

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE ALTERNATİF SU KAYNAKLARININ FİZİBİLİTE
ANALİZLERİ: YAĞMUR SUYU HASADI, GRİ SU KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif Ayyüce KILINÇ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

ŞUBAT 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE ALTERNATİF SU KAYNAKLARININ FİZİBİLİTE
ANALİZLERİ: YAĞMUR SUYU HASADI, GRİ SU KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Elif Ayyüce KILINÇ
(501201740)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşe Gül TANIK

ŞUBAT 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY★ GRADUATE SCHOOL

**FEASIBILITY ANALYSES OF ALTERNATIVE WATER RESOURCES IN
TÜRKİYE: RAINWATER HARVESTING, GRAYWATER REUSE**

M.Sc. THESIS

**Elif Ayyüce KILINÇ
(501201740)**

Department of Environmental Engineering

Environmental Sciences Engineering and Management Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Ayşe Gül TANIK

FEBRUARY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501201740 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Elif Ayyüce KILINÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TÜRKİYE'DE ALTERNATİF SU KAYNAKLARININ FİZİBİLİTE ANALİZLERİ: YAĞMUR SUYU HASADI, GRİ SU KULLANIMI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ayşe Gül TANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin Erdem GÖRGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Asude HANEDAR
Namık Kemal Üniversitesi

Teslim Tarihi : 5 Ocak 2024
Savunma Tarihi : 8 Şubat 2024





Anneme ve babama,



ÖNSÖZ

Hem bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde hem de tüm akademik çalışmalarında, yönlendirmeleri, değerli önerileri ve destekleriyle bana rehberlik eden saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Ayşe Gül TANIK'a,

Bu konudaki araştırmama olan ilgisi ve teşvikleriyle, bana bu alanda çalışma fırsatı tanıyan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Erdem GÖRGÜN'e,

Sabrı ve anlayışı sayesinde bu süreçte beni motive eden hayatımın en anlamlı destekçisi nişanlım Ömer Faruk ERKMEN'e,

Hayatım boyunca yanımda olan, bana güvenen ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli anneme, babama, ablama, abime ve tüm aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2024

Elif Ayyüce Kılınç
(Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun Anlam ve Önemi	1
1.2 Amaç ve Kapsam	8
2. ALTERNATİF SU KAYNAKLARI SİSTEMLERİ.....	11
2.1 Yağmur Suyu Hasadı (YSH).....	11
2.1.1 Tarihçe	11
2.1.2 Tanım ve terminoloji.....	14
2.1.3 Yağmur suyu tutma yöntemleri.....	17
2.1.4 Yağmur suyu kalitesi	21
2.1.5 Ulusal mevzuat.....	24
2.1.6 YSH sistemlerinin tasarım kriterleri	25
2.1.6.1 Toplanabilir yağış miktarının analizi	26
2.1.6.2 Yağmur suyu tutma yüzeylerinin belirlenmesi	29
2.1.6.3 Yağmur suyu kullanım alanının/su ihtiyacının belirlenmesi	30
2.1.6.4 Çatı üstü YSH sistemi bileşenleri	32
2.2 Grisu Kullanımı (GSK)	37
2.2.1 Tarihçe	39
2.2.2 Tanım ve terminoloji.....	40
2.2.3 Çevresel, sosyal ve ekonomik etkiler.....	41
2.2.4 Grisu arıtma ihtiyacı ve teknolojileri	42
2.2.5 Ulusal mevzuat.....	45
2.2.6 GSK sistemlerinin tasarım kriterleri	47
2.2.6.1 Geri kazanılabilecek grisu miktarının hesaplanması.....	47
2.2.6.2 GSK sistemi bileşenleri.....	48
2.3 Sosyal Kabul Edilebilirlik ve Kamuoyu Algısı.....	51
2.4 Teşvik ve Sertifikasyon Sistemleri.....	53
3. ALTERNATİF SU KAYNAKLARI SİSTEMLERİNİN TASARLANMASI VE FAYDA-MALİYET ANALİZİ- ÖRNEK ÇALIŞMALAR.....	57
3.1 YSH Sistemlerinin Tasarlanması	64
3.1.1 Otel (İzmir)	64
3.1.2 Konut.....	72
3.1.3 Sanayi tesisi.....	73
3.1.4 Otel (Antalya)	74

3.1.5 Alışveriş merkezi.....	74
3.1.6 Hastane	75
3.2 GSK Sistemlerinin Tasarlanması	76
3.2.1 Otel (İzmir).....	77
3.2.2 Konut.....	83
3.2.3 Sanayi tesisi.....	83
3.2.4 Otel (Antalya).....	84
3.2.5 Alışveriş merkezi.....	85
3.2.6 Hastane	87
3.3 Kırım-yapım maliyetinin geri ödeme süresine etkisi	88
3.4 Su Tasarrufu Analizi.....	89
3.5 Teknik Esaslar ve İşletme Koşulları.....	94
3.5.1 YSH sistemi.....	95
3.5.2 GSK sistemi.....	96
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR.....	101
EKLER	113
ÖZGEÇMİŞ.....	145

KISALTMALAR

AAYK	: Arıtılmış Atıksuyun Yeniden Kullanımı
AB	: Avrupa Birliği
BM	: Birleşmiş Milletler
BŞB	: Büyükşehir Belediyesi
ÇŞİDB	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DSİ	: Devlet Su İşleri
GSK	: Grisu Kullanımı
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
İZSU	: İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi
L	: Litre
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NBD	: Net Bugünkü Değer
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SKH	: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
TCMB	: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası
TOB	: Tarım ve Orman Bakanlığı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USAID	: United States Agency for International Development (Amerika Birleşik Devletleri Uluslararası Kalkınma Ajansı)
YM	: Yeşil Mutabakat
YSH	: Yağmur Suyu Hasadı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Falkenmark indeks değerlerine göre su stresi dereceleri (Falkenmark ve diğ.,1989).	2
Çizelge 2.1 : Toplanmış yağmur suyunun yeniden kullanımında limit değerler (EPA,2010).	23
Çizelge 2.2 : BŞB yönetmeliklerinde YSH sistemine ilişkin yapılan değişikliklere örnekler.	25
Çizelge 2.3 : Kaplama cinsine göre akış katsayıları (Karpuzcu, 2005).	30
Çizelge 2.4 : Çalışma kapsamında esas alınan sifon suyu kullanım sayıları.	31
Çizelge 2.5 : Malzeme türüne göre depolama tanklarının özellikleri (Ling ve Benham; Ertop ve diğ., 2023).	35
Çizelge 2.6 : Grisuyun kaynağına göre oluşan kirletici maddeler (Üstün ve Tırpancı, 2015).	38
Çizelge 2.7 : Tipik ortalama günlük grisu verimi ve talebi (TSE, 2021).	47
Çizelge 2.8 : Su kullanımı için referans değer aralıkları (TSE, 2021).	47
Çizelge 2.9 : Armatürlerin akma süreleri (TSE, 2021).	48
Çizelge 3.1 : YSH ve GSK sistemi çalışılan alanlar.	57
Çizelge 3.2 : Antalya ve İzmir 2017-2022 yılları arası nüfusu (TÜİK, 2022b).	60
Çizelge 3.3 : Antalya ve İzmir 1990-2018 yılları arası arazi kullanımı.	60
Çizelge 3.4 : Antalya Büyükşehir Belediyesi 2022 yılı su tarifeleri.	61
Çizelge 3.5 : İzmir Büyükşehir Belediyesi 2023 yılı su tarifeleri.	61
Çizelge 3.6 : Antalya İline ait mevsim normalleri, ölçüm periyodu (1938 - 2022) (MGM, 2020).	63
Çizelge 3.7 : İzmir İline ait mevsim normalleri, ölçüm periyodu (1938 - 2022) (MGM, 2020).	63
Çizelge 3.8 : Otel (İzmir) binasına ait bilgiler.	64
Çizelge 3.9 : Sosyal alanlardaki kişi sayıları.	65
Çizelge 3.10 : Otelin aylara göre doluluk oranları.	65
Çizelge 3.11 : İzmir İli yıllık ortalama yağış miktarı ve yağışlı gün sayılarına karşılık otelde toplanabilir yağmur suyu miktarı.	66
Çizelge 3.12 : Sifon suyu ihtiyacı hesabı.	67
Çizelge 3.13 : Yeşil alan sulama suyu ihtiyacı hesabı.	67
Çizelge 3.14 : Yağmur suyu depo kapasitesi hesabı.	68
Çizelge 3.15 : Yağmur suyu boru çapı hesabı.	68
Çizelge 3.16 : Yağmur suyu hidrofor sistemi ve pompa özellikleri.	69
Çizelge 3.17 : Yağmur suyu sisteminin maliyet kalemleri ve bedelleri.	70
Çizelge 3.18 : İzmir otel YSH sistemi fayda-maliyet analizi cetveli.	71
Çizelge 3.19 : Konut uygulama alanı YSH sistemi.	72
Çizelge 3.20 : Sanayi tesisine ait bilgiler.	73
Çizelge 3.21 : Otel uygulama alanı YSH sistemi.	74
Çizelge 3.22 : Alışveriş merkezi alanı YSH sistemi.	75
Çizelge 3.23 : Hastane alanı YSH sistemi.	76

