gri suyun arıtılması durumunda, daha verimli ve ekonomik sistemler tasarlanabilir.

Kişi başına düşen gri su miktarı, TÜİK'in açıkladığı kişi başı günlük atıksu hacminin % 75'i esas alınarak belirlenmiş ve bu değer Tablo 31'de 147,75 L/gün olarak hesaplanmıştır. Söz konusu parametreler ışığında gerçekleştirilen günlük kirlilik yükü hesaplamalarının sonuçları ise Tablo 34'te verilmiştir (Belir Baykal, 2018).

Tablo 34. Gri su kirlilik yükü hesabı

	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama	Kirlilik Yükü(g/gün)
T	C	6,6	25,5	18,9	
pH		6,9	8,3	7,9	
AKM	mg/L	52	276	109	16,10
Alkalinite	mg/L	192	388	290	42,85
Bulanıklık	NTU	40	213	90	13,30
Renk	Pt-Co	0	12,2	6,1	0,90
İletkenlik	μ S/cm	642	8300	1454	214,83
BOi ₅	mg/L	95	380	205	30,29
KOİ	mg/L	105	695	316	46,69
Organik Karbon _{toplam}	mg/L	42,2	304	173,1	25,58
N _{toplam}	mg/L	28,8	70,3	49,3	7,28
Kjeldahl N _{toplam}	mg/L	18,5	52	34	5,02
NH ₄	mg/L	0,3	23,2	11,75	1,74
NH ₃	mg/L	7,3	44	24	3,55
NO ₂	mg/L	0,1	1,6	0,7	0,10
NO ₃	mg/L	5,5	37,5	14,5	2,14
P _{toplam}	mg/L	0,36	39	19,68	2,91
PO ₄	mg/L	0,301	69,06	34,68	5,12
SO ₄	mg/L	60	603	331,5	48,98
Yağ ve Gress	mg/L	2	118,5	60,25	8,90
Cl	mg/L	21	736,2	378,6	55,94
K	mg/L	8,9	33,7	21,3	3,15
Ca	mg/L	6,6	290,36	148,48	21,94
Mg	mg/L	5,45	106,45	55,95	8,27
Na	mg/L	105,25	320,98	213,12	31,49
Fe	mg/L	0,05	1,64	0,85	0,13
Cu	mg/L	0	0,2	0,1	0,015
B	mg/L	0,2	6,6	3,4	0,50
Si	mg/L	0	0	0	0
Al	mg/L	0	0	0	0
Zn	mg/L	0	0,4	0,2	0,03

3.4. Gri Suyun Toplam Hacminin Hesaplanması

AÇÜ bünyesinde görev yapan akademik ve idari personel ile öğrenim gören öğrencilerden kaynaklanan toplam gri su hacmi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda, üniversite yerleşkelerinde geçirilen günlük ortalama süreler esas alınmış olup, Tablo 27’de sunulan saat aralıkları dikkate alınmıştır.

Fakülte ve yüksekokulların öğrenci ve personel sayılarına bağlı olarak hesaplanan günlük gri su, sarı su ve kahverengi su hacimleri Tablo 35’te fakülteler bazında ayrıntılı olarak verilmiştir.



Tablo 35. Gri su, sarı su ve kahverengi su hacimleri

	Gri Su(L/gün)			Sarı Su(L/gün)			Kahverengi Su(L/gün)		
	Öğrenci	Personel	Güvenlik	Öğrenci	Personel	Güvenlik	Öğrenci	Personel	Güvenlik
Rektörlük	-	2549,32	295,50	-	34,04	3,94	-	3,40	0,394
Orman Fakültesi	10443,12	2493,90	295,50	139,92	33,30	3,94	13,99	3,33	0,394
Fen - Edebiyat Fakültesi	64382,82	3103,52	295,50	862,62	41,44	3,94	86,26	4,14	0,394
Eğitim Fakültesi	51230,40	3103,52	295,50	686,40	41,44	3,94	68,64	4,14	0,394
Mühendislik Fakültesi	5517,12	1496,34	295,50	73,92	19,98	3,94	7,39	1,99	0,394
Sağlık Bilimleri Fakültesi	42856,20	1939,70	295,50	574,20	25,90	3,94	57,42	2,59	0,394
Sanat Tasarım Fakültesi	12167,22	1440,92	295,50	163,02	19,24	3,94	16,30	1,92	0,394
İşletme Fakültesi	13497,24	332,52	295,50	180,84	4,44	3,94	18,08	0,44	0,394
Spor Bilimleri Fakültesi	13004,64	498,78	295,50	174,24	6,66	3,94	17,42	0,67	0,394
Turizm Fakültesi	7142,70	166,26	295,50	95,70	2,22	3,94	9,57	0,22	0,394
İlahiyat Fakültesi	29753,04	1662,60	295,50	398,64	22,2	3,94	39,86	2,22	0,394
Hopa İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	18571,02	1884,28	295,50	248,82	25,16	3,94	24,88	2,52	0,394
Artvin MYO	124036,68	4156,50	295,50	1661,88	55,5	3,94	166,19	5,55	0,394
Arhavi MYO	20590,68	886,72	295,50	275,88	11,84	3,94	27,59	1,18	0,394
Hopa MYO	26698,92	665,04	295,50	357,72	8,88	3,94	35,77	0,89	0,394
Borçka Acarlar MYO	50984,10	1607,18	295,50	683,10	21,46	3,94	68,31	2,15	0,394
Sağlık Hizmetleri MYO	92953,62	1773,44	295,50	1245,42	23,68	3,94	124,54	2,37	0,394
Yusufeli MYO	11674,62	775,88	295,50	156,42	10,36	3,94	15,64	1,04	0,394
Şavşat MYO	17241,00	443,36	295,50	231,00	5,92	3,94	23,10	0,59	0,394

AÇÜ'ye bağlı fakülte, yüksekokul ve enstitülerde oluşan toplam gri, sarı ve kahverengi su hacimleri; ilgili birimlerin bulundukları yerleşkelere göre ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 36'da sunulmuştur.

Bu hesaplamalarda öğrenci ve personel sayıları ile üniversitede geçirilen saat aralıkları dikkate alınmış; her yerleşkeye özgü atıksu oluşum miktarları ayrıntılı biçimde ortaya konmuştur.

Tablo 36. Gri su, sarı su ve kahverengi su toplam hacimleri

	Gri Su (m ³ /gün)	Sarı Su(m ³ /gün)	Kahverengi Su (m ³ /gün)
Rektörlük	2,845	0,038	0,003
Fen - Edebiyat Fakültesi	67,782	0,910	0,091
Eğitim Fakültesi	54,629	0,732	0,073
Sağlık Bilimleri Fakültesi	45,091	0,604	0,060
Sağlık Hizmetleri MYO	95,023	1,273	0,127
Yusufeli MYO	12,746	0,171	0,017
Merkez Yerleşke Toplam	278,116	3,728	0,371
Orman Fakültesi	13,233	0,177	0,018
Mühendislik Fakültesi	7,309	0,098	0,009
İşletme Fakültesi	14,125	0,189	0,019
Spor Bilimleri Fakültesi	13,799	0,185	0,018
Turizm Fakültesi	7,604	0,102	0,010
Artvin MYO	128,489	1,721	0,172
Seyitler Yerleşkesi Toplam	184,559	2,472	0,246
Sanat Tasarım Fakültesi	13,904	0,186	0,019
Arhavi MYO	21,773	0,292	0,029
Arhavi Yerleşkesi Toplam	35,677	0,478	0,048
İlahiyat Fakültesi	31,711	0,425	0,043
Hopa İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	20,751	0,278	0,028
Hopa MYO	27,659	0,371	0,037
Hopa Yerleşkesi Toplam	80,121	1,074	0,108
Borçka Acarlar MYO	52,887	0,709	0,071
Şavşat MYO	17,980	0,241	0,024
Genel Toplam	649,34	8,702	0,868

3.5. Gri Suyun Bahçe Sulama Amaçlı Kullanımının İncelenmesi

20 Mart 2010 tarihli ve 27527 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT)’nde, arıtılmış atıksuların araziye verilmesi ve sulama amaçlı kullanımının uygunluğuna ilişkin teknik kriterler Tablo E.7.1 ve E.7.2’de belirtilmiştir. Bu kapsamda, ilgili standartlar doğrultusunda değerlendirme yapılabilmesi amacıyla söz konusu tablolar çalışmaya Tablo 37 ve Tablo 38 olarak dâhil edilmiştir (Değirmenci, 2023).

Tablo 37. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (AATTUT, 2010)

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi ^a	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi ^b
Sınıf A				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri^l</i>				
<i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
a) Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilenebilen her türlü gıda ürünü	-İkincil arıtma ^c -Filtrasyon ^d -Dezenfeksiyon ^e	-pH=6-9 -BOİ ₅ < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTU _f -Fekal koliform: 0/100 mL ^{g,h}	-pH: Haftalık -BOİ ₅ : Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
b) Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)		-Bazı durumlarda, Spesifik virus, Protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L ⁱ		

Açıklamalar:

- Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir.
- Standartları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir.
- Geri kullanılacak arıtılmış atıksu renksiz ve kokusuz olmalıdır.
- Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.
- Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5 mg/L’nin üzerinde olmalıdır.
- Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.
- Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir

Tablo 37. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (AATTUT, 2010) (devam)

Sınıf B				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri^m</i>				
<i>b-Girişi kısıtlı sulama alanları</i>				
<i>c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler</i>				
a) Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması	-İkincil arıtma ^c -Dezenfeksiyon ^e	-pH = 6-9 -BOİ ₅ < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL ^{g,j,k} -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. - Bakiye klor > 1 mg/L ⁱ	-pH: Haftalık -BOİ ₅ : Haftalık -AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. - Yağmurlama sulama yapılıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
b) Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler				
c)Otlak hayvanları için mera sulaması				

Açıklamalar:

-Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır.

-Püstkürtmeli sulama yapılıyor ise AKM < 30 mg/L olmalıdır.

-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.

-Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.

^a -Aksi belirtilmedikçe, arıtılmış atıksu kalitesini belirtmektedir.

^b -Su kaynaklarını ve dolayısıyla insanları arıtılmış atıksuyun etkisinden korumak için konuluş bir sınırlamadır.

^c -İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırılmalı lagünleri vb içerebilir.

^d -Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir.

^e -Dezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz.

^f -Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.

^g -7günlük ortalama değerleri karakterize eder.

^h -Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 mL'yi geçmemelidir.

ⁱ -Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir.

^j -Fekal koliform değeri hiç bir zaman 800 ad/100 mL'yi geçmemelidir.

^k -Stabilizasyon havuzları fekal koliform değerini dezenfeksiyon olmadan da sağlayabilir.

^l -İleri arıtma uygulanmalıdır.

^m -Ticari olarak işlenen gıda ürünleri halka satılmadan önce patojen mikroorganizmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimyasal bir işlemde geçirilen ürünlerdir.

Tablo 38. Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo (AATTUT, 2010)

Parametreler	Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok (I. sınıf su)	Az – orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
Tuzluluk				
İletkenlik	µS/cm	< 700	700-3000	>3000
Toplam çözünmüş Madde	mg/L	< 500	500-2000	>2000
Geçirgenlik				
SARTad 0-3		EC ≥ 0.7	0.7-0.2	< 0.2
3-6		≥ 1.2	1.2-0.3	< 0.3
6-12		≥ 1.9	1.9-0.5	< 0.5
12-20		≥ 2.9	2.9-1.3	< 1.3
20-40		≥ 5.0	5.0-2.9	< 2.9
Özgül iyon toksisitesi				
Sodyum (Na)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama	mg/L	< 70	> 70	
Klorür (Cl)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 140	140 –350	> 350
Damlatmalı sulama	mg/L	< 100	> 100	
Bor (B)	mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

Tarımsal sulamada kullanılacak gri suyun kalitesi, içeriğindeki fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parametrelere bağlı olarak değerlendirilmelidir. Hesaplamalarda ortalama değerleri alınmış olan gri suya ilişkin analiz sonuçları Tablo 39’de sunulmuştur. Elde edilen verilere göre söz konusu gri su, Tablo 37 ve Tablo 38’ de verilen değerlere göre 3. sınıf su ve tehlikeli kategori içerisinde yer almaktadır. Bu durum, gri suyun doğrudan sulama amaçlı kullanımının uygun olmadığını ve ön arıtma işlemlerine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (Değirmenci, 2023).

Tablo 39. Gri suyun tarımsal sulama amaçlı değerlendirilmesi (AATTUT, 2010)

Parametre	Değer	Sınıfı
İletkenlik	1454 µS/cm	2. sınıf su
Toplam Çözünmüş Madde	1615,5 mg/L	2. sınıf su
SAR	3,75 meq/L	1. sınıf su
Na	213,12 mg/L	3. sınıf su
Cl	378,6 mg/L	3. sınıf su
B	3,4 mg/L	3. sınıf su

3.6. Gri Su ve Yağmur Suyu Toplam Hasadının Tüm Yerleşkelerde Yeşil Alan Sulama Amaçlı Toplam Hacminin Değerlendirilmesi

Tablo 25’te, Artvin iline ait aylık ortalama yağış miktarları ile yağışlı geçen ortalama gün sayıları sunulmuştur. Verilere göre, en yüksek yağış ortalaması 86,20 mm ile Aralık ayında, en düşük yağış ortalaması ise 29,00 mm ile Ağustos ayında gözlemlenmiştir. Bu bulgu, bölgedeki su hasadı planlamasında mevsimsel değişimlerin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle yaz aylarında su ihtiyacının arttığı dönemlerde yağış miktarının düşmesi, alternatif su kaynaklarının (gri su ve yağmur suyu biriktirme sistemleri gibi) önemini artırmaktadır.

Üniversite yerleşkelerindeki toplam yeşil alan, hasat edilen yağmur suyu, toplam gri su ve yeşil alan su ihtiyacı Tablo 40’ da verilmiştir. Yeşil alanların sulama ihtiyacının hesaplanmasında her bir sulama için harcanan su miktarı 5 l/m² kabul edilmiştir. Bölgenin iklim özellikleri ve yağış durumu dikkate alındığında, yılın büyük bölümünde yağış alınmasından dolayı aktif sulama döneminin genellikle Mayıs-Eylül ayları (5 ay) arasında olması öngörülerek hesaplamalar bu 5 ay üzerinden yapılmıştır.

Bu çerçevede, sulama ihtiyacının karşılanması için yağmur suyu, gri su ve bu iki kaynağın birlikte kullanımı senaryoları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Elde edilen toplam su miktarları ile yeşil alanların sulama ihtiyacı karşılaştırılarak her bir sistemin yeterlilik düzeyi analiz edilmiş, sistemlerin yeşil alan sulamasına sağlayabileceği katkı oranları hesaplanmıştır.

Tablo 40. Gri su ve yağmur suyu toplam hasadının yeşil alan sulaması için hacim kıyaslaması

Yerleşkeler	Yeşil Alan (m ²)	Hasat Edilecek Yağmur Miktarı (Yıllık, m ³)	Toplam Gri Su (Yıllık, m ³)	Yeşil Alan Su İhtiyacı (5 Aylık, m ³)	Karşılanan Su İhtiyacı Yüzdesi, %	Kullanılan (Günde 1 Kez)	Yeterli/ Yetersiz
Merkez Yerleşke	31205	6700,71	101512,34	23404,5	11,93	Yağmur Suyu	YETERSİZ
					180,72	Gri su	YETERLİ
					192,65	Yağmur Suyu + Gri Su	YETERLİ
Seyitler Yerleşkesi	86492	8886,96	67364,04	64869	5,71	Yağmur Suyu	YETERSİZ
					43,27	Gri su	YETERSİZ
					48,98	Yağmur Suyu + Gri Su	YETERSİZ
Borçka Yerleşkesi	16361	2034,75	19303,76	12271,5	6,91	Yağmur Suyu	YETERSİZ
					65,54	Gri su	YETERSİZ
					72,45	Yağmur Suyu + Gri Su	YETERSİZ
Hopa Yerleşkesi	10370	1646,92	29244,17	7777,5	8,82	Yağmur Suyu	YETERSİZ
					156,67	Gri su	YETERLİ
					165,49	Yağmur Suyu + Gri Su	YETERLİ
Şavşat Yerleşkesi	2220	1242,46	6562,7	1665	31,09	Yağmur Suyu	YETERSİZ
					164,23	Gri su	YETERLİ
					195,32	Yağmur Suyu + Gri Su	YETERLİ
Ardanuç Yerleşkesi	5660	630,23	-	4245	6,19	Yağmur Suyu	YETERSİZ
						Gri su	YETERSİZ
					6,19	Yağmur Suyu + Gri Su	YETERSİZ
Arhavi Yerleşkesi	3681	1712,32	13022,11	2761,5	25,84	Yağmur Suyu	YETERSİZ
					196,48	Gri su	YETERLİ
					222,32	Yağmur Suyu + Gri Su	YETERLİ

Yeşil alan su ihtiyacına karşılık gelen hesaplamalar neticesinde yağmur suyu ve gri su birlikte kullanıldığında; Seyitler, Borçka ve Ardanuç yerleşkeleri yetersiz, Merkez, Hopa, Şavşat ve Arhavi yerleşkeleri ise yeterli olarak hesaplanmıştır.

3.7. Yıllık Tasarruf Edilen Tutar

Merkez, Hopa, Arhavi ve Şavşat yerleşkelerinde yağmur suyu ve gri su miktarları, mevcut yeşil alanların sulama ihtiyacını karşılamakta yeterli olup, bu yerleşkelerde tamamen dış kaynaklı su tüketimi olmadan sulama yapılabilir. Bu kapsamda, söz konusu yerleşkelerde tam anlamıyla tasarruf sağlandığı belirlenmiştir.

- **Merkez Yerleşkesi:** 23404,5 m³
- **Hopa Yerleşkesi:** 7777,5 m³
- **Arhavi Yerleşkesi:** 2761,5 m³
- **Şavşat Yerleşkesi:** 1665 m³

2024 yılında Artvin il genelinde suyun m³ başına ortalama birim fiyatı 20,46 TL/m³ olarak alınmıştır.

- Merkez yerleşkede yeşil alan sulamasında kullanılması gereken 23404,5 m³ suyun tamamı karşılanacağı için;

$$\text{Yıllık tasarruf edilen tutar} = 23404,5 \text{ m}^3 \times 20,46 \text{ TL/m}^3 = \mathbf{478,856.07 \text{ TL}}$$

- Hopa yerleşkesinde yeşil alan sulamasında kullanılması gereken 7777,5 m³ suyun tamamı karşılanacağı için;

$$\text{Yıllık tasarruf edilen tutar} = 7777,5 \text{ m}^3 \times 20,46 \text{ TL/m}^3 = \mathbf{159,127.65 \text{ TL}}$$

- Arhavi yerleşkesinde yeşil alan sulamasında kullanılması gereken 2761,5 m³ suyun tamamı karşılanacağı için;

$$\text{Yıllık tasarruf edilen tutar} = 2761,5 \text{ m}^3 \times 20,46 \text{ TL/m}^3 = \mathbf{56,500.29 \text{ TL}}$$

- Şavşat yerleşkesinde yeşil alan sulamasında kullanılması gereken 1665,0 m³ suyun tamamı karşılanacağı için;

$$\text{Yıllık tasarruf edilen tutar} = 1665 \text{ m}^3 \times 20,46 \text{ TL/m}^3 = \mathbf{34,065.90 \text{ TL}}$$

Buna karşılık, Seyitler, Borçka ve Ardanuç yerleşkelerinde ise yağmur suyu ve gri su miktarı, yeşil alan sulama ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu yerleşkelerde yeşil alan sulamasında kullanılan yıllık su ihtiyacı aşağıdaki gibidir:

- **Seyitler Yerleşkesi:** 64.869 m³
- **Borçka Yerleşkesi:** 12.271,5 m³
- **Ardanuç Yerleşkesi:** 4.245 m³

Söz konusu yerleşkelerde yağmur suyu ve gri su, yeşil alan sulama ihtiyacının yalnızca belirli bir miktarını karşılayabilmektedir. Tasarruf miktarı hesaplanırken suyun m³ bedeli 20,46 TL/m³ olarak alınmıştır.