Çizelge 3.24 : Grisu toplanan kullanımlar ve sayıları.	77
Çizelge 3.25 : Otel binasında toplanabilir grisu miktarı.	77
Çizelge 3.26 : Grisu hidrofor sistemi ve pompa özellikleri.	81
Çizelge 3.27 : Grisu sisteminin elektrik tüketimi.	81
Çizelge 3.28 : İzmir otel GSK sisteminin maliyet kalemleri ve bedelleri.	81
Çizelge 3.29 : İzmir otel GSK sistemi fayda-maliyet analizi cetveli.....	82
Çizelge 3.30 : Konut uygulama alanı grisu sistemi.	83
Çizelge 3.31 : Sanayi tesisi alanı grisu sistemi.	84
Çizelge 3.32 : Antalya otel alanı grisu sistemi.	85
Çizelge 3.33 : Alışveriş merkezi alanı grisu sistemi.....	85
Çizelge 3.34 : Alışveriş merkezi alanı YSH ve GSK birleşik sistemi.	86
Çizelge 3.35 : Hastane alanı grisu sistemi.	88
Çizelge 3.36 : İzmir İli seçilen alanlarda kırım-yapım maliyetinin geri ödeme süresine etkisi.	88
Çizelge 3.37 : Bina tipolojilerine göre su ihtiyacı.	90
Çizelge 3.38 : Çalışılan yapılardaki toplam su tüketimi ve YSH Sistemi ile sağlanabilen su tasarrufu oranları.	91
Çizelge 3.39 : Çalışılan yapılardaki toplam su tüketimi ve GSK Sistemi ile sağlanabilen su tasarrufu oranları.	92
Çizelge A.1 : YSH ve GSK sistemleri için yerel piyasada birim fiyat listesi.....	114
Çizelge B.1 : İzmir otel YSH cetveli.....	116
Çizelge B.2 : İzmir konut YSH cetveli.....	117
Çizelge B.3 : İzmir sanayi tesisi YSH cetveli.....	118
Çizelge B.4 : Antalya otel YSH cetveli.....	119
Çizelge B.5 : Antalya alışveriş merkezi YSH cetveli.....	120
Çizelge B.6 : Antalya hastane YSH cetveli.....	121
Çizelge B.7 : İzmir otel GSK cetveli.....	122
Çizelge B.8 : İzmir konut GSK cetveli.....	123
Çizelge B.9 : İzmir sanayi tesisi GSK cetveli.....	124
Çizelge B.10 : Antalya otel GSK cetveli.....	125
Çizelge B.11 : Antalya alışveriş merkezi GSK cetveli.....	126
Çizelge B.12 : Antalya hastane GSK cetveli.....	127
Çizelge E.1 : İzmir İlinde seçilen alanlarda YSH sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.....	131
Çizelge E.2 : Antalya İlinde seçilen alanlarda YSH sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.....	133
Çizelge H.1 : GSK sistemleri kapasitesine göre bakım-onarım masrafı.....	138
Çizelge I.1 : İzmir İlinde seçilen alanlarda GSK sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.....	139
Çizelge I.2 : Antalya İlinde seçilen alanlarda GSK sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.....	141

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dünya üzerinde su kaynaklarının mevcut dağılımı.	1
Şekil 1.2 : 2030 Yılı için Dünya Su Kıtlığı Tahmini (USAID, 2010).	3
Şekil 1.3 : Türkiye’de havzalarda kişi başına düşen su potansiyeli (Muluk ve diğ., 2013).	3
Şekil 1.4 : Toplam yağış anomali değerlerinin MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosu için 10’ar yıllık dönemlerde ve mevsimlik değişimi (SYGM, 2016).	4
Şekil 1.5 : SKH’lerinden 6, 11, 12 ve 13 no’lu hedef tanıtları. (SDG Map Türkiye, 2022)’den uyarlanmıştır.	6
Şekil 1.6 : Tipik bir hane için evsel su kullanımının dağılımı (Tanık, 2021).	7
Şekil 2.1 : (a) Chamaizi civarından M.Ö. 3000 yılında inşa edilen Minos su sarnıcı (b) M.Ö.1700 Minos yağmur suyu toplama sisteminde kullanılan pişmiş toprak kanallar (Mays ve diğ., 2013).	12
Şekil 2.2 : Mağara sarnıcı sisteminin planı ve kesiti (Rotroff, 1983).	13
Şekil 2.3 : Yerebatan Sarnıcı (Url-2).	14
Şekil 2.4 : Artan kentleşme ile su döngüsündeki değişim. (Jha ve diğ., 2011)’den uyarlanmıştır.	15
Şekil 2.5 : Mikro su toplama yöntemleri; a) Eş yükselti sırtları, b) Yarı dairesel seddeler, c) Küçük çukurlar (zay sistem), (Oweis ve diğ., 2001), d) Negarim (Pradhan ve Jayaprakash, 2019).	18
Şekil 2.6 : Makro su toplama yöntemleri; a) Teras sistemi, b) Yamaç akışlı sistemler (Pamuk ve Akkuzu, 2008), c) Su dağıtım sistemleri (İncebel, 2012), d) Küçük çiftlik göletleri (Url-3).	19
Şekil 2.7 : Taşkın hasadı yöntemleri; a) Akarsu yatağında suyun dağıtılması, b) Taşkın sularının saptırılması (Pamuk ve Akkuzu, 2008), c) Jessour sistemi (Blond ve diğ., 2019).	20
Şekil 2.8 : Çatı YSH sistemleri (Url-4).	21
Şekil 2.9 : Islak ve kuru birikimin ardından YSH bileşenlerini gösterir şema (Hamidi ve diğ., 2023).	22
Şekil 2.10 : Türkiye 1991-2020 periyodu arası yıllık alansal yağış normalleri haritası (MGM, 2023a).	28
Şekil 2.11 : Türkiye geneli yıllık alansal yağış miktarı (mm) (MGM, 2023b).	28
Şekil 2.12 : Çatı üstü YSH sistemi bileşenleri (Url-5).	32
Şekil 2.13 : İzgaralar; a) Ayırıcı (Url-6), b) Oluk üstü ızgara (Url-7).	33
Şekil 2.14 : İlk sifon ayırıcı (Pradhan ve Jayaprakash, 2019).	34
Şekil 2.15 : Yağmur suyu filtresi (Url- 8).	34
Şekil 2.16 : Tipik bir çatı üstü yağmur suyu sisteminde hidrofor ve pompa ekipmanlarının görüntüsü (Url-9).	37
Şekil 2.17 : Atıksu ve yağmur suyu toplama sistemleri a) Phaistos Sarayındaki atıksu ve yağmur suyu toplama sistemi b) Aya Triada Köşkünde sarnıç (Angelakis ve diğ., 2018).	39

Şekil 2.18 : Farklı ülkelerde evsel su kullanımının dağılımı (TÜBİTAK-MAM, 2014).	41
Şekil 2.19 : Atıksu geri kazanımının su tüketimine ve üretilen atıksu miktarına olan etkisi (TÜBİTAK-MAM, 2014).	42
Şekil 2.20 : Lavabodan kaynaklanan grisuyun doğrudan sulama suyu olarak kullanılması (SYGM, 2022).....	43
Şekil 2.21 : Lavabodan kaynaklanan grisuyun doğrudan sifon suyu olarak kullanılması (Url-10).	44
Şekil 2.22 : Grisu arıtma teknolojileri; a) Yapay sulak alan (Url-13), b) Döner biyolojik reaktörler (Üstün ve Tırpancı, 2015), c) Ardışık kesikli reaktörler (Url-12), d) Membran biyoreaktörler (Url-11).....	45
Şekil 2.23 : Grisu arıtma sistemi akım şeması.	50
Şekil 3.1 : Antalya ve İzmir arazi kullanımı oranları.	61
Şekil 3.2 : Antalya İli su arz-talep grafiği (DSİ, 2020).....	62
Şekil 3.3 : İzmir İli su arz-talep grafiği (DSİ, 2020).....	62
Şekil 3.4 : Otel binasında GSK arıtma sistemi yerleşimi (1. Kısım).	79
Şekil 3.5 : Otel binasında GSK arıtma sistemi yerleşimi (2. Kısım).	80
Şekil 3.6 : Alışveriş merkezinde çalışılan fayda-maliyet analizi sonuçlarının karşılaştırılması.	87
Şekil C.1 : Hidrofor sistemi ve pompa hesabı İzmir Otel örneği.....	128
Şekil D.1 : Otel YSH sistemi kolon şeması.....	129
Şekil D.2 : Otel YSH sistemi yakın kesiti.....	130
Şekil F.1 : Otel GSK kolon şeması.....	135
Şekil F.2 : Otel GSK sistemi yakın kesiti.....	136
Şekil G.1 : İzmir İli 01.10.2023 tarihinden itibaren uygulanan elektrik birim fiyat listesi.....	137
Şekil J.1 : İzmir YSH Sistemlerinin Yatırım Maliyeti Kalemlerinin Dağılımı.....	143
Şekil J.2 : İzmir GSK Sistemlerinin Yatırım Maliyeti Kalemlerinin Dağılımı.....	144

TÜRKİYE'DE ALTERNATİF SU KAYNAKLARININ FİZİBİLİTE ANALİZLERİ: YAĞMUR SUYU HASADI, GRİ SU KULLANIMI

ÖZET

Yeryüzündeki tüm canlıların temel yaşam maddesi olan su kaynakları, günümüzde yaşanan hızlı nüfus artışı, kentleşmenin yaygınlaşması, turizm faaliyetlerinin ve endüstrileşmenin yoğunlaşması ve kuraklık, taşkın ve sel gibi iklim değişikliği etkileri sebebiyle tehdit altında bırakılmaktadır. Yıllık kişi başına düşen su potansiyeli (1.322 m³) su stresi sınıfında yer alan ve iklim değişikliği sonuçlarından etkilenebilirliği yüksek bir coğrafyada bulunan Türkiye için suyun döngüselliğini koruyan ve iklim değişikliğine karşı direncini arttırmayı sağlayan yağmur suyu hasadı (YSH) ve grisu kullanımı (GSK) faaliyetleri oldukça önem arz etmektedir.

Bu tez kapsamında YSH ve GSK sistemlerinin ülkemizin önemli turizm kentlerinden olan Antalya ve İzmir illerinde farklı bina tipolojilerinde gerçek projeler üzerinden sistem tasarımları ve fayda-maliyet analizleri çalışılarak uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Sistemlerin tasarımına ilişkin teknik hesaplamalar ile uygulamaya yönelik bir metodoloji sunulmuştur.

Tezin ilk bölümünde, konunun anlam ve önemi vurgulanarak, çalışmanın kapsamı anlatılmıştır.