- Seyitler yerleşkesinde yeşil alan sulamasında kullanılması gereken 64869 m³ suyun %48.98'i olarak 31772,84 m³'ü karşılanacağı için;

Yıllık tasarruf edilen tutar = 31772,84 m³ x 20,46 TL/m³ = **650,072.31 TL**

- Borçka yerleşkesinde yeşil alan sulamasında kullanılması gereken 12271,5 m³ suyun %72.45'i olarak 8890,70 m³'ü karşılanacağı için;

Yıllık tasarruf edilen tutar = 8890,70 m³ x 20,46 TL/m³ = **181,903.72 TL**

- Ardanuç yerleşkesinde yeşil alan sulamasında kullanılması gereken 4245 m³ suyun %6.19'u olarak 262,77 m³'ü karşılanacağı için;

Yıllık tasarruf edilen tutar = 262,77 m³ x 20,46 TL/m³ = **5,376.27 TL**

3.8. Yağmur Suyu Hasadı Sisteminin Yatırım Tutarı

Yağmur suyu toplama sistemlerinin sürdürülebilirliği; sosyal uyumluluk, teknik uygunluk ve ekonomik fizibilite ile doğrudan ilişkilidir ve bu üç faktörün dengeli bir şekilde sağlanmasına bağlıdır. Sistemlerin ekonomik yapısını ise esas olarak ilk yatırım maliyeti ile işletme ve bakım maliyetleri oluşturur (Himat, 2018).

Toplanacak su miktarı, sistemin kurulduğu alanın büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Ancak kullanılacak depo malzemesinin kalitesi, sistemin uzun ömürlü ve verimli çalışmasında belirleyici rol oynar. Sızıntılar veya su kayıpları, kullanılan malzemenin

kalitesizliği ya da yetersiz bakım nedeniyle ortaya çıkabilir. Bu nedenle, depoların tasarımı yapılırken yıllık yağış miktarı, çatı alanı ve su tüketim ihtiyacı dikkate alınmalı; ne çok küçük ne de gereğinden büyük hacimlerde olmalıdır. Yetersiz boyutlandırılmış bir depo, su ihtiyacını karşılamada yetersiz kalırken; aşırı büyük bir depo, hem yüksek kurulum hem de bakım-onarım maliyetleri nedeniyle ekonomik anlamda verimsiz olabilir. Bu durum da zamanla sistemin kullanım dışı kalmasına neden olabilir. Doğru hesaplamalarla oluşturulmuş sistemler, hem bireysel kullanıcıya hem de topluma ekonomik, çevresel ve işlevsel faydalar sağlar.

Yağmur suyu hasadı sistemlerinde gerekli temel ekipmanlar; su deposu, filtrasyon sistemi ve dalgıç pompa olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır. Bu ekipmanlar sistemin verimli ve sürdürülebilir çalışması açısından zorunlu bileşenlerdir.

- Su deposu, yağmur suyunun toplandığı ve depolandığı ana ünedir.
- Su filtresi, depoya ulaşan yağmur suyunun kirleticilerden arındırılmasını sağlar.
- Dalgıç pompa, depolanan suyun sulama veya başka amaçlarla kullanılmak üzere sistem dışına taşınmasını sağlar.

Tablo 41. Polyester su deposu fiyatları (URL-1)

Depo Kapasitesi (m ³)	Fiyat (₺)*
100	819350,00
80	691755,00
70	600100,00
60	509450,00
50	413905,00
40	337450,00
30	224760,00
25	202015,00
20	179220,00
15	124610,00
10	85290,00

*Depo fiyatları Temmuz 2025'te Karmod Plastik resmi internet sitesinden alınmıştır.

Yağmur suyu hasadı sisteminin yatırım maliyetinin belirlenmesinde, sistemin temel bileşenleri olan depo, filtre ve pompa için piyasa verileri esas alınmıştır. Bu kapsamda, Karmod firmasının resmi internet sitesinden alınan fiyat bilgilerine göre, yerleşkelerde kullanacağımız polyester malzemeden üretilmiş depoların fiyatları Tablo.41'de verilmiştir.

Tablo 42. Vortex Yağmur Suyu Filtresi Fiyatları (URL-2)

Montaj Yeri	Model	Kullanım Çatı Alanı (m ²)	Fiyat (₺)
Yer Üstü	YFVR-0100	200	8.280,00 ₺
Yer Üstü	YFVR-0150	500	11.160,00 ₺
Yer Üstü	YFVR-0200	1000	20.100,00 ₺
Yer Üstü	YFVR-3000	3000	43.080,00 ₺

*Vortex Yağmur Suyu Filtresi fiyatları Temmuz 2025’de Tankplast resmi internet sitesinden alınmıştır.

Sistemde kullanılacak olan filtrasyon ünitesi olarak, Tankplast sitesinden Vortex Yağmur Suyu Filtresi modellerine ait veriler ve fiyatları Tablo.42’de verilmiştir. Seçilecek filtre modeli, çatı yüzeylerinden gelen yağmur suyunu filtreleme kapasitesine sahip olup, çatı alanlarına göre seçilmiştir.

Sisteme entegre edilecek pompa için, Sumak marka SDF 5/2 Monofaze (220V) 1 Hp model 750 W gücünde temiz su dalgıç pompa tercih edilmiş olup, bu ekipmanın fiyatı 10.240 TL’dir (URL-3).

Her bir yerleşkeye ait güncel fiyatlarla yapılmış hesaplamalar Tablo 43’de detaylı olarak sunulmuştur. Söz konusu fiyatlar piyasada en yaygın kullanılan kapasite ve modeller baz alınarak belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda, Yağmur suyu hasadı sisteminin birim yatırım maliyeti, sistemin kurulacağı yerin kapasitesine göre değişiklik gösterecek şekilde analiz edilmiştir.

Tablo 43. Yerleşkelerdeki Yağmur Suyu Hasadı Ekipman Maliyeti

Bina	Yerleşke	Aralık Ayı Yağış Miktarı (mm)	Çatı Alanı (m ²)	Hasat Edilecek Yağmur Miktarı (m ³)	Gereken Depo Hacmi (m ³)	Depo Fiyatları ^a (₺)	Dalgıç Pompa Fiyatları (₺)	Vortex Filtre Fiyatları ^b (₺)
Rektörlük Binası	Rektörlük	86,2	1155	80,64	100	819.350,00 ₺	10.240,00 ₺	43.080,00 ₺
ANG Kongre ve Kültür Merkezi	Merkez Y.	86,2	2248	122,08	100+25	1.021.365,00 ₺	20.480,00 ₺	86.160,00 ₺
Merkezi Kütüphane	Merkez Y.	86,2	875	47,52	50	413.905,00 ₺	10.240,00 ₺	20.100,00 ₺
Konukevi	Merkez Y.	86,2	810	56,56	60	509.450,00 ₺	10.240,00 ₺	20.100,00 ₺
Lojmanlar	Merkez Y.	86,2	822	57,39	60	509.450,00 ₺	10.240,00 ₺	20.100,00 ₺
Tüm Merkezi Derslikler	Merkez Y.	86,2	8604	467,25	100*4+70	3.877.500,00 ₺	51.200,00 ₺	215.400,00 ₺
TOPLAM			14514	831,44		7.151.020,00 ₺	112.640,00 ₺	404.940,00 ₺
Orman Fakültesi	Seyitler Y.	86,2	4584	248,94	100*2+50	2.052.605,00 ₺	30.720,00 ₺	129.240,00 ₺
Mühendislik Fakültesi	Seyitler Y.	86,2	1085	75,76	80	691.755,00 ₺	10.240,00 ₺	43.080,00 ₺
Artvin MYO	Seyitler Y.	86,2	1085	75,76	80	691.755,00 ₺	10.240,00 ₺	43.080,00 ₺
YİTDB	Seyitler Y.	86,2	291	20,32	25	202.015,00 ₺	10.240,00 ₺	11.160,00 ₺
BİLTEKMER	Seyitler Y.	86,2	967	52,51	60	509.450,00 ₺	10.240,00 ₺	20.100,00 ₺
Kapalı Spor Salonu	Seyitler Y.	86,2	2744	191,59	100*2	1.638.700,00 ₺	20.480,00 ₺	86.160,00 ₺
Sosyal Tesis Binası	Seyitler Y.	86,2	2683	145,7	100+50	1.233.255,00 ₺	20.480,00 ₺	86.160,00 ₺
Endüstriyel Tasarımlar Uyg, Arş, Mer,	Seyitler Y.	86,2	1720	120,09	100+25	1.021.365,00 ₺	20.480,00 ₺	86.160,00 ₺
Sera	Seyitler Y.	86,2	252	13,69	15	124.610,00 ₺	10.240,00 ₺	11.160,00 ₺
Lojmanlar	Seyitler Y.	86,2	2002	139,78	70*2	1.200.200,00 ₺	20.480,00 ₺	86.160,00 ₺

Tablo 43. Yerleşkelerdeki Yağmur Suyu Hasadı Ekipman Maliyeti (devam)

Depo	Seyitler Y.	86,2	126	8,8	10	85.290,00 ₺	10.240,00 ₺	8.280,00 ₺
Ulaştırma Binası	Seyitler Y.	86,2	180	9,78	10	85.290,00 ₺	10.240,00 ₺	8.280,00 ₺
TOPLAM			17719	1102,71		9.536.290,00 ₺	184.320,00 ₺	619.020,00 ₺
Borçka Acarlar MYO	Borçka Y.	86,2	3049	212,89	100*2+15	1.763.310,00 ₺	30.720,00 ₺	129.240,00 ₺
Lojmanlar	Borçka Y.	86,2	567	39,59	40	337.450,00 ₺	10.240,00 ₺	20.100,00 ₺
TOPLAM			3616	252,48		2.100.760,00 ₺	40.960,00 ₺	149.340,00 ₺
Hopa MYO İdari Binası	Hopa Y.	86,2	2953	160,37	100+70	1.419.450,00 ₺	20.480,00 ₺	86.160,00 ₺
Hopa MYO Eğitim Binası	Hopa Y.	86,2	361	25,21	30	224.760,00 ₺	10.240,00 ₺	11.160,00 ₺
Fitness Salonu	Hopa Y.	86,2	269	18,78	20	179.220,00 ₺	10.240,00 ₺	11.160,00 ₺
TOPLAM			3583	204,35		1.823.430,00 ₺	40.960,00 ₺	108.480,00 ₺
Şavşat MYO	Şavşat Y.	86,2	2208	154,17	80*2	1.383.510,00 ₺	20.480,00 ₺	86.160,00 ₺
TOPLAM			2208	154,17		1.383.510,00 ₺	20.480,00 ₺	86.160,00 ₺
Derslik Binası	Ardanuç Y.	86,2	382	26,67	30	224.760,00 ₺	10.240,00 ₺	11.160,00 ₺
Tarihi Bina	Ardanuç Y.	86,2	738	51,53	60	509.450,00 ₺	10.240,00 ₺	20.100,00 ₺
TOPLAM			1120	78,2		734.210,00 ₺	20.480,00 ₺	31.260,00 ₺
Arhavi MYO İdari Binası	Arhavi Y.	85,6	1897	132,45	70*2	1.200.200,00 ₺	20.480,00 ₺	86.160,00 ₺
Arhavi MYO Eğitim Binası	Arhavi Y.	85,6	502	35,05	40	337.450,00 ₺	10.240,00 ₺	20.100,00 ₺
Yemekhane	Arhavi Y.	85,6	644	44,97	50	413.905,00 ₺	10.240,00 ₺	20.100,00 ₺
TOPLAM			3043	212,47		1.951.555,00 ₺	40.960,00 ₺	126.360,00 ₺

^a Tablo.41'den alınarak hesaplanmıştır.