İkinci bölümde, YSH ve GSK sistemleri; tarihçe, tanım ve terminoloji, yağmur suyu ve grisu sistemi teknolojileri, kalite parametreleri, ulusal mevzuat, tasarım kriterleri, sosyal kabul edilebilirlik, teşvik ve sertifikasyon sistemleri gibi birçok açıdan ele alınmıştır. Ayrıca YSH ve GSK sistem bileşenleri incelenerek tasarım kriterlerine dair bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölüm, YSH ve GSK sistemlerinin fayda-maliyet analizini kapsamaktadır. Otel, konut, sanayi tesisi, alışveriş merkezi, hastane gibi farklı bina tipolojileri üzerinde ayrı ayrı olmak üzere YSH ve GSK sistemlerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Antalya'da projelendirilen bir alışveriş merkezi için YSH ve GSK sistemlerinin birlikte uygulanma durumu incelenmiştir. Yapıların proje ve kullanım aşamalarındaki farklılıklarının analizi için ilave senaryolar değerlendirilmiştir. Seçilen alanlarda toplanabilir yağmur suyu miktarı, geri kazanılabilir grisu miktarı, yeniden kullanım alanları alternatiflerinde ihtiyaç duyulan su miktarları, sistemlerin uygulanması halinde potansiyel su tasarrufu ve ekonomik kazanım hesaplanmıştır. Sistemlerin kazandırabileceği faydalar ve gerektirdiği yatırım-işletme bedelleri hesaplandıktan sonra gereken yatırımın, kazanılan faydalar sayesinde kaç yılda geri ödenebileceği hesaplanmıştır. Teknik ve işletme esaslarına vurgu yapılarak, sistemlerin etkin yönetimi üzerine öneriler sunulmuştur.

Son bölümde, elde edilen bulgular doğrultusunda çıkarılan sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

Bu çerçevede, alternatif su kaynakları sistemlerinin sürdürülebilir su yönetimi açısından önemi vurgulanmış, tasarım kriterleri ve işletme esaslarına dair öneriler ve örnekler sunulmuştur. Tez, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi konusundaki literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.



FEASIBILITY ANALYSES OF ALTERNATIVE WATER RESOURCES IN TÜRKİYE: RAINWATER HARVESTING, GRAYWATER REUSE

SUMMARY

Water resources, which are the essential elements of life for all living bodies on earth, are under threat due to rapid population growth, widespread urbanization, intensification of tourism activities and industrialization, and climate change impacts such as droughts and floods. Due to these factors, the consumption of available water resources increased five-fold in the 20th century, and this increase is expected to continue by 30% in the first quarter of the 21st century. As an effect of this increase, it is projected that by 2025, about 1.8 billion people will live in regions subject to absolute water scarcity and by 2030, almost half of the world's population will struggle to live in regions with high water shortages. Turkey, where the annual per capita water potential is 1,322 m³, is among the countries experiencing water stress. In addition, Turkey, located in the Mediterranean Basin, is in a geography with high vulnerability to the consequences of climate change.

Flood events and dry periods, which we have frequently encountered in the recent years, seriously affect nature, cause loss of life and lead to significant economic damage in our country as well as around the world. Humankind faces various climate change problems such as water resources drying up due to extreme heat, extreme weather events adversely affecting agricultural yields, and thus, economic development.

The fact that the impacts of climate change cannot be prevented in the short-term has increased the importance of climate change adaptation activities, and many national and international studies have been initiated in this regard. In the transition to the "Circular Economy", which is defined as the most important strategy for adaptation to climate change under the EU Green Deal Policy, it has become imperative to ensure the "circularity of water". Rainwater harvesting (RWH) and graywater reuse (GWR) activities have become important methods recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) within the scope of adaptation to climate change. Rainwater harvesting is an effective water management model that allows rainfall to be captured where it falls and used optimally without being dependent on distant water sources. Graywater is defined as domestic wastewater arising from showers, handwashing sinks, laundries and kitchens, excluding toilet waste and food waste from garbage disposals.

Within the scope of this thesis, system designs and cost-benefit analyses of rainwater harvesting and gray water reuse systems were studied on real projects in different building typologies in Antalya and Izmir, which are important tourism cities of our country. The applicability of RWH and GWR systems in different typologies has been analyzed and comparisons have been made.

In the first part of the thesis, the meaning and importance of the subject is emphasized and the scope of the study is explained.

In the second part, the history, definition and terminology, stormwater and graywater system technologies, quality parameters, national legislation, design criteria, social acceptability, incentive and certification systems are discussed. In addition, the system components of RWH and GWR are examined, and information on design criteria is given.

Social acceptability, which is an important issue for alternative water uses, and public perception are also investigated in terms of the RWH and GWR systems. Incentive and certification systems are emphasized, some international examples are presented and information is given on the certification example applied in our country. The impacts of alternative water resources systems on the society and the difficulties in the dissemination of these systems are discussed.

The third chapter covers the design criteria and cost-benefit analysis of RWH and GWR systems. The design criteria of each system are explained in detail by examining some real projects from different areas of use (hotels, residences, industrial plants, shopping malls, hospitals). Precedents for the design of such reuse systems have been established to initiate such reuse activities in Türkiye, a developing country facing adverse climate change impacts on water resources.

The buildings studied are in 6 different typologies; hotel (2 units), residential building, industrial facility, shopping center and hospital. The feasibility analysis of an hotel, residential site and industrial facility located in Izmir province and another hotel, shopping mall and hospital based in Antalya province were studied. Each building was analyzed in accordance with the technical and financial details for the real application. The buildings selected for each typology reflect the average type of buildings that can be commonly seen in our country reflecting typical examples. Cost-benefit analyses of the RWH and GWR systems have been carried out separately in all selected areas. In addition, for the shopping center in Antalya Province, the case of the combined application of RWH and GWR systems has been studied. In the combined system, the payback period was reduced to 2 years and water savings increased to 69%.

Among the selected buildings, there are areas that are under project design phase and the construction has not yet started. The RWH and GWR systems at the project design stage eliminates the need for installation modifications. An additional scenario has been studied to examine the cost of demolition-construction due to installation changes on the payback period in the case of the applying RWH and GWR systems to existing buildings. In the case that the buildings designed in Izmir Province are the buildings currently in use, the payback period doubles on average for hotels and residential buildings. Therefore, it is concluded that new buildings should be designed in a way to integrate these alternative water resource systems. The cost of demolition-construction did not affect the payback period in the industrial facility. This is due to the fact that the wet areas in industrial facilities are not scattered, and this shows that the applicability of industrial facilities to RWH and GWR systems is high.

In case of implementing RWH and GWR systems; the amount of collectible rainwater, the amount of reusable gray water, water requirement amount in alternative reuse areas, potential water savings and economic savings were calculated in the selected areas. After determining the benefits that the systems can bring and the investment-operating costs, the years required for the investment to be paid back is also calculated. In addition, technical and operational principles are emphasized and how these systems can be managed effectively is discussed.

In the last section, conclusions and recommendations are presented in line with the findings.

It is understood that the RWH system is a relatively simple water recovery system in terms of installation and operation. It does not necessarily require high technical expertise and expensive equipment and fittings. In RWH systems, the amount of water harvested depends on the effective roof surface area and the regional rainfall regime. Therefore, the methodology is easy to apply, but it is considered as a system where the water flow rate is spatially and temporally variable. RWH system is regarded as a safer system in terms of quality rather than quantity.

In GWR systems, the amount of water that can be recovered varies depending on the intended use of the building and the number of people residing in it. In hotels serving for tourism where activities such as meetings and events are continuous and serving touristic activities, gray water production is usually high. However, the gray water potential is lower in buildings that are only open at certain hours and do not have uses such as showers and bathtubs (shopping malls, schools, etc.).

In provinces and districts with a large tourism capacity and large population fluctuations in different months of the year, both systems seem to be a suitable solution to the problem of water scarcity. Literature on the use of alternative water sources indicates that payback periods of less than 10 years is quite acceptable. This finding is confirmed through different typologies selected from Izmir and Antalya provinces of Türkiye. According to the results of the analysis, the payback period was found to be below 10 years in all areas except for the Antalya hotel RWH system (16 years). The high payback period in the Antalya hotel is due to the high need for piping and installation due to the dispersed wet areas.

According to the calculated cost components, it is concluded that the treatment system cost constitutes the majority of the investment cost in the GWR systems, while the storage cost constitutes the majority of the investment cost in the RWH system.

The potential for RWH is high in industrial facilities as they generally have larger roof areas. In addition, in industrial buildings, it is advantageous that wet areas are not scattered and pipe costs are low. The cost-benefit analysis for an industrial facility in Izmir showed a payback period of 2 years.

The water saving rates that can be achieved in the identified areas of use with the implementation of the RWH system vary between 3% and 48%. Total water savings through GWR were calculated as 34% for the hospital, 21% for the shopping center and 31% for the hotel. In the case of the shopping center where the combined system of RWH and GWR was studied, the total water saving rate was calculated as 72% from the water needed in the areas of flushing water, green area irrigation water, vehicle washing and cleaning needs.

The savings obtained show that these practices can provide high benefits. In this way, freshwater resources can be used more efficiently, especially in urbanized areas.

In this framework, the importance of alternative water resources systems in terms of sustainable water management is emphasized and recommendations on design criteria and operational principles are presented. This thesis is based on real cases and provides comprehensive examples that can be followed by other scientists and practitioners interested in water reuse in various parts of the world. It is an important contribution to the literature on sustainable water resources management.

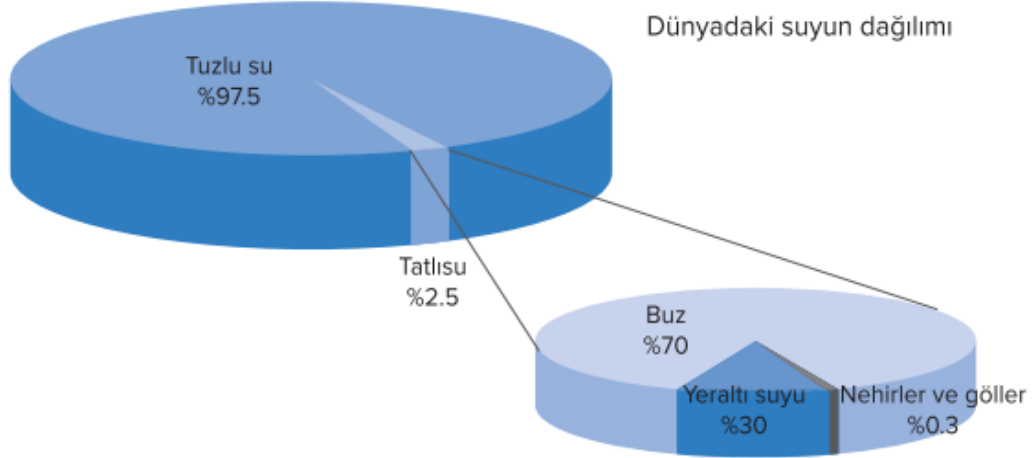


1. GİRİŞ

1.1 Konunun Anlam ve Önemi

İnsanoğlunun yaşamını sürdürebilmek için ihtiyaç duyduğu en temel yaşam kaynağı olan erişilebilir su kaynakları beşeri faaliyetlerden ötürü hem miktar hem de kalite bakımından tehdit altındadır. Mevcut durumda erişilebilen ve kullanılabilen su kaynaklarının miktarı dünyada sınırlı haldeyken, dünya dışında başka gezegenlerde yaşam alanları arayan günümüz bilim alemi, ilk olarak su mevcudiyetini araştırmaktadır. Bu araştırmaya sebep olan en büyük faktörlerden biri su kıtlığıdır.

Birleşmiş Milletler (BM) Su İstatistikleri'ne (2003) göre, her ne kadar dünya yüzeyinin $\frac{3}{4}$ 'lük kısmı, 1.400.000.000 km³, sularla kaplı olsa da tatlısu kaynakları bu miktarın yalnızca %2,5'ini oluşturmaktadır. Bununla beraber tatlısu kaynaklarının çok önemli bir kısmı (%69,5) kutuplarda yer alan buzul kütlelerde ve donmuş toprak tabakasında saklıdır. Kolay erişilebilir durumda olan tatlısu kaynakları, toplam tatlısu kaynaklarının yalnızca %0,3'üne karşılık gelmektedir (Şekil 1.1). Dünya üzerinde yaşayan tüm canlıların temel yaşam kaynağı olan suyun miktarının çok ve sürekli olduğu yanılgısı suyun bilinçli tüketiminin sağlanması için başlıca aşılması gereken engellerden biridir.



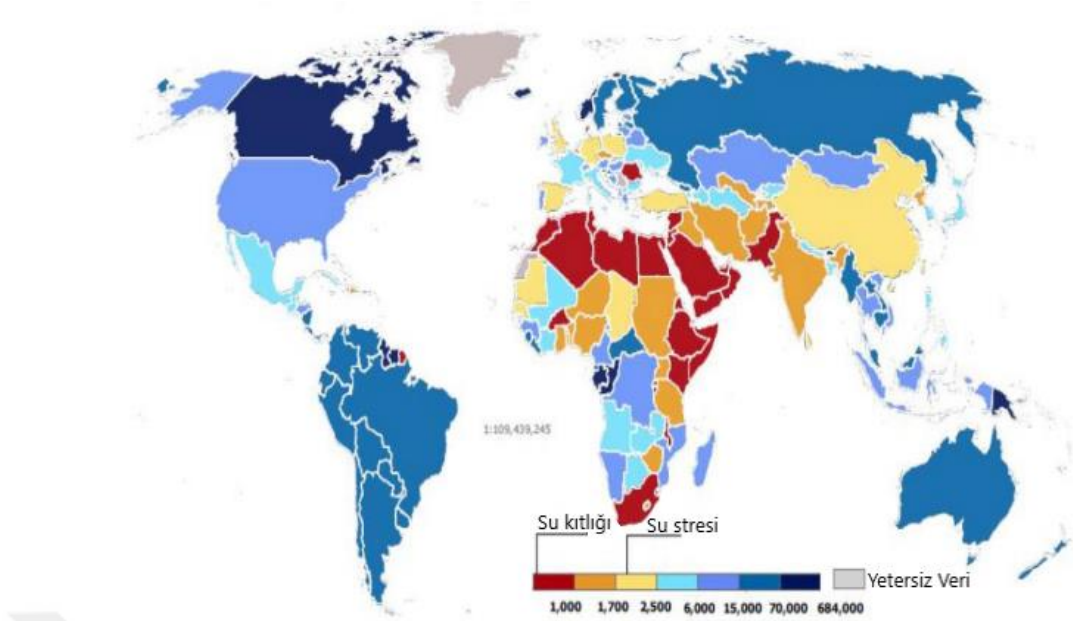
Şekil 1.1: Dünya üzerinde su kaynaklarının mevcut dağılımı.

Dünya üzerindeki su kaynaklarının bölgeler arasında dağılımı homojen ve eşit şekilde değildir. Gökçe'nin (2022) belirttiği gibi, bölgelerdeki su mevcudiyeti ölçümünde yılda kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli dikkate alınarak sınıflandırma yapılmaktadır. Falkenmark ve diğ. (1989) indeksine göre bir alanda kişi başına düşen su miktarına göre su stresi varlığı ve derecesi belirlenmiştir (Çizelge 1.1). Buna göre; bölgelerin su potansiyeli yıllık kişi başına 1700 m³ üstü olduğunda su stresinin olmadığı kabul edilirken; su potansiyeli 1700-1000 m³/kişi.yıl arası olan bölgelerde su stresi, 1000-500 m³ arası olan bölgelerde ise su kıtlığı yaşandığı belirlenmektedir. 500 m³ ve altı kişi başı kullanılabilir su potansiyeline sahip bölgelerde ise kesin su kıtlığı olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 1.1 : Falkenmark indeks değerlerine göre su stresi dereceleri (Falkenmark ve diğ.,1989).

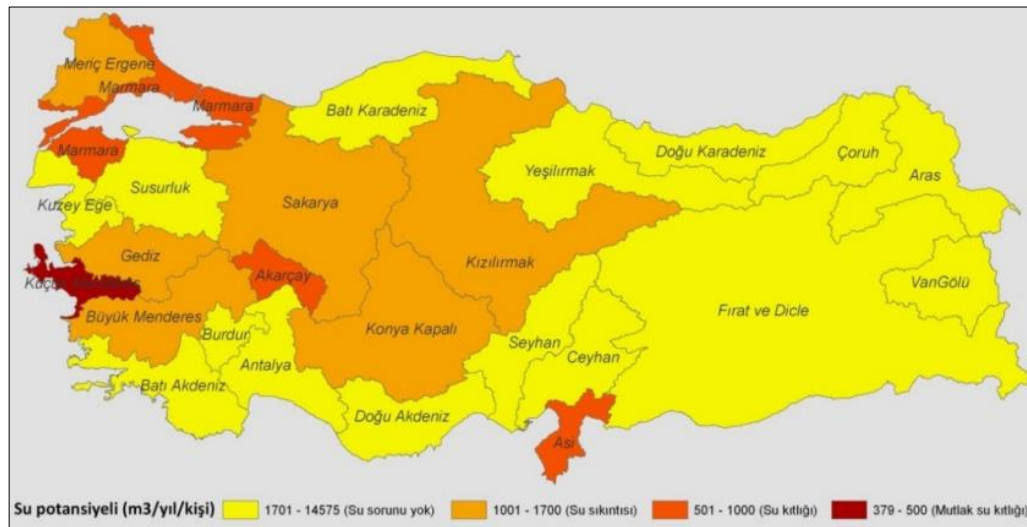
Su miktarı (m³/kişi/yıl)	Sınıflandırma
1700 m ³ ve daha fazla	Su sorunu olmayan stressiz alanlar
1700-1000 m ³	Su stresinin olduğu alanlar
1000-500 m ³	Su kıtlığı yaşanan alanlar
500 m ³ ve daha az	Kesin su kıtlığı olan alanlar

20. yüzyılda sanayinin ilerlemesi ve nüfus artışı gibi etmenlere bağlı olarak su tüketimi beş kat artmıştır. 21. yüzyılın ilk çeyreğinde ise, bu artışın %30 oranında devam edeceği beklenmektedir. Bu artışın bir sonucu olarak, 2025 yılında yaklaşık 1,8 milyar insanın mutlak su kıtlığı yaşayan bölgelerde yaşayacağı ve dünya nüfusunun 2/3'ünün su sıkıntısı sorunu ile karşı karşıya kalabileceği ifade edilmektedir. 2030 yılına gelindiğinde ise dünya nüfusunun neredeyse yarısının yüksek su sıkıntısı yaşanan bölgelerde yaşam mücadelesi vereceği öngörülmektedir (FAO, 2007). Şekil 1.2, 2030 yılı itibarıyla dünya genelinde yaşanması beklenen su kıtlığını göstermektedir (USAID, 2010).



Şekil 1.2 : 2030 Yılı için Dünya Su Kıtlığı Tahmini (USAID, 2010).