^b Tablo.42'den alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 44. Yağmur Suyu Hasadı Toplam Ekipman Maliyeti

Yerleşke	Toplam Ekipman Maliyeti (₺)
Merkez Yerleşke	7.668.600,00 ₺
Seyitler Yerleşkesi	10.339.630,00 ₺
Borçka Yerleşkesi	2.291.060,00 ₺
Hopa Yerleşkesi	1.972.870,00 ₺
Şavşat Yerleşkesi	1.490.150,00 ₺
Ardanuç Yerleşkesi	785.950,00 ₺
Arhavi Yerleşkesi	2.118.875,00 ₺

Gri su hasadında kullanmak için EthixFilter marka GR Serisi gri su arıtma cihazı tercih edilmiş olup; su üretim kapasitesi 5-100 ton arasında değişmekte ve kapasitesine göre 200.000,00 TL ile 1.2000.000,00 TL arasında fiyatları değişmektedir. Ortalama olarak 20 ton kapasiteli bir gri su sistemi kullanılması planlanmış olup fiyatı 350.000,00 TL tutmaktadır (URL-4).

Sistemin ekonomik verimliliği, gri su sistemi ve yağmur suyu hasadı sistemlerinin toplam kurulum maliyeti ile yıllık sağlanan su tasarrufu dikkate alınarak hesaplanmıştır.

- Merkez yerleşkede daha önce yapılan hesaplamalarda sistemin yıllık sağladığı tasarruf 478.856,07 TL'dir.

Buna göre sistemin geri ödeme süresi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Toplam sistem maliyeti / Yıllık tasarruf = Geri ödeme süresi

8.018.600,00 TL / 478.856,07 TL $\approx$ 16,75 yıl

Bu sonuç, yatırımın yaklaşık 17 yıl içerisinde geri dönüşünü sağladığını göstermektedir.

- Seyitler yerleşkesinde daha önce yapılan hesaplamalarda sistemin yıllık sağladığı tasarruf 650.072,31 TL'dir.

Buna göre sistemin geri ödeme süresi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

10.689.630,00 TL / 650.072,31 TL $\approx$ 16,44 yıl

Bu sonuç, yatırımın yaklaşık 16 yıl içerisinde geri dönüşünü sağladığını göstermektedir.

- Borçka yerleşkesinde daha önce yapılan hesaplamalarda sistemin yıllık sağladığı tasarruf 181.903,72 TL’dir.

Buna göre sistemin geri ödeme süresi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$2.641.060,00 \text{ TL} / 181.903,72 \text{ TL} \approx 14,52 \text{ yıl}$$

Bu sonuç, yatırımın yaklaşık 15 yıl içerisinde geri dönüşünü sağladığını göstermektedir.

- Hopa yerleşkesinde daha önce yapılan hesaplamalarda sistemin yıllık sağladığı tasarruf 159.127,65 TL’dir.

Buna göre sistemin geri ödeme süresi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$2.322.870,00 \text{ TL} / 159.127,65 \text{ TL} \approx 14,60 \text{ yıl}$$

Bu sonuç, yatırımın yaklaşık 15 yıl içerisinde geri dönüşünü sağladığını göstermektedir.

- Şavşat yerleşkesinde daha önce yapılan hesaplamalarda sistemin yıllık sağladığı tasarruf 34.065,90 TL’dir.

Buna göre sistemin geri ödeme süresi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$1.840.150,00 \text{ TL} / 34.065,90 \text{ TL} \approx 54,02 \text{ yıl}$$

Bu sonuç, yatırımın yaklaşık 54 yıl içerisinde geri dönüşünü sağladığını göstermektedir.

- Ardanuç yerleşkesinde daha önce yapılan hesaplamalarda sistemin yıllık sağladığı tasarruf 5.376,27 TL’dir.

Buna göre sistemin geri ödeme süresi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$785.950,00 \text{ TL} / 5.376,27 \text{ TL} \approx 146,19 \text{ yıl}$$

Bu sonuç, yatırımın yaklaşık 146 yıl içerisinde geri dönüşünü sağladığını göstermektedir.

- Arhavi yerleşkesinde daha önce yapılan hesaplamalarda sistemin yıllık sağladığı tasarruf 56.500,29 TL’dir.

Buna göre sistemin geri ödeme süresi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$2.468.875,00 \text{ TL} / 56.500,29 \text{ TL} \approx 43,70 \text{ yıl}$$

Bu sonuç, yatırımın yaklaşık 44 yıl içerisinde geri dönüşünü sağladığını göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, AÇÜ'nün tüm yerleşkelerinde bulunan yapılardan yağmur suyu hasadı ve gri su geri kazanımının potansiyeli değerlendirilmiş, yeşil alanların sulama ihtiyacının karşılanması açısından sistemin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Gri su hasadından elde edilen veriler, AATTUT'de belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılmış ve hem fiziksel hem de kimyasal uygunlukları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kampüslerde yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı sayesinde önemli miktarda su tasarrufu sağlanabileceğini, ancak her yerleşkenin potansiyelinin farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

Tüm yerleşkelerdeki toplam 45.803 m² çatı alanından yıllık 22.854,34 m³ yağmur suyu hasadı potansiyeli tespit edilmiştir. En yüksek hasat potansiyeli 8.886,96 m³ ile Seyitler Yerleşkesi'nde, en düşük potansiyel ise 630,23 m³ ile Ardanuç Yerleşkesi'nde belirlenmiştir. Aylık yağış verilerine göre en yüksek yağmur suyu hasadının Aralık ayında (86,2 mm yağış), en düşük hasadın ise Ağustos ayında (29,0 mm yağış) gerçekleştiği tespit edilmiş, bu durum mevsimsel değişimlerin depolama kapasitesi hesaplamalarında dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

Üniversite bünyesindeki toplam 12.998 kişiden (12.439 öğrenci, 559 akademik personel) günlük 649,34 m³ gri su oluşumu hesaplanmış, yıllık bazda bu miktar 237.009,1 m³'e karşılık gelmiştir. Gri suyun karakterizasyon analizi sonuçlarına göre, pH değeri 7,9 ile nötr seviyede olmasına rağmen, iletkenlik (1454 µS/cm), sodyum (213,12 mg/L), klorür (378,6 mg/L) ve bor (3,4 mg/L) değerleri nedeniyle AATTUT standartlarına göre 3. sınıf su kategorisinde yer almış, bu durum gri suyun doğrudan sulama amaçlı kullanımının uygun olmadığını ve ön arıtma işlemlerine ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur.

Üniversiteye ait toplam 155.989 m² yeşil alanın Mayıs-Eylül aylarındaki 5 aylık aktif sulama döneminde ihtiyaç duyduğu su miktarı 116.991,75 m³ olarak hesaplanmıştır. Yağmur suyu ve gri su birlikte kullanıldığında Merkez (%192,65), Hopa (%165,49), Şavşat (%195,32) ve Arhavi (%222,32) yerleşkelerinde sulama ihtiyacının tamamını

karşılarken, Seyitler (%48,98), Borçka (%72,45) ve Ardanuç (%6,19) yerleşkelerinde yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Özellikle Ardanuç Yerleşkesi'nde yeşil alan miktarının geniş olmasına rağmen yağmur suyu hasadı potansiyelinin çok düşük olması, ihtiyacın sadece %6'sının karşılanabilmesine yol açmıştır. Bu sonuç, su kaynaklarının sınırlı olduğu bazı yerleşkelerde ilave önlemlere veya alternatif kaynaklara ihtiyaç duyulacağını göstermektedir.

Ekonomik analiz sonuçlarına göre, yağmur suyu hasadı ve gri su geri kazanımı sistemlerinin uygulanmasıyla üniversite genelinde toplam yıllık tasarruf 1.565.902,21 TL olarak hesaplanmıştır. Bu ciddi bir kazanımı işaret etmekte olup sürdürülebilir su yönetiminin finansal açıdan da avantajlı olabileceğini göstermektedir. Yerleşke bazında en yüksek tasarruf Seyitler'de (650.072,31 TL), en düşük tasarruf ise Ardanuç'ta (5.376,27 TL) elde edilmiştir. Tarım ve Orman Bakanlığı'nca geri ödeme sürelerinde 20 yılın altında olan sistemlerin uygun ve sürdürülebilir olduğu belirtilmiştir. Geri ödeme süreleri açısından Borçka (15 yıl), Hopa (15 yıl), Merkez (17 yıl) ve Seyitler (16 yıl) yerleşkelerinde yatırımın eşik değerin altında olduğu ve ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu görülmektedir. Buna karşılık, Şavşat (54 yıl), Ardanuç (146 yıl) ve Arhavi (44 yıl) yerleşkelerinde geri ödeme süreleri eşik değerin çok üzerinde kalmakta ve bu durum, söz konusu sistemlerin bu bölgelerde ekonomik açıdan verimli olmadığını göstermektedir.

Bu bulgular doğrultusunda, ilk aşamada ekonomik açıdan en uygun olan Borçka, Hopa, Merkez ve Seyitler yerleşkelerinde sistem kurulması önerilmektedir. Pilot uygulama sonuçlarına göre diğer yerleşkelerde sistem genişletilmesi planlanmalıdır.