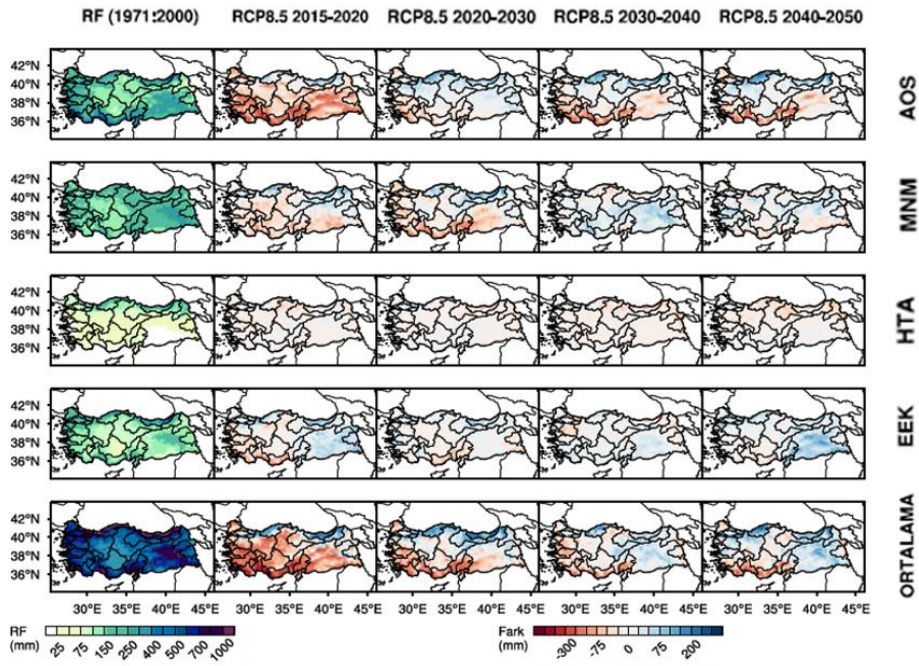
Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü (2022) tarafından hazırlanan faaliyet raporuna göre Türkiye’de yıllık ortalama yağış miktarı 574 mm’dir. Toplam 94 milyar m³ yerüstü ve 18 milyar m³ yeraltı su potansiyeli bulunmaktadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su potansiyelinin 2022 yılı itibariyle 1.322 m³ olduğu Türkiye, su stresi sınıfında yer alan ülkelerdendir. Türkiye’de Doğu Karadeniz Bölgesi hariç olmak üzere tüm bölgeler “yaklaşan fiziksel su kıtlığı” kategorisinde yer almaktadır (WWAP, 2012). Şekil 1.3 ile Türkiye’deki su havzalarına göre kişi başına düşen su miktarları verilmiştir (Muluk ve diğ., 2013).



Şekil 1.3 : Türkiye’de havzalarda kişi başına düşen su potansiyeli (Muluk ve diğ., 2013).

IPPC (2007) tarafından iklimde doğal değişikliklere ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak insan faaliyetleri sonucunda oluşan değişiklikler olarak tanımlanan iklim değişikliği gerçeği de su kaynaklarının mevcudiyetini tehdit eden bir diğer temel unsurdur. İklim değişikliğinin en önemli etkilerinden bazıları yağış rejiminin değişmesi ile birlikte yaşanan; kuraklık, sel, şiddetli kasırgalar gibi aşırı hava olaylarının sıklığı ve etkisinde artış, okyanus ve deniz suyu seviyelerinde yükselme, yeraltı su kaynaklarının besleniminin azalması olarak sıralanabilmektedir.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından 2016 yılında tamamlanan İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi kapsamında ülkemizdeki nehir havzalarının yağış projeksiyonları çalışılmıştır (SYGM, 2016). Şekil 1.4’de görselleştirilen projeksiyon çıktılarına göre; 2015-2100 yılları arasında Türkiye genelinde toplam yağış miktarlarında azalma öngörülmektedir. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde, yıllık toplam yağışlarda sürekli bir artış veya azalış eğilimi gözlenmemekle birlikte, değişimler bölgesel ve mevsimsel olarak farklılık göstermektedir. Özellikle Güneydoğu ve Doğu bölgelerinde negatif yağış anomalileri dikkat çekmektedir. Karadeniz’in doğusunda ise ortalama yağışlarda ve ekstrem yağış olaylarında 150 mm'ye kadar artışlar beklenmektedir. Mevsimsel olarak, en belirgin azalmaların kış mevsimi yağışlarında gerçekleşeceği öngörülmektedir.



Şekil 1.4 : Toplam yağış anomalisi değerlerinin MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosu için 10'ar yıllık dönemlerde ve mevsimsel değişimi (SYGM, 2016).

Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme suya olan talebi artırırken aynı zamanda iklim değişikliği etkilerini de arttırmakta su kaynaklarını miktar ve kalite açısından baskıya maruz bırakmaktadır. Ülkemizde su kaynakları ilerleyen süreçte iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine maruz kalacak olup; su kullanan, suya bağlı olan pek çok sektör de doğrudan ve dolaylı olarak iklim değişikliğinden etkilenecektir. İklim değişikliği etkilerinin kısa vadede engellenemeyeceği gerçeği, iklim değişikliğine uyum faaliyetlerinin önemini artırmıştır. Küresel ölçekten kent ölçeğine kadar tüm sistemlerin değişen iklime uyum sağlaması ve dirençli hale gelmesi sürdürülebilir bir gelecek için en önemli adımlardan biridir. AB Yeşil Mutabakat (YM) Politikası kapsamında iklim değişikliğine uyumun en önemli stratejisi olarak tanımlanan "Döngüsel Ekonomi "ye geçişte "suyun döngüselliğinin" sağlanması zorunlu hale gelmiştir (EC, 2019).

İklim değişikliğine uyum stratejileri olarak kentsel doğa temelli çözümler ve yeşil altyapı olarak tatmin edici uygulamalar olarak görülen yağmur suyu hasadı (YSH) (Ghaffarian Hoseini ve diğ., 2016; Merville-Screve ve diğ., 2016; Campisano ve diğ., 2017; Musayev ve diğ., 2018), grisuyun yeniden kullanımı (GSK) (Vuppaladadiyam ve diğ., 2019; Elhegazy ve Eid, 2020; Anuja ve diğ., 2021; Khajvand ve diğ., 2022), arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı (AAYK) (Angelakis ve Bontoux, 2001; Mizyed, 2013; Ofori ve diğ., 2021) ve deniz suyunun tuzdan arındırılması Navarro, 2018; Zhu ve diğ., 2019; Pistocchi ve diğ., 2020) yaygın alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Su kaynaklarının mevcut potansiyelinin ve kalitesinin korunumunun sağlanması için söz konusu bu alternatif su kaynaklarına yönelim tüm dünyada, özellikle su kıtlığı ve stresi yaşayan ülkelerde hızlandırılmıştır.

Bu alternatifler arasında bilinen en eski teknoloji yağmur suyunu hasat ederek yağışın sarnıçlarda depolanması ve daha sonra içme, yemek pişirme dahil birçok evsel ihtiyaç için yeniden kullanılmasıdır (Okhravi ve diğ., 2016; Poff ve diğ., 2016).

Grisu, evsel atık suların septik/tuvalet suyu hariç olan kısmını ifade eder ve evsel atıksu deşarjlarının daha az kirli olan bölümünü oluşturur. Bu su kaynağı, toplandığı binanın içinde kolaylıkla arıtılabilir ve özellikle evsel su kullanımının yaklaşık %25-30'unu oluşturan sifon suyu için tekrar kullanılabilir (Jorgensen ve diğ., 2009; Muthukumaran ve diğ., 2011; Gross ve diğ., 2015; Bergel ve diğ., 2016; Ghunmi ve Eslamian, 2016). Ayrıca, grisu kaynağı iç ortam temizliğinde, çamaşır suyu olarak

veya dış mekan uygulamaları için bahçe sulama ve araç yıkama gibi amaçlarla kullanılabilir.

Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı yöntemi, günümüzün ileri atıksu arıtma teknolojisi sayesinde yeniden kullanılmak üzere daha kaliteli atıksular geliştirilmesiyle yaygınlaşmış durumdadır. Ancak bu sular insan sağlığı riskleri nedeniyle çoğunlukla tarımsal sulamada kullanılmaktadır.

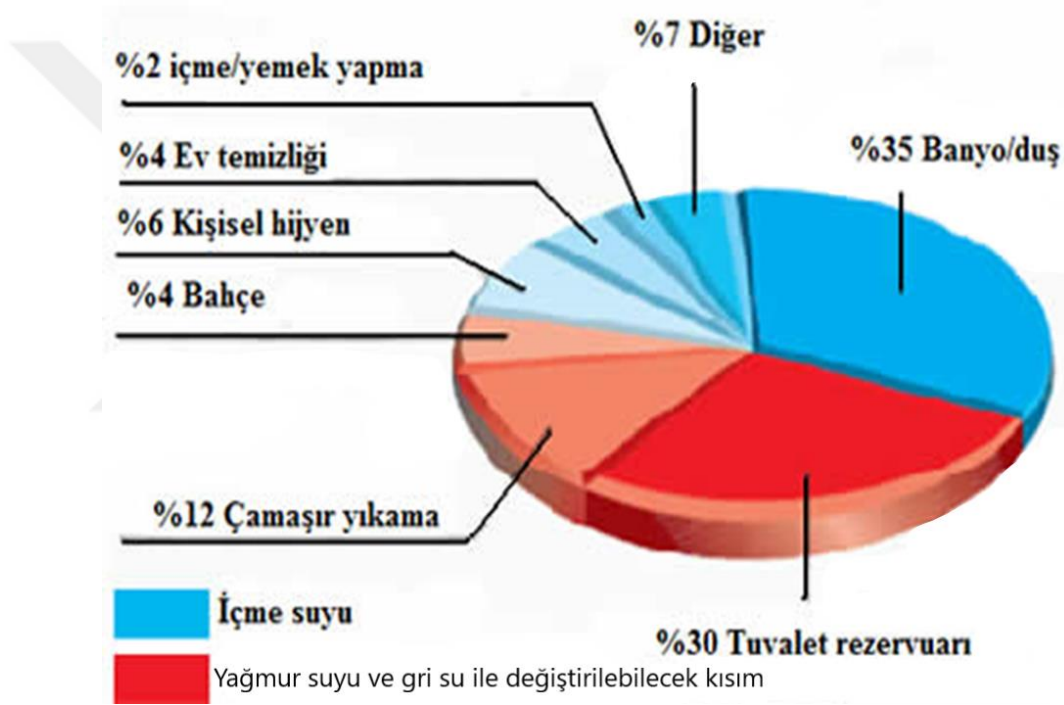
Deniz suyunun tuzdan arındırılması işlemi, içme, sulama ve kullanım amaçlı su elde etmek için suda bulunan tuzu, mineralleri ve diğer safsızlıkları giderir. Kıyı ve ada bölgelerine uygulanabilir ve su kalitesi insan sağlığı için kontrol edilebilecek bir yöntemdir.