Gri suyun kirlilik yükü yüksek olduğundan, arıtılmadan yeşil alan sulamasında kullanılması uygun değildir. Gri suyun sulama standartlarına uygun hale getirilmesi için biyolojik arıtma, filtrasyon ve dezenfeksiyon prosesi uygulanması, iletkenlik, sodyum ve klorür değerlerini düşürmek için RO sistemi entegrasyonu gereklidir. Yağmur suyu ve arıtılmış gri suyun ortak depolanması için hibrit depolama sistemi kurulmalı, mevsimsel değişimleri dengeleyecek optimal depo kapasitesi hesaplanmalıdır.

Akıllı sulama sistemi kapsamında toprak nem sensörleri ile otomatik sulama kontrolü, hava durumu tahminleri ile entegre sulama programlaması ve su tüketimini optimize edecek damla sulama sistemleri önerilmektedir. Depolama açısından, tek büyük bir depo yerine bina yakınlarında küçük hacimli depoların kurulması maliyet ve kullanım verimliliği açısından daha uygundur. Artvin’de en fazla yağış alınan aylık dönem baz alınarak uygun depo hacimleri belirlenmiş; olası koku ve yosunlaşma gibi olumsuzlukların önüne geçmek amacıyla uygun alanlara sahip yerleşkelere yer altı depolama sistemi önerilmiştir. Ayrıca düzenli aralıklarla temizlik yapılmalıdır.

Finansman stratejisi olarak Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) gibi kuruluşlardan proje desteği alınması, üniversite-sanayi işbirliği ile finansman sağlanması ve aşamalı yatırım ile nakit akışının optimize edilmesi önerilmektedir. Sistemlerin düzenli bakım ve kontrolü için teknik personel eğitimi verilmeli, depo temizliği, filtre değişimi ve pompa bakımı için yıllık bakım programı oluşturulmalı, su kalitesi izleme ve analiz protokolleri geliştirilmelidir.

Yağmur suyu hasadı ve gri suyun yeniden kullanımı, üniversitenin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine doğrudan katkı sağlayan stratejik uygulamalardır. Bu sistemlerin devreye alınmasıyla şehir şebekesinden temin edilen su miktarı azaltılarak yerel su kaynakları üzerindeki baskı hafifletilecek; buna paralel olarak enerji tüketimi ve karbon ayak izi de anlamlı ölçüde düşürülecektir. Üniversite bünyesinde sürdürülebilirlik komisyonları ve çevre yönetim birimlerinin oluşturulması, su yönetimine yönelik bütüncül politikaların geliştirilmesini ve stratejik planlamayla uzun vadeli çevresel etkilerin optimize edilmesini mümkün kılacaktır. Ayrıca öğrenci ve personelin bilinç düzeyini artırmak amacıyla düzenlenecek farkındalık programları, sürdürülebilir su kullanımı kültürünün kurumsal düzeyde benimsenmesini destekleyecektir. Uygulamaya alınan sistemlerin sağladığı saha verileri, mühendislik ve fen bilimleri başta olmak üzere çeşitli fakültelerde yürütülen akademik araştırmalara entegre edilerek, öğrencilerin sistem optimizasyonu ve yeni teknolojilerin entegrasyonu üzerine nitelikli projeler geliştirmelerine olanak tanıyacaktır. Böylece söz konusu uygulamalar, yalnızca çevresel kazanım sağlamakla kalmayıp eğitim-öğretim süreçlerine entegre edilerek üniversite genelinde çok boyutlu ve kalıcı bir etki yaratacaktır.

Yağmur suyu hasadı sistemleri, yalnızca su tasarrufu açısından değil, aynı zamanda sel riskinin azaltılması ve drenaj altyapısı üzerindeki hidrolik yükün hafifletilmesi bakımından da önemlidir. Artan kuraklık koşulları ve azalan su kaynakları göz önünde bulundurulduğunda, alternatif su kaynaklarının (yağmur suyu ve gri su) kullanımının yaygınlaştırılması, devlet destekleriyle teşvik edilmesi ve çevre yönetim planlarına entegre edilmesi, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliğine uyum stratejileri açısından kritik rol oynamaktadır.

Sürdürülebilirlik odaklı gelecekteki araştırmalar için; mevcut sistemlerin yaşam döngüsü analizlerinin (LCA) gerçekleştirilmesi, iklim değişikliği senaryolarına bağlı olarak su hasadı potansiyelinin modellenmesi, yeşil kampüs stratejilerinin geliştirilmesi ve mevcut altyapılara entegrasyonu büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, yalnızca çatı yüzeylerinden değil, otoparklar ve diğer geçirimsiz yüzeylerden yağmur suyunun etkin biçimde toplanmasının planlanması, gri suyun arıtılmasında ileri membran teknolojilerinin verimliliğinin incelenmesi ve elektrokimyasal arıtma yöntemlerinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi kritik araştırma alanları olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi ile çalışan pompa sistemlerinin su yönetimi altyapılarına entegrasyonu, enerji geri kazanım sistemlerinin geliştirilmesi ve makine öğrenmesi tabanlı sulama optimizasyonu ile birlikte, meteorolojik veriler kullanılarak yağmur suyu hasadı tahmin modellerinin oluşturulması, sürdürülebilir kaynak yönetimi için yenilikçi çözüm yolları sunmaktadır.

Başarılı sonuçların diğer üniversite ve kamu kurumlarıyla paylaşılması, Artvin ili genelinde benzer sistemlerin yaygınlaştırılması için rehber oluşturulması bölgesel yaygınlaştırma açısından kritik önem taşımaktadır. Bu çalışma, AÇÜ'de yağmur suyu hasadı ve gri su geri kazanımının teknik olarak uygulanabilir, ekonomik olarak da belirli yerleşkeler için uygun geri ödeme sürelerine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle Borçka, Hopa, Merkez ve Seyitler yerleşkelerinde sistemin kurulması, hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli faydalar sağlayacaktır.

Sistemin başarılı uygulanması için teknik, yönetsel ve finansal faktörlerin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması, aşamalı uygulama stratejisinin benimsenmesi ve sürekli izleme-değerlendirme süreçlerinin kurulması kritik önem taşımaktadır. Bu yaklaşım, sürdürülebilir su yönetimi alanında bir model oluşturarak, benzer kurumlara öncülük

edecek niteliktedir ve ülkemizin su kaynaklarının korunması ve etkin kullanımına önemli katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma AÇÜ ölçeğinde yağmur sularının hasadı ve gri suların geri kazanımı ile sürdürülebilir su yönetimi hedeflerine ulaşmanın mümkün olduğunu göstermiştir. Elde edilen veriler, uygun sistem tasarımları ve planlı bir uygulama ile kampüslerin önemli bir kısmının sulama suyu ihtiyacının şebeke suyu kullanmadan karşılanabileceğini ortaya koymaktadır. Bu da uzun vadede hem ekonomik tasarruf hem de çevresel fayda anlamına gelmektedir. Sistemin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için teknik, yönetsel ve finansal unsurların bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir. Önerilen yol haritası takip edildiğinde, AÇÜ ülkemizde yağmur suyu ve gri su kullanımının yaygınlaşmasında örnek bir model oluşturacaktır. Bu modelin başarısı, benzer iklim ve altyapı şartlarına sahip diğer üniversitelere ve kurumlara da ilham verecek; su kaynaklarının korunması ve verimli kullanımı konusunda bölgesel ve ulusal ölçekte önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- AATTUT, 2010. Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. Resmî Gazete, Erişim Tarihi:01.07.2025. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100320-7.htm>.
- Abik, M.Y., 2016. Hava Kuvvetleri Komutanlığı Karargah Binalarında Kullanım Sonucu Oluşan Atıksuyun Gri Su Olarak Yeniden Değerlendirilip Kullanılması. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.
- AÇÜ, 2024. Artvin Çoruh Üniversitesi Faaliyet Raporu. Erişim Adresi: [https://www.artvin.edu.tr/uploads/.../A%C3%87%C3%9C%202024%20Y%C4%B1%C4%B1%20%C4%B0dare%20Faaliyet%20Raporu\(1\).pdf](https://www.artvin.edu.tr/uploads/.../A%C3%87%C3%9C%202024%20Y%C4%B1%C4%B1%20%C4%B0dare%20Faaliyet%20Raporu(1).pdf)
- Aghaloo, K., Chiu, Y. R., 2020. Identifying Optimal Sites For A Rainwater-Harvesting Agricultural Scheme In Iran Using The Best-Worst Method And Fuzzy Logic In A Gis-Based Decision Support System. Water, 12(7), 1913.
- Akaydın, S., 2017. Yağış Sularının Konut Ölçeğinde Sürdürülebilir Tasarım Kapsamında İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı (Yüksek Lisans Tezi), 77s, İstanbul.
- Akkuzu, G. P., 2008. "Küresel Su Krizi Ve Su Hasadı Teknikleri." Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 75-85.
- Albalawneh, A., Chang, T.K., 2015. Review of the Greywater and Proposed Greywater Recycling Scheme for Agricultural Irrigation Reuses. International Journal of Research – GRANTHAALAYAH 3(12), 16–35.
- Alcalde-Sanz, L., Gawlik, B.M., 2017. Minimum Quality Requirements For Water Reuse In Agricultural Irrigation And Aquifer Recharge, Towards A Legal Instrument On Water Reuse At Eu Level.
- Aldawahid, K., 2022. Yağmur Suyu Hasadının Bursa Otobüs Terminalinde Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Alim, M.A., Ashraf, A.A., Rahman, A., Tao, Z., Roy, R., Khan, M.M., Shirin, S., 2021. Experimental Investigation of an Integrated Rainwater Harvesting Unit for Drinking Water Production at the Household Level. Journal of Water Process Engineering 44, 102318.
- Alpaslan, N., Tanık, A., Dölgen, D., 2008. Türkiye’de Su Yönetimi Sorunlar Ve Öneriler, Tüsiad Yayın No, 09/469. TÜSİAD.
- Anchan, S. S., Prasad, H. S. 2021. Feasibility of Roof Top Rainwater Harvesting Potential – A Case Study of South Indian University. Cleaner Engineering and Technology, 4, 100206.

- Atanasova, N., Dalmau, M., Comas, J., Poch, M., Rodriguez-Roda, I., Buttiglieri, G., 2017. Optimized MBR for Greywater Reuse Systems in Hotel Facilities. *Journal of Environmental Management* 193, 503–511.
- Avery, L. M., Frazer-Williams, R. A., Winward, G., Shirley-Smith, C., Liu, S., Memon, F. A., Jefferson, B., 2007. “Constructed Wetlands For Grey Water Treatment” *Ecohydrology & Hydrobiology*, 7(3-4), Pp 191-200.
- Aybuğa, K., 2018. Su Kaynakları Üzerindeki Baskıların Hafifletilmesi Maksadıyla Konutlarda Yağmur Suyu Ve Gri Su Kullanımı: Ankara Örneği. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Aytek, A., Toprak, Z., 2001. Fresh Water-Saltwater Distribution And Freshwater Potential Of Turkey. In *Proc. International Symposium on Water Resources and Environmental Impact Assessment*, 233-238.
- Aytuğ, H. K., 2014. Sürdürülebilir Su Kullanımı Açısından Avrupa Birliği Çevre Politikalarına Türkiye’nin Uyumu. *Ekonomik Ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(2), 1- 18.
- Batan, M., Toprak, Z. F., 2020. İklim Değişikliğinde Etkenler İle Sonuçların Birbirini Tetiklemesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2), 759-769.
- Bayrak, G., Küp, C., 2021. Yeşil Altyapı Uygulamaları Kapsamında Biyotutma Sistemlerinin Yağmur Suyu Kirlenici Giderim Verimlerinin Değerlendirilmesi. *Kent Akademisi*, 14(3).
- Beler Baykal, B., Allar, A.D., 2007. Ecosan: Ekolojik Evsel Atık Su Yönetimi. *İTÜ Dergisi/e* 17(3), 3–12.
- Beler Baykal, B., 2018. Gri Su Ve Kentsel Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme, *Uluslar Arası Kent Ve Sağlık Kongresi*, 11-14 Aralık, Bursa, 8s.
- Belmeziti, A., Coutard, O., De Gouvello, B., 2013. A New Methodology for Evaluating Potential for Potable Water Savings (PPWS) by Using Rainwater Harvesting at the Urban Level: The Case of the Municipality of Colombes (Paris Region). *Water* 5(1), 312–326.
- Bilbay, Ö.F., 2020. Bir Kamu Politikası Olarak Türkiye’de Su Yönetimi: Güneydoğu Anadolu Projesi Özelinde Bir İnceleme. *Doktora Tezi*, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi.
- Birben, N.C., 2012. Application of Photocatalysis for the Treatment of Grey Water. *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Teknolojileri Bilim Dalı, İstanbul.
- Boelee, E., Yohannes, M., Poda, J.-N., McCartney, M., Cecchi, P., Kibret, S., Laamrani, H., 2013. Options for Water Storage and Rainwater Harvesting to Improve Health and Resilience Against Climate Change in Africa. *Regional Environmental Change* 13(3), 509–519.

- Börü, S., 2022. Yağmur Suyu Hasadının Farklı Bir Yaklaşım ile Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Corcoles, J.I., Juan, J.A., Ortega, J.F., Tarjuelo, J.M., Moreno, M.A., 2010. Management Evaluation of Water Users Associations Using Benchmarking Techniques. *Agricultural Water Management* 98, 1–11.
- Coşkun Hepcan, Ç., 2019. Kentlerde İklim Değişikliği ile Mücadele İçin Yeşil Altyapı Çözümleri. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi, İklim Değişikliği Alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi (İklimIN), Ankara.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017a. Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018. Yağmur Bahçesi Uygulama Kılavuzu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü Kentsel Tasarım Dairesi Başkanlığı, 59 s., Ankara. Erişim Adresi: <https://www.burkut.com.tr/yagmur-suyu-kullanimi> (Erişim tarihi: 01.07.2025).
- Dadhich, G., Mathur, P., 2016. A GIS Based Analysis for Rooftop Rain Water Harvesting. *International Journal of Computer Science Engineering Technology* 7(4), 129–143.
- Değirmenci, C., 2023. Üniversite Yerleşkesinde Gri Suyun Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Potansiyelinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Demir, D., 2012. Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- DIN, 1989. Rainwater Harvesting Systems: Planning, Installation, Operation and Maintenance. Deutsches Institut für Normung, Berlin, Germany, 34 s.
- Dissanayake, J., Han, M., 2021. The Effect of Number of Tanks on Water Quality in Rainwater Harvesting Systems Under Sudden Contaminant Input. *Science of the Total Environment* 769, 144553.
- Dişbudak, K., 2008. Avrupa Birliği'nde Tarım Çevre İlişkisi ve Türkiye'nin Uyumu.
- Doğangönül, Ö., Doğangönül, C., 2008. Küçük ve Orta Ölçekli Yağmursuyu Kullanımı. Ankara: Teknik Yayınevi.
- DSİ, 2017. 2017 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara. <https://www.dsi.gov.tr/sayfa/detay/759>
- DSİ, 2018. 2018 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara. <https://www.dsi.gov.tr/sayfa/detay/759>
- Efe, H., 2017. An Analysis On Grey Water Source Separation as an Alternative for Conventional Wastewater Management Using the Case of Kocaeli Yenikent Neighborhood. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri

Enstitüsü, İstanbul.

EA, 2010. Environment Agency Harvesting Rainwater for Domestic Uses: An Information Guide. Bristol.

Eğerci, P., 2006. Türkiye'nin Avrupa Birliği Su Politikasına Uyum Durumunun Kuramsal ve Yasal Çerçeve Açısından İncelenmesi ve İleriye Yönelik Öneriler. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.

Ekinci, B., 2015. Su Kaynaklarının Verimli Kullanılmasına Yönelik Örnek Ülke Uygulamaları ve Ülkemizde Bu Çalışmaların Uygulanabilirliği. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

EPA, 1999. Storm Water Technology Fact Sheet: Porous Pavement. USA, 7 s.

Eren, B., Aygün, A., Likos, S., Damar, A.İ., 2016. Yağmur Suyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüs Örneği. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES), Antalya, 3–5 Kasım.

Eriksson, E., 2002. Characteristics of Grey Wastewater. Urban Water 4(1), 85–104.

Eşbah Tunçay, H., 2021. Suya Duyarlı Şehirler. İstanbul: Türkiye Su Enstitüsü.

European Commission, 2010. Water Framework Directive. Erişim Adresi: <https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Water-Framework-Directive.pdf>.

Evsahibioğlu, A.N., Aküzüm, T., Çakmak, B., 2010. Su Yönetimi, Su Kullanım Stratejileri ve Sınırışan Sular. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Ankara Üniversitesi, 11–15 Ocak, Ankara.

Falkenmark, M., Lindh, G., 1976. How Can We Cope with the Water Resources Situation by the Year 2015. Ambio 3, 114–122.

Fereres, E., Evans, R.G., 2006. Irrigation of Fruit Trees and Vines: An Introduction. Irrigation Science 24(2), 55–57.

Furumai, H., Kim, J., Imbe, M., Okui, H., 2008. Recent Application of Rainwater Storage and Harvesting in Japan.

Geben, M., 2023. Yağmur Suyu Toplama Sistemi Tasarımı ve Yağmur Suyunun Kullanımı: Sektörel Uygulama Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Gökbaş, E.Ç., 2018. Yağmur Suyu Yönetim Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gray, J., R., Katzenmoyer, C., 2011. City of Lancaster. Green Infrastructure Plan Lancaster.

- Guillaume, J.H., Helgeson, C., Elsayah, S., Jakeman, A.J., Kumm, M., 2017. Toward Best Practice Framing of Uncertainty in Scientific Publications: A Review of Water Resources Research Abstracts. *Water Resources Research* 53(8), 6744–6762.
- Guyassa, E., Frankl, A., Zenebe, A., Poesen, J., Nyssen, J., 2017. Effects of Check Dams on Runoff Characteristics Along Gully Reaches, the Case of Northern Ethiopia. *Journal of Hydrology* 545, 299–309.
- Gülgün, B., Keskin, N., Aktaş, E., 2010. Doğal ve Yapay Sulak Alanlar ve Kullanılan Bazı Bitki Türleri. *Ziraat Mühendisliği Dergisi* (355).
- Günay, D., 2002. Sanayi ve Sanayi Tarihi. *Mimar ve Mühendis Dergisi* 31(2002), 8–14.
- Günay, D., Arıduru, A., 2001. Teknolojinin Konumu ve Neliği. Tebliğ, II. Teknoloji, Kalite ve Üretim Sistemleri Konferansı.
- Günaydın, H., 2021. Yeşil Bina Hedefine Yönelik Yağmur Suyu Hasat Sistemi Tasarımı: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.
- Hajjar, H., Kılınç, İ.K., Ülker, E., 2020. Rainwater Harvesting Potential in Public Buildings: A Case Study in Katip Celebi University. *Türk Doğa ve Fen Dergisi* 9(Özel Sayı), 167–172.
- Hamdan, S.M.A., 2009. Literature Based Study of Stormwater Harvesting as a New Water Resource. *Water Science and Technology* 60(5), 1327–1339.
- Hassani, A.N., Katibeh, H., Farhadian, H., 2016. Numerical Analysis of Steady-State Groundwater Inflow into Tabriz Line 2 Metro Tunnel, Northwestern Iran, with Special Consideration of Model Dimensions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 75(4), 1617–1627.
- Hattum, T., Worm, J., 2006. Rainwater Harvesting for Domestic Use. *Water International*, 16(6), 156.
- Henocque, Y., Andral, B., 2003. The French Approach to Managing Water Resources in the Mediterranean and the New European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 47(1), 155–161.
- Himat, M.A., 2018. Çatılardan Yağmur Suyu Hasat Potansiyelinin İl Bazında Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Hofman-Caris, R., Bertelkamp, C., De Waal, L., Van Den Brand, T., Hofman, J., Van Der Aa, R., Van Der Hoek, J.P., 2019. Rainwater Harvesting for Drinking Water Production: A Sustainable and Cost-Effective Solution in the Netherlands? *Water* 11(3), 511.
- Imteaz, M., Shanableh, A., 2012. Feasibility of Recycling Grey-Water in Multi-Storey

Buildings in Melbourne.