Alternatif su kaynaklarına yönelim, özellikle kentsel bazlı olarak değerlendirildiğinde iklim değişikliğine uyum çabaları kapsamında oldukça önemli bir çözüm yöntemidir. Gelecek yıllarda su stresi ve kıtlığı önde gelen çevre sorunları arasında yer alacağından, su tüketimine ilişkin sürdürülebilir çözüm yollarının günümüze nazaran daha fazla ilgi görecektir. Şekil 1.5 ile görülen BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden (SKH) No: 6 (temiz su ve sanitasyon), No: 11 (sürdürülebilir şehirler ve toplumlar), No: 12 (sorumlu tüketim ve üretim) ve No: 13'ün (iklim eylemi) bu konuya odaklanması su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine kamuoyunun ilgisini daha da artırmış durumdadır.



Şekil 1.5 : SKH'lerinden 6, 11, 12 ve 13 no'lu hedef tanıtımları. (SDG Map Türkiye, 2022)'den uyarlanmıştır.

Eski çağlardan beri kullanılan bir teknoloji olan suyun yeniden kullanımı; günümüzde de tatlısu kaynaklarının azalmasından dolayı tüm dünyada ilgi görmeye başlamıştır (Angelakis ve diğ., 2018). Suyun yeniden kullanımının mantığını destekleyen bir diğer husus; yüksek su kalitesi gerektirmeyen kullanım alanları için kullanım amacına uygun kalitede su kullanmak ve enerji israfından kaçınmaktır. Şekil 1.6’da verilen evsel su kullanımı alanlarının bileşenlerine baktığımızda; evsel su kullanımının en az %34’ünün (%30 sifon suyu, %4 bahçe sulama) içilebilir kalitede su gerektirmediği görülmektedir. Bununla birlikte, evsel su kullanımının %16’sına karşılık gelen çamaşırhaneler ve temizlik işlerinde de, arıtma ihtiyacı ve gerekli su kalitesi sağlanarak, grisu/yağmur suyu tercih edilebilir (Tanık, 2021).



Şekil 1.6 : Tipik bir hane için evsel su kullanımının dağılımı (Tanık, 2021).

GSK ve YSH yoluyla evsel tüketim yaklaşık %50 oranlarına kadar azaltılarak yüksek su tasarrufu sağlanabilir (EPA, 2017; Vieira ve diğ., 2017). Bu alternatif kullanımlar, Novotny (2013) ve Eslamian (2016) tarafından da vurgulandığı üzere, iklim değişikliğinin mevcut su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle daha da uygulanabilir ve dikkat çekici hale gelmiştir.

Gelişmekte olan ülkelerde, hızlı kentleşme zamanla bir dizi karmaşıklıkla beraberinde getirmiştir. İlerleyen dönemlerde, iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte kentleşmenin artması beklenmekte ve bu durum sürdürülebilir yönetim stratejilerinin özellikle su

kullanımını içerecek şekilde hızla benimsenmesini gerektirecektir. Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından, Şubat 2022 tarihinde ülkenin iklim değişikliği ile mücadele yol haritası belirlemek amacıyla "İklim Şurası" düzenlemiştir. İklim Şurası sonuç bildirgesinde belirtilen önemli eylemlerden ikisi aşağıdaki gibidir (Url-1):

- Binalarda su verimliliğine ilişkin mevzuat oluşturulmalı, GSK teşvik edilmeli, yağmur suyu kullanımı ve sıfır atık sisteminin kurulması zorunlu hale getirilmelidir.
- YSH ve GSK yaygınlaştırılmalı, bu amaçla yol gösterici mevzuat geliştirilmelidir. Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksular yeniden kullanılmalıdır.

1.2 Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışması, iklim değişikliğine uyum kapsamında önemli uygulamalar olan YSH ve GSK sistemlerinin tasarımına ve uygulanmasına ilişkin bilgilerin açık bir şekilde anlatılmasıyla ve örnekler üzerinde fizibilite analizlerinin verilmesi ile kullanıcılara yol gösterilmesini hedeflemektedir.

Türkiye'nin önemli turizm kentlerinden olan İzmir ve Antalya illerinde bulunan birer otel (2 adet), konut, sanayi tesisi, hastane ve alışveriş merkezi olmak üzere 6 farklı bina tipolojisi için YSH ve GSK sistemlerinin fayda-maliyet analizleri tezin ana gövdesini oluşturmaktadır.

Tasarım kriterlerine ve binaların tesisat planlarına dayanarak gerçekçi varsayımlara dayalı olarak yapılan hesaplamalar, amortisman süreleriyle birlikte yatırım ve işletme maliyetlerinin ayrıntılı olarak hazırlanmasını sağlamıştır. Gerçek vakalar üzerinde yürütülen bu çalışma, dünyanın farklı bölgelerinde suyun yeniden kullanımı ile ilgili benzer çabalarla ilgilenen diğer bilim insanları ve uygulayıcılar tarafından takip edilebilecek kapsamlı örnekler ortaya koymuştur.

Bu çalışmanın amaçları şunlardır:

- (1) İklim değişikliğine uyum faaliyetleri kapsamında uygun görülen YSH ve GSK sistemlerinin yöntem, su kalitesi, çevresel-sosyal ve ekonomik etkileri, yerel ve ulusal mevzuat ve teşvik mekanizmaları açısından incelenmesi,
- (2) YSH ve GSK sistemlerinin gerçek uygulama tasarımlarının ve fayda-maliyet analizlerinin çalışılması,

- (3) Farklı bina tipolojilerinde YSH ve GSK sistemlerinin su tasarrufu ve ekonomik kazanım potansiyellerinin değerlendirilmesi, sistemlerin uygulanabilirliğinin karşılaştırılması ve öneriler sunulması,
- (4) Yağmur suyu ve grisu sistemlerinin tesisat tasarımına ilişkin teknik detayların verilmesi,
- (5) YSH ve GSK sistemlerinin sürdürülebilir işletiminin sağlanması ve iyileştirilmesi için işletme esaslarına dayalı öneriler geliştirilmesi.





2. ALTERNATİF SU KAYNAKLARI SİSTEMLERİ

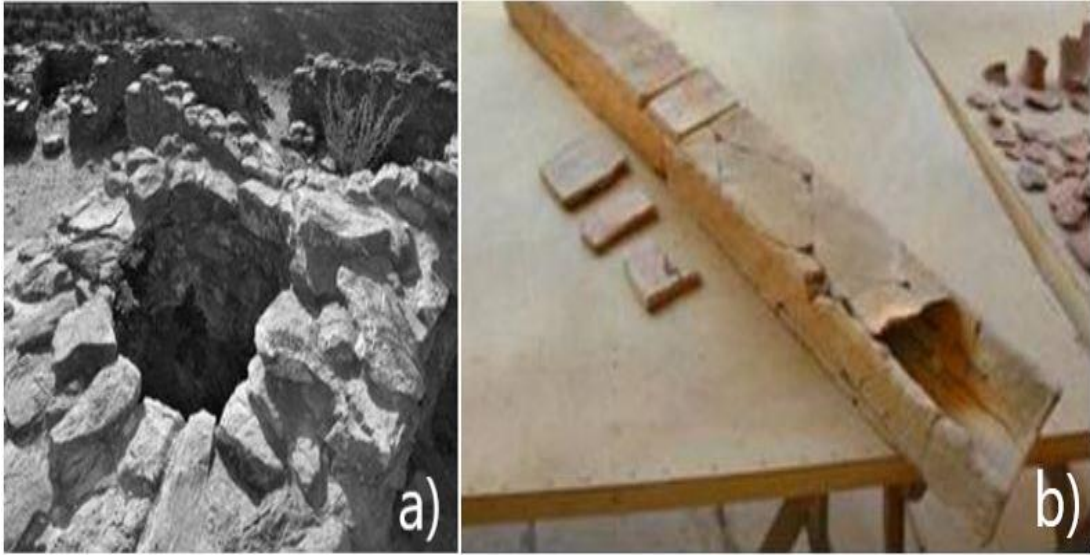
2.1 Yağmur Suyu Hasadı (YSH)

2.1.1 Tarihçe

Yağmur suyunun toplanarak biriktirilmesi, ilk uygarlıklardan bu yana, kurak ve yarı kurak bölgelerde yaşayan insanların suya erişiminin sağlanması adına kullanılan yaygın ve önemli bir yöntem olmuştur (Angelakis ve diğ., 2018; Al-Batsh ve diğ., 2019).

Tarih öncesi dönemlerden bu yana yaşayan insanların evsel ve tarımsal su ihtiyaçlarını yağmur suyunu düşük geçirgenliğe sahip topraklarda veya kayalardaki boşluklarda toplayıp depolama yöntemi sayesinde karşıladıklarını kanıtlayan birçok arkeolojik bulgu bulunmaktadır (Yannopoulos ve diğ., 2019). Bu konunun en iyi örneklerinden biri; Neolitik Çağda, Toros Dağları'nın güneyinde, batıda Akdeniz, güneyde Arap Çölü ve doğuda Mezopotamya ile sınırlanan geniş bir alanı ifade eden Levant Bölgesi'nde evlerin zeminlerine inşa edilen su geçirmez kireç sıvalı sarnıçlardır. Bu sarnıç sistemlerinin yamaçlardan, açık bahçelerden ve çatılardan akışa geçen yağışların toplanması ve böylece evsel su ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla kurulduğu bilinmektedir (Mays ve diğ., 2013).