- Jensen, M.A., 2008. Feasibility of Rainwater Harvesting for Urban Water Management in Salt Lake City. Yüksek Lisans Tezi, University of Utah Department of Civil and Environmental Engineering.
- Jiang Zhi-Yun, J.Z., Li Xiao-Yan, L. X., Ma YuJun, M. Y., 2013. Water and Energy Conservation of Rainwater Harvesting System in the Loess Plateau of China. Journal of Integrative Agriculture 12(8), 1389–1395.
- Kahinda, J. M., Taigbenu, A. Ve Boroto, R. J. (2010). Domestic Rainwater Harvesting As An Adaptation Measure To Climate Change In South Africa. Physics Chemistry Of The Earth, Parts A/B/C 35(13-14), 742-751.
- Kalıpcı, E., Başer, V., Genç, N., 2021. Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanarak Yağmur Suyu Hasadının Değerlendirilmesi: Giresun Üniversitesi Kampüs Örneği. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi 10(1), 49–58.
- Kanat, A., 2014. Ultraviyole Işınları ile Suların Dezenfeksiyonu. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Dezenfeksiyon Teknik Tebliği. Erişim Adresi: <https://acikders.ankara.edu.tr> (Alınma tarihi: 01.07.2025).
- Kaplan, H., 2020. Suya Duyarlı Kent Uygulamaları: İstanbul Ataköy Atıksu Toplama Havzası Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karahan, A., 2011. Gri Suyun Değerlendirilmesi. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TMMOB, İzmir, 14–18 Nisan, 44–46.
- Karakaya, N., Gönenç, E., 2005. Alternatif Su Kaynakları. II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, Gümüşdere/İzmir, Türkiye.
- Karel Bayrakçı, F., Karaer, F., Tombul, M., Koparel, S.A., 2016. Eskişehir İli Yağmur Suyu Karakterizasyonu. International Symposium of Water and Wastewater Management (ISWWM), 1–9.
- Keithley, S.E., Fakhreddine, S., Kerry, A.K., Mary, J.K., 2018. Effect of Treatment on the Quality of Harvested Rainwater for Residential Systems. Journal - American Water Works Association 110(17).
- Kırtorun, E., Karaer, F., 2018. Su Yönetimi ve Suyun Sürdürülebilirliği. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 1(2), 151–159.
- Kim, J.E., Teh, E.X., Humphrey, D., Hofman, J., 2021. Optimal Storage Sizing for Indoor Arena Rainwater Harvesting: Hydraulic Simulation and Economic Assessment. Journal of Environmental Management 280, 111847.
- Kisakye, V., Van Der Bruggen, B., 2018. Effects of Climate Change on Water Savings and Water Security from Rainwater Harvesting Systems. Resources, Conservation and Recycling 138, 49–63.

- Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H., 2012. Membran Processes Ders Notları, 2 s.
- Kolavani, 2020. Technical Feasibility Analysis of Rainwater Harvesting System Implementation for Domestic Use. Sustainable Cities and Society 62, 102340.
- Konyalı Dereli, C., Çay, R.D., 2020. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetimi Kapsamında Yeşil Altyapı Sisteminin Değerlendirilmesi: Fırınlarsırtı TOKİ Konutları (Edirne) Yerleşimi İçin Bir Öneri. Kent Akademisi 13(4), 668–687.
- Korkut, A., Kiper, T., Üstün Topal, T., 2017. Kentsel Alanlarda Ekolojik Bahçe Tasarım Anlayışları. 5. Uluslararası Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Bakü, Azerbaycan, 29–30 Eylül.
- Köse Mutlu, B., 2021. Çok Katlı Binalarda Gri Suyun Yerinde Arıtılması ile Yeniden Kullanılmasının Fizibilitesi: İstanbul’da Bir Kentsel Dönüşüm Projesi Örneği. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 23(67), 81–91.
- Kretschmer, N., Ribbe, L., Gaese, H., 2002. Wastewater Reuse for Agriculture. Technology Resource Management and Development-Scientific Contributions for Sustainable Development, 2, 37-64.
- Krois, J., Schulte, A., 2014. GIS-Based Multi-Criteria Evaluation to Identify Potential Sites for Soil and Water Conservation Techniques in the Ronquillo Watershed, Northern Peru. Applied Geography 51, 131–142.
- Kurtoğlu, M.E., 2021. İstanbul’da Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetimi: Yağmursuyu Izgara Modeli Önerisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Kusler, J., 2003. Wetlands and Watershed Management. Institute for Wetland Science and Public Policy of the Association of State Wetland Managers. Publication No: 28.
- Kutlu, S., 2017. Gri Suların Elde Edilmesi ve Kullanım Potanselinin Alanya İlçesi İçin Son Teknolojik Gelişmeler Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Kutlu, S., Şentürk, İ., Büyükgüngör, H., 2017. Alanya İlçesinde Seçilen Pilot Bölge İçin Gri Su Potansiyelinin Belirlenmesi. Afyon Kocatepe Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 580–589.
- Kütük, D., 2017. Binalarda Gri Su Arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Lancaster, B., Marshall, J., 2008. Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond. Tucson, Arizona: Rainsource Press.
- Levi, S., 2007. Yağış Sularının Sürdürülebilir Yönetimi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Li, F., Winhmann, K., Otterpohl, R., 2009. Review of the Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses. *Science of the Total Environment* 407, 3439–3449.
- Liniger, R.M., 2013. *Water Harvesting Guidelines to Good Practice*. Bern: Universitat Bern – WOCAT, META, Rainwater Harvesting Implementation Network; Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC).
- Liu, X., Ren, Z., Ngo, H. H., He, X., Desmond, P., Ding, A., 2021. Membrane Technology for Rainwater Treatment and Reuse: A Mini Review. *Water Cycle* 2, 51–63.
- Loudière, D., Gourbesville, P., 2020. *Rapport Mondial des Nations Unies sur la Mise en Valeur des Ressources en Eau 2020 – L’eau et les Changements Climatiques*. EDP Sciences.
- Lyu, Y., Liu, Y., Guo, Y., Tian, J., Chen, L., 2021. Managing Water Sustainability in Textile Industry Through Adaptive Multiple Stakeholder Collaboration. *Water Research* 205, 117655.
- Manikandan, M., Ranghaswami, M., Thiagarajan, G., 2011. Estimation of Rooftop Rain Water Harvesting Potential by Water Budgeting Study. *International Journal of Bio-Resource Stress Management* 2(1), 36–41.
- Manioğlu, G.N., Şahin, 2011. Binalarda Yağmur Suyunun Kullanılması. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 13–16 Nisan. March J., Gual M. Ve Simonet B., (2002). “Determination Of Residual Chlorine İngreywater Using O-Tolidine” *Talanta*, 58(5), Pp 995-1001.
- Mao, J., Xia, B., Zhou, Y., Bi, F., Zhang, X., Zhang, W., Xia, S., 2021. Effect of Roof Materials and Weather Patterns on the Quality of Harvested Rainwater in Shanghai, China. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123419.
- March J., Gual M. Ve Simonet B., (2002). “Determination Of Residual Chlorine İngreywater Using O-Tolidine” *Talanta*, 58(5), Pp 995-1001.
- Masdaf, M., 1977. *Gri Su Geri Kullanım Alanları*. Erişim Tarihi: 01.07.2025. <https://masgrup.com/>.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü), 2024. Resmi istatistikler: İllerimize ait genel istatistik verileri. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ARTVIN>.
- Morgan, P., 1990. *Rural Water Supplies and Sanitation: a text from Zimbabwe's Blair Research Laboratory* Macmillan. Education Limited, Hong Kong, 358.
- Müftüoğlu, V., Perçin, H., 2015. Sürdürülebilir Kentsel Yağmur Suyu Yönetimi Kapsamında Yağmur Bahçesi. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi* 5(11), 27–37.

- Nations, U., 2013. World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables. Economic and Social Affairs / Population Division, Working Paper No. ESA/P/WP.228 .
- Ndiritu, J., Ilemobade, A., Kagoda, P., 2018. Guidelines for Rainwater Harvesting System Design and Assessment for the City of Johannesburg, South Africa. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences 379, 409–414.
- Oweis, T.Y., Prinz, D., Hachum, A.Y., 2012. Rainwater Harvesting for Agriculture in the Dry Areas. CRC Press, 3–40.
- Ökmen, M., 2006. Uyum Sürecinin Ekoloji-Politiği AB ve Türkiye’de Çevre Politikaları. In M. Dikkaya (Ed.), AB Yolunda Türkiye: Müzakere Sürecinin Ekonomi Politiği, 325–380. İstanbul: Alfa Yayınları.
- Öktem, U., Aksoy, A., 2014. Türkiye’nin Su Riskleri Raporu. WWF-Türkiye, Ofset Yapımevi.
- Örs, İ., Safi, S., Ünlükara, A., Yürekli, K., 2011. Su Hasadı Teknikleri, Yapıları ve Etkileri. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, (2), 65–71.
- Özgün, A., 2023. Evsel Nitelikli Gri Suyun Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Özkay, F., Taş, İ., Çelik, A., 2008. Sulama Projelerinin Çevresel Etkileri. TMMOB, 2, 501–508.
- Öztürk, İ.L., 2022. Yağmur Hasadı İçin Uygun Alan Tespitinde Modern Yöntemlerin Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Pandey, D.N., Gupta, A.K., Anderson, D.M., 2003. Rainwater Harvesting as an Adaptation to Climate Change. Current Science, 46–59.
- Peck, S., Kuhn, M., 2003. Design Guidelines for Green Roof. Ontario Association of Architects, 1–22.
- Petroulias, N., Foufeas, D., Bougoulia, E., 2016. Estimating Water Losses and Assessing Network Management Intervention Scenarios: The Case Study of the Water Utility of the City of Drama in Greece. *Procedia Engineering* 162, 559–567.
- Pradhan, R., Sahoo, J., 2019. Smart Rainwater Management: New Technologies and Innovation. In Vito Bobek (Ed.), Smart Urban Development, 83.
- Pradhan, S., Al-Ghamdi, S.G., Mackey, H.R., 2019. Greywater Recycling in Buildings Using Living Walls and Green Roofs: A Review of the Applicability and Challenges. *Science of the Total Environment* 652, 330–344.
- Ritchie, H., Roser, M., 2018. Water Use and Stress. Our World in Data.

- Ross, A., 2017. Speeding the Transition Towards Integrated Groundwater and Surface Water Management in Australia. *Journal of Hydrology* 567, E1–E10.
- Saky, 2014. Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği. Resmî Gazete, Erişim Tarihi:01.07.2025. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/04/20140404-11.htm>.
- Santos, C., Imteaz, M.A., Ghisi, E., Matos, C., 2020. The Effect of Climate Change on Domestic Rainwater Harvesting. *Science of the Total Environment* 729, 138967.
- Scholz, M., Grabowiecki, P., 2007. Review of Permeable Pavement Systems. *Building and Environment* 42, 3830–3836.
- Schueler, T.R., 1987. Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban Best Management Practices. Metropolitan Washington Council of Governments, Metropolitan Information Center, USA, 776 s.
- Semiz, M., 2016. Yeşil Altyapı Sistemleri ve Kent Sürdürülebilirliği İlişkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sert, E., 2013. Enerji Etkin Peyzaj Tasarımında Yağmur Suyu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sevimli, A., 2021. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetimi Uygulamaları: Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Singh, V.P., Pratap Singh, P., Haritashya, U.K. (Eds.), 2011. *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*. ISBN: 978-90-481-2641-5.
- Sousa, V., Silva, C.M., Meireles, I.C., 2018. Technical-Financial Evaluation of Rainwater Harvesting Systems in Commercial Buildings – Case Studies from Sonae Sierra in Portugal and Brazil. *Environmental Science and Pollution Research* 25(20), 19283–19297.
- Stahn, H., Tomini, A., 2016. On the Environmental Efficiency of Water Storage: The Case of a Conjunctive Use of Ground and Rainwater. *Environmental Modeling and Assessment* 21(6), 691–706.
- Strecker, W.E., Kersnar, J.M., Driscoll, E.D., 1990. The Use of Wetlands for Controlling Stormwater Pollution. Woodward-Clyde Consultants, 61 s.
- Şahan, B., 2022. Sürdürülebilir Su Yönetimi Kapsamında Yağmur Suyu ve Gri Su Arıtma Esasları ve Maliyet Analizlerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Şahin, N.İ., 2010. Binalarda Su Korunumu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 103 s.
- Şimşek, A., Demir, G., 2023. Yağmur Suyu Hasadının Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kütüphane Binasında Uygulanabilirliğinin Araştırılması. *European Journal of*

- Tamaddun, K., Kalra, A., Ahmad, S., 2018. Potential of Rooftop Rainwater Harvesting to Meet Outdoor Water Demand in Arid Regions. *Journal of Arid Land* 10(1), 68–83.
- Tanık, A., 2017. Yağmur Suyu Toplama, Biriktirme ve Geri Kullanımı. Su Kaynakları ve Kentler Konferansı, Kahramanmaraş, 25–27 Ekim.
- Taşçı, H., 2021. Economic Analysis of Water Storage by Rainwater Harvesting Technique at Izmir Katip Celebi. Master's Thesis, İzmir Katip Celebi University, Turkey.
- Temizkan, S., Tuna Kayılı, M., 2021. Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinde Optimum Depolama Yönteminin Belirlenmesi: Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi Örneği. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 8(14), 102–116.
- Teonlan Meriç, B., 2004. Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 28(1), 27–38.
- The Guardian, 2015. Erişim Tarihi: 01.07.2025, Erişim Adresi: <https://www.theguardian.com/world/2015/mar/20/france-decrees-new-rooftops-must-be-covered-in-plants-or-solar-panels>.
- Thomas, T., Martinson, D., 2007. Roofwater Harvesting. Delft: International Water and Sanitation Centre (Technical Paper Series No. 49), Delft, The Netherlands, 160 s.
- Tokuş, C. M., Özdemir, G., 2017. Yağmur Hasadı Uygulamalarına Giriş Rehberi: İklim Değişikliğine Uyum Kapsamında Bir Çözüm Önerisi. Peyzaj Araştırmaları Derneği, Ankara, 7.
- Toprak, Z.F., 2016. What Is the Global Climate Change? With the Perspective of the People Who Live [sic]. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 6, 134–137.
- Tuncer, S., 2025. Kentsel Alanlarda Yağmur Suyu Hasadı Üzerine Yapılmış Çalışmaların İncelenmesi ve Farklı Kullanım Alanları İçin Geri Ödeme Sürelerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Belediyeler Birliği, 2016. Artırılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri. Yorum Basın Yayın Sanayi Ltd. Şti., Ankara, 131 s. Erişim Tarihi: 01.07.2025, Erişim Adresi: <https://ecodiurnal.com/gri-su-nedir-ve-nasil-tekrar-degerlendirilir/>.
- Tzanakakis, V.A., Paranychanakis, N.V., Angelakis, A.N., 2020. Water Supply and Water Scarcity. *Water*, 12(9), 2347.
- Ulusoy, A., Vural, T., 2001. Kentleşmenin Sosyo Ekonomik Etkileri. *Belediye Dergisi* 7(12), 8–14.

- Ulusoy, P., 2011. Sustainable Management of Water Resources on Campus: The Case of Izmir Institute of Technology. Master's Thesis, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Engineering and Sciences Graduate School, Department of Regional Planning, İzmir.
- Urban Water Harvesting and Reuse, 2010. Water Sensitive Urban Design Technical Manual, Greater Adelaide Region, Chapter 8.
- Urban Water, 2022. Porous Asphalt Is a Simple Way to Increase the Permeability of Urban Surfaces. Erişim Tarihi: 01.07.2025, Erişim Adresi: <https://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/industry/treatment-types/what-is-porous-pavement/>.
- URL-1: Plastik Su Deposu Fiyatları. Erişim Tarihi: 01.07.2025, Erişim Adresi: <https://www.sudeposu.com/plastik-su-deposu>
- URL-2: Vortex Filtreler. Erişim Tarihi: 01.07.2025, Erişim Adresi: <https://tankplast.com/vortex-filtreler>
- URL-3: Sumak SDF5-2 Temiz Su Dalgıç Pompa Monofaze 220 V 1 HP. Erişim Tarihi: 01.07.2025, Erişim Adresi: <https://www.kampa.com.tr/urun/sumak-sdf5-2-temiz-su-dalgic-pompa-monofaze-220v-1-hp>
- URL-4: Gri-Su Arıtma Cihazı GR-Serisi. Erişim Tarihi: 01.07.2025, Erişim Adresi: <https://www.ethicwater.com.tr/urun/gri-su-aritma-cihazı-gr-serisi/>
- USİAD, 2007. Su Raporu. Ada Strateji, 1. baskı, ISBN: 978-9944-89-682-5.
- Üçevli, O., 2017. Gri Suların Fiziksel ve Kimyasal Yöntemlerle Arıtımı ve Yeniden Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 158 s.
- Üstün, G. E., Can, T., Küçük, G., 2020. Binalarda Yağmur Suyu Hasadı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 1593–1610.
- Üstün, G. E., Tırpancı, A., 2015. Gri Suyun Arıtımı ve Yeniden Kullanımı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 119–139.
- WHO & UNICEF, 2004. Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target: A Mid-Term Assessment of Progress. Geneva: WHO/UNICEF.
- Wilson, A., Navarro, R., 2008. Alternative Water Sources: Supply-Side Solutions for Green Buildings. Environmental Building News.
- Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T., Jefferson, B., 2008. Chlorine Disinfection of Grey Water for Reuse: Effect of Organics and Particles. Water Research 42(1-2), 483–491.
- Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., Jefferson, B., 2007. A Study of the Microbial Quality of Grey Water and an

- Evaluation of Treatment Technologies for Reuse. *Ecological Engineering* 32 (2008), 187–197.
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P., 2007. *The Sustainable Urban Drainage Systems Manual*, UK, 2–13.
- Woodward-Clyde Federal Services, 1991. Draft Summary of Urban BMP Cost and Effectiveness Data for Guidance: Post-Construction Stormwater Runoff Treatment. *Water*, 260 s.
- World Commission on Environment and Development [WCED], 1987. *Our Common Future*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Worm, J., Hattum, V., 2006. Rainwater Harvesting for Domestic Use. *Agrodoc 43*. Agromisa Foundation and CTA, Wageningen, The Netherlands, 82 s.
- WWF, 2022. Ada Sulak Alanların Korunması. Erişim Tarihi: 01.07.2025, Erişim Adresi: https://www.wwf.org.tr/calismalarimiz/tatli_su/ada_sulak_alanlar/.
- Wyoming Department of Environmental Quality, 2013. Urban Best Management Practices for Non-Point Source Pollution. Erişim Tarihi: 01.07.2025, Erişim Adresi: <https://deq.wyoming.gov/water-quality/watershed-protection/nonpoint-source/>.
- Yalılı Kılıç, M., Abuş, M. N., 2018. Bahçeli Bir Konut Örneğinde Yağmur Suyu Hasadı. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi* 4(2), 209–215.
- Yalılı Kılıç, M., Akal Solmaz, S.K., Çiner, F., 2013. Kentsel Su Yönetiminde Su Kullanıcısının Önemi. 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi, 22–24 Mart 2013, Bursa.
- Yalılı Kılıç, M., Rukiah, K., 2022. İstanbul Havalimanı'nda Yağmur Suyu Hasadı. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5(2), 495–504.
- Yalılı, M., Akal Solmaz, S. K., Kestioğlu, K., 2006. Bursa İli Su Kaynakları Potansiyeli ve Su Kullanıcı Faktörü. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering* 11-2, 1–13.
- Yaman, C., 2009. Siemens Gebze Tesisleri Yeşil Bina. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 1091–1101.
- Yannopoulos, S., Antoniou, G., Kaiafa-Saropoulou, M., Angelakis, A., 2017. Historical Development of Rainwater Harvesting and Use in Hellas: A Preliminary Review. *Water Science & Technology: Water Supply* 17(4), 1022–1034.
- Yetik, A. K., Şen, B., 2020. Su Hasadı Sistemlerinin Önemi ve Teknikleri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 8(Sp1), 46–53.
- Yiğit, N. Ö., 2007. Membran Biyoreaktörü (MBR) ile Evsel Atıksu Arıtımı. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü], Isparta.
- Zhou, Q., 2014. A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water* 6(1), 976–992.

ÖZGEÇMİŞ

Fotoğraf

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ALTUNTAŞ, Celil
Uyruğu :
Doğum tarihi ve yeri :
Medeni hali :
Yabancı Dili :
Telefon :
Faks :
e-posta :

Eğitim

<u>Derece</u>	<u>Eğitim Birimi</u>	<u>Mezuniyet Tarihi</u>
Ön Lisans		
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2013
Yüksek Lisans	Artvin Çoruh Üniversitesi	-

Yayınlar

.....
.....