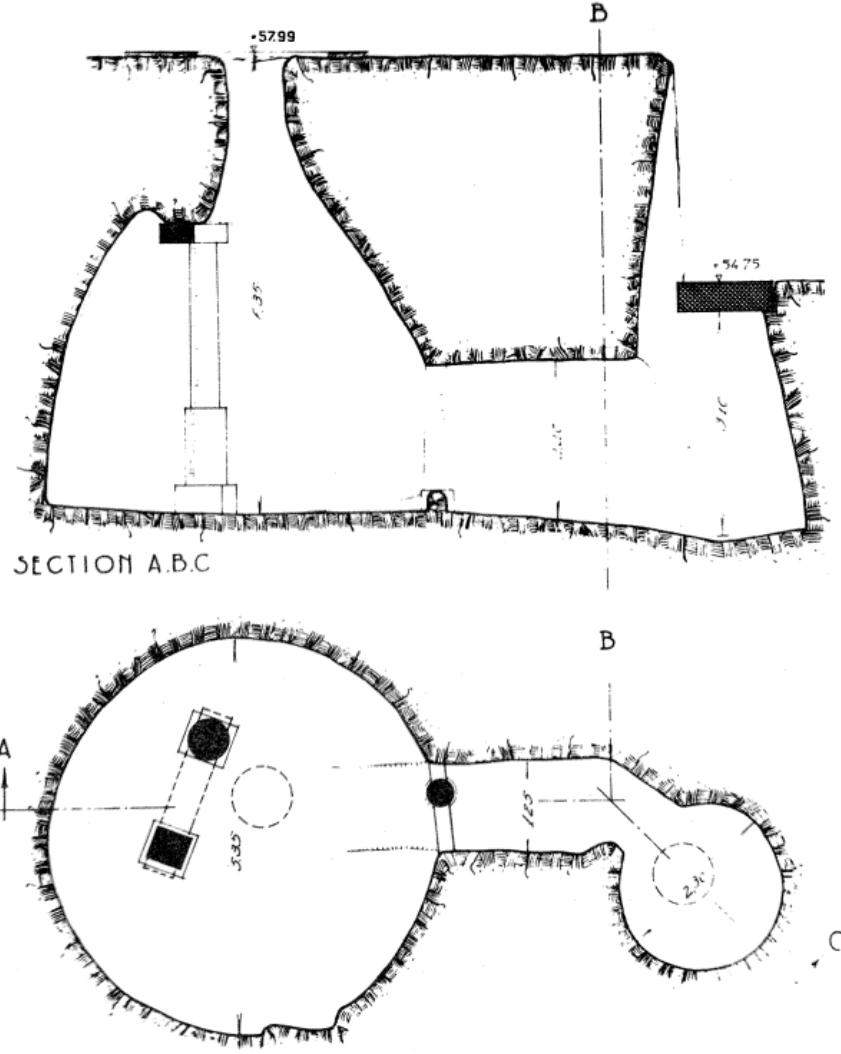
Ege Denizi'nde bulunan bugünkü Girit Adası'nda hüküm sürmüş bir uygarlık olan Minos Medeniyeti, geç Neolitik dönemden beri, su temini için yüzey suyu depolama teknolojisi açısından oldukça gelişmiştir. En erken Minos sarnıçlarından biri olan ev kompleksi şeklinde oluşturulan sarnıç Şekil 2.1 (a) ile gösterilmektedir. Minoslular, ayrıca Şekil 2.1 (b)'de gösterildiği gibi yağmur suyunu toplamak için pişmiş toprak borulardan oluşturdukları kanallar sayesinde ağ sistemi geliştirmişlerdir (Mays ve diğ., 2013).



Şekil 2.1 : (a) Chamaizi civarından M.Ö. 3000 yılında inşa edilen Minos su sarnıcı
(b) M.Ö.1700 Minos yağmur suyu toplama sisteminde kullanılan pişmiş toprak kanallar (Mays ve diğ., 2013).

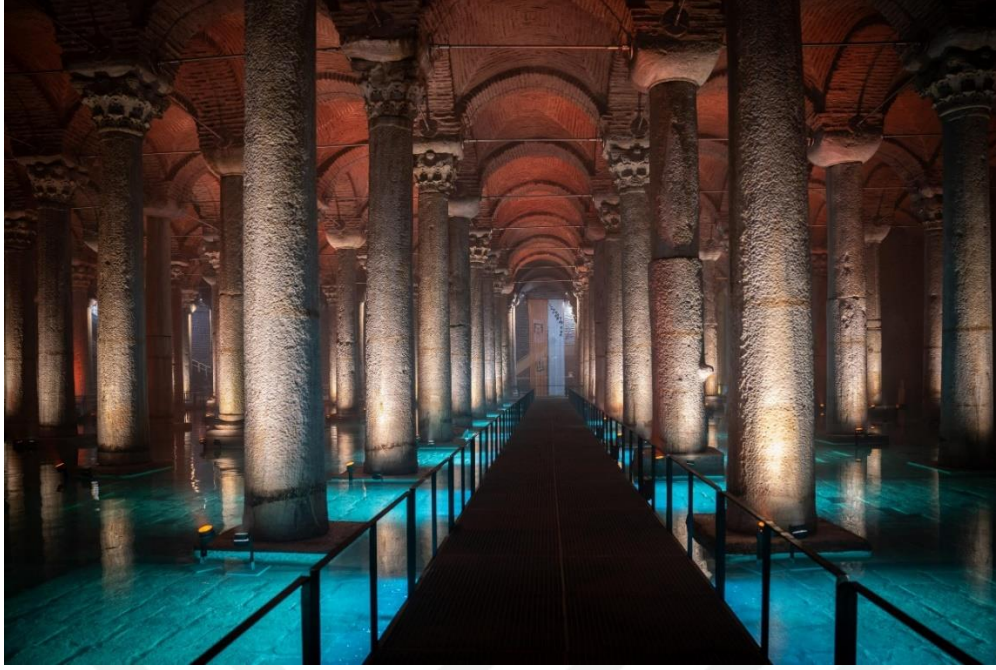
Minosluların ve yine aynı topraklarda M.Ö. 1600-1100 arasında yaşamış olan Miken Uygarlığının inşa ettikleri sarnıçlar, bentler ve kanallar Arkaik (MÖ 800-479), Klasik (MÖ 478-323), Helenistik (MÖ 323-30) ve Roma (MÖ 30-MS 330) dönemlerinde örnek alınarak geliştirilmiştir (Yannopoulos ve diğ., 2019).

Geliştirilen sistemlere, Atina Agorası'ndaki kazı çalışmalarında keşfedilen ve Helenistik dönem yapılarından olan Mağara Sarnıcı sistemi örnek olarak verilebilir. Şekil 2.2' de plan ve kesit görüntüleri verilen sistem, yaklaşık 3,75 m uzunluğunda, zemin seviyelerine yakın bir tünelle birbirine bağlanan şişe biçimli iki su geçirmez odadan oluşmaktadır (Rotroff, 1983). Yağışlı dönemlerde yaşanabilen taşmaların azaltılması ve daha fazla su depolanması için kapasite artırmaya yönelik yapılan bu sistem, canlı kayalara oyulmuş ve su sızmasının engellenmesi amacıyla sıva ile kaplanmıştır (Yannopoulos ve diğ., 2016).



Şekil 2.2 : Mağara sarnıcı sisteminin planı ve kesiti (Rotroff, 1983).

Daha ileri tarihlere gittiğimizde Roma İmparatorluğu döneminde de yağmur suyunun toplanıp depolanması ve sevkine ilişkin günümüzde hala etkinliğini sürdüren birçok mühendislik tasarımları geliştirilmiştir. Doğu Roma İmparatoru I. Justinianus (527-565) tarafından yaptırılan, İstanbul Fatih ilçesinde yeralan “Yerebatan Sarnıcı” dönemin su hasadı yapılarına en önemli örnektir. 80.000 ton su depolama kapasitesine sahip, dikdörtgen biçimli ve kapalı sarnıç, suyollarından ve yağmurdan elde edilen suyu, imparatorların ikamet ettiği Büyük Saray ve çevresindeki yapılara dağıtarak yüzlerce yıl şehre su temini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Yerebatan Sarnıcı’nın günümüzden bir görseli Şekil 2.3 ile verilmiştir (Url-2).



Şekil 2.3 : Yerebatan Sarnıcı (Url-2).

Milattan öncesine dayanan ve farklı tarihlerde geliştirilen YSH yapıları günümüzde birçok ülkede etkisini devam ettirmekte ve aktif olarak kullanılmaktadır. Tarih öncesine dayanan bu yöntem, 19.yüzyılın sonunda 20.yüzyılın başında gelişmeye başlayan su teknolojisi ile birlikte geliştirilmeye devam etmiş ve yeni teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır.

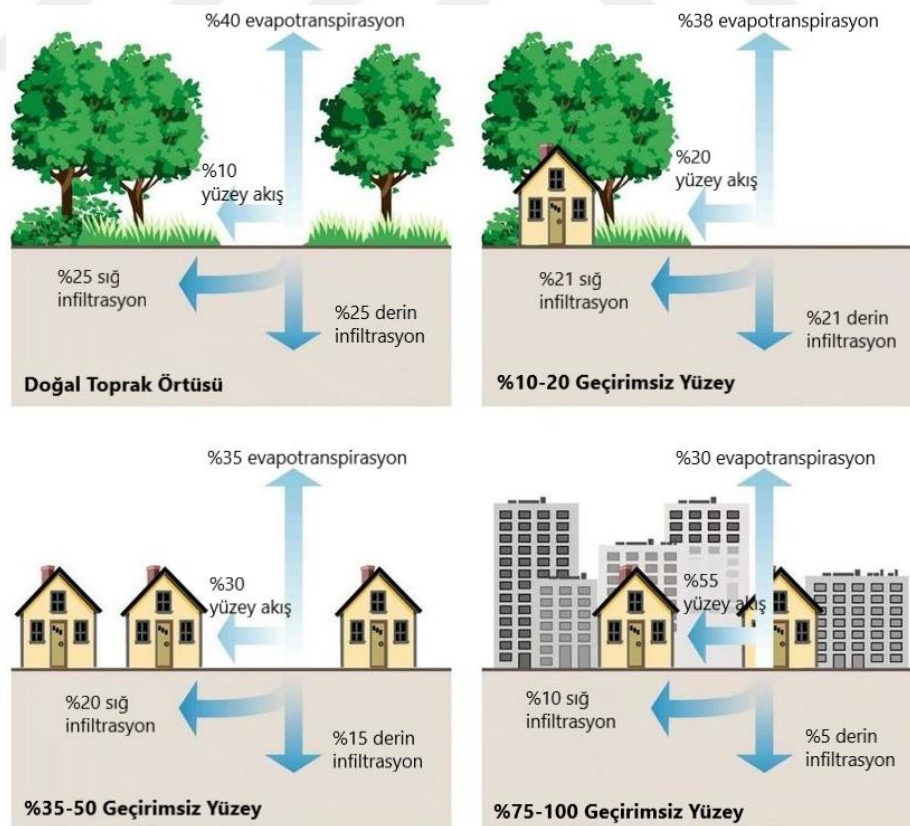
2.1.2 Tanım ve terminoloji

Yağmur hidrolojik döngüde yer alan birincil su kaynağı iken; nehirler, göller ve yeraltı suları ikincil su kaynaklarıdır. Su ihtiyaçlarının karşılanması için ikincil kaynaklara olan bağımlılık artarken, yağmurun tüm ikincil su kaynaklarını besleyen nihai kaynak olduğu gerçeği unutulmaktadır (CSE, 2003). YSH, uzak su kaynaklarına bağımlı olmadan yağmurun düştüğü yerde tutularak optimum şekilde kullanılmasını sağlayan etkin bir su yönetimi modelidir (UN-HABITAT, 2005; WWF-Türkiye, 2020). Tokuş ve Özdemir'e (2017) göre, “Yağmur hasadı, yağmur suyunun tutularak yeryüzünde ve/veya yer altında, toprakta ve/ veya depolarda biriktirilmesi yöntemi” olarak tanımlanmaktadır.

Doğal su döngüsü, yağış, buharlaşma, terleme, süzülme ve yüzey akışı arasında bir denge oluşturarak devam etmektedir. Yağışın bir kısmı bitkiler tarafından emilip toprağa sızarken bir kısmı da terleme yoluyla atmosfere geri salınır. Dünyaya ulaşan yağmur suları, su ve besin sağlayarak doğanın kendini yenilemesini, döngünün

devamını ve hayatın sürekliliğini destekler. Ancak kentleşme, ormansızlaşma ve turizm faaliyetleri vb. durumlar doğal toprak örtüsünün yapısını değiştirmekte ve doğadaki su döngüsünü olumsuz etkilemektedir (Tokuş ve Özdemir, 2017).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Kent-Kır Nüfus İstatistikleri'ne (TÜİK, 2022a) göre Türkiye nüfusunun %67,9'u yoğun kent olarak sınıflandırılan yerleşim yerlerinde, %14,8'i orta yoğun kent olarak sınıflandırılan yerleşim yerlerinde ikamet etmektedir. Kent nüfusunun ve kentleşme oranının artması ile birlikte geçirimsiz alanların kapladığı alanlar artmaktadır. Şekil 2.4'de görüldüğü üzere beton yüzeylerin alanları arttıkça yağmur olarak düşen suların toprağa sızması zorlaşmakta ve yüzey akışı %10 civarından %55'e kadar çıkmaktadır (Jha ve diğ., 2011). Kentlerden yüzey akışa geçen yağmur suları, mevcut ise yağmur suyu kanalına yoksa kanalizasyon sistemlerine gitmektedir. Bu durum, yağışlı günlerde kentlerin atıksu arıtma tesislerinin debi yükünü birden artırmakta ve çeşitli işletimsel problemlere yol açmaktadır. İlaveten yüzey akışa geçen yağış suyu, geçirimsiz yüzeylerden topladığı kirlilik yüklerini beraberinde taşıyarak nehir, göl ve deniz gibi su kaynaklarının kalitesini tehdit etmektedir.



Şekil 2.4 : Artan kentleşme ile su döngüsündeki değişim. (Jha ve diğ., 2011)'den uyarlanmıştır.

YSH ile yağışların geçirimsiz yüzeylerden akışa geçmesi engellenerek toprağa sızdırılması, yeraltı suyuna beslenmesi veya yeniden kullanılmak üzere depolanması mümkündür. Bu yönleriyle YSH yöntemi, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından oluşturulan 2007 tarihli 4. Değerlendirme Raporu'nda iklim değişikliğine uyum kapsamında yaygınlaştırılması gereken bir yöntem olarak önerilmiştir (IPCC, 2007).

"YSH" terimi, daha kapsamlı bir kavram olan "su hasadı" teriminden türetilmiştir. Genel olarak, "su hasadı" terimi, çeşitli kaynaklardan (yağmur veya çiy gibi) gelen su akışlarının toplanması, depolanması ve arıtılması ile çeşitli amaçlar için kullanımını içeren genel bir kavramı ifade eder (Yannopoulos ve diğ., 2019; Haut ve diğ., 2019). Günümüzde "YSH" tanımı, evsel, tarımsal veya endüstriyel gibi çeşitli amaçlarda kullanılması için yağmur suyu akışının insan eliyle müdahalesini ifade etmektedir.

YSH sistemleri kolay yönetimi sayesinde günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. YSH sistemleri temelde basit ve uygulanabilir teknolojilere dayanmaktadır. Kolay kurulum, düşük enerji gereksinimi ve ucuz bakım gibi faktörler, kentsel ve kırsal sakinlerin YSH sistemlerini kurmaları için motivasyon sağlamaktadır.

Yağmur suyunun geçirimsiz yüzeylerden tutulması yağışlı dönemlerde yaşanabilen sel ve erozyon risklerini azaltmaktadır. Kentlerde ve kırsal alanlarda yağış suyu yönetim stratejilerine entegre edilmesiyle yağmur suyu akışının kontrolü sağlanır ve sel baskınlarını, erozyon risklerini azaltır. Ayrıca, akışa geçen yağış suları ile beraber taşınan kirlilik yüklerinin nehir, göl, dere gibi su kaynaklarına girişini engelleyerek su kaynaklarının kalitesinin korunumuna yardımcı olur.

YSH bireylerin şebeke suyuna bağımlılığını azaltır ve şebeke suyu kullanımından azaltım sağlayarak bireylerin su faturalarından tasarruf etmelerine yardımcı olur. Bireysel ölçeğin yanı sıra tüm toplumda şebeke ve genel su idaresi hizmetlerinin maliyetini önemli ölçüde azaltabilir. Yağışlı günlerde kanalizasyona giden yüzey akışının atıksu arıtma tesislerinin debisini artırmasıyla yaşanabilecek işletimsel problemlerin önüne geçilir. Bir toplulukta kayda değer bir nüfusun YSH sistemini kullanmasıyla, yağmur suyunun tahliyesi için tasarlanan yağmur suyu kanallarına olan gereksinim azalır (Kagabika ve Kankuyu, 2021).

YSH uygulamalarında, binanın çatısına düşen suya herhangi bir taşıma maliyeti olmaksızın erişilebilmektedir ve yağmur suyu kullanımı ücretsiz, yatırım maliyeti ise

düşüktür. Çatı, insan müdahalesinden arındırılmış yüzeysel bir ortamdır. Bu nedenle çatı yüzeyi dışında çok fazla kirlilik kaynağı bulunmamaktadır. Tokuş ve Özdemir (2017)'nin belirttiği üzere; yağmur suyu, kalsiyum, magnezyum, karbonat gibi sertlik yapan iyonları içermediği için çamaşır yıkama ve yemek pişirme için kaliteli bir su yapısına sahiptir. Doğal tatlısular içinde en az tuz oranına sahip sudur ve bu nedenle bitkiler için çok faydalıdır (Lancaster, 2008).

Bu nedenlerden dolayı, sürdürülebilir su güvenliği için entegre su yönetimi yaklaşımının bir parçası olarak YSH sistemi oldukça verimli bir uygulamadır.

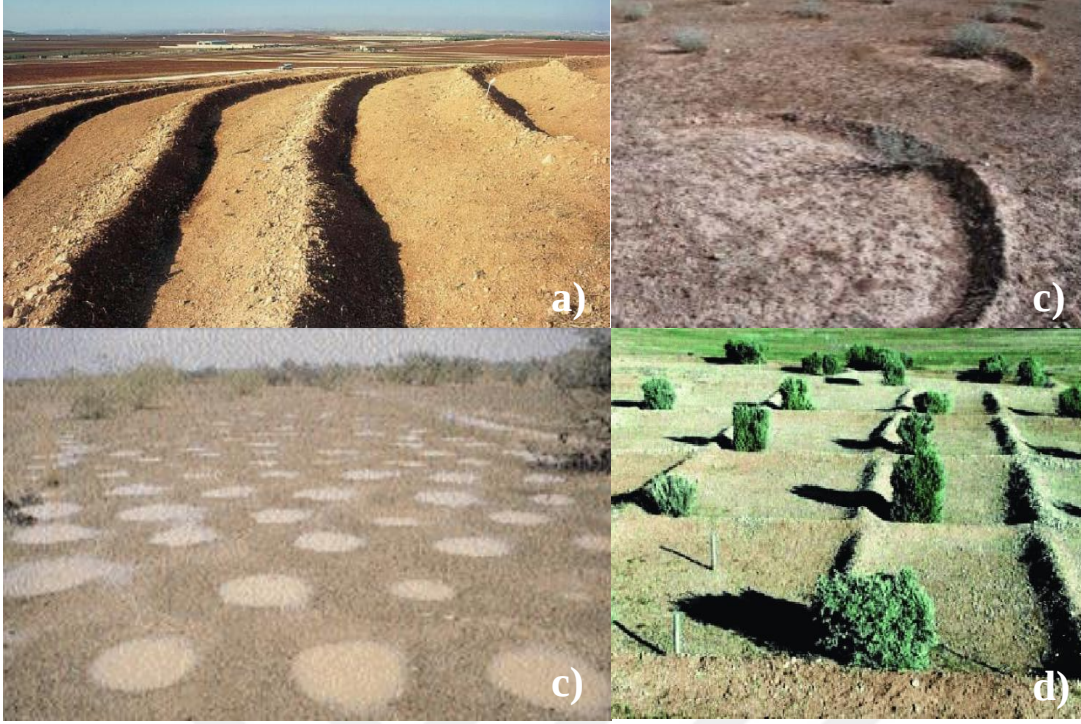
2.1.3 Yağmur suyu tutma yöntemleri

YSH, tarımsal ve kentsel olmak üzere farklı kullanım amaçları için uygulanabilmekte; kullanım alanı, toplama havzası alanı, toplama havzası büyüklüğü gibi özelliklere göre sınıflandırılabilir.

YSH teknikleri, su tutma/toplama havzasının büyüklüğüne göre makro ve mikro su toplama yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır (Oweis ve diğ., 2001). Pamuk ve Akkuzu (2008)'in belirttiğine göre ise su hasadı teknikleri 4 ayrı grup ile sınıflandırılmaktadır:

- Mikro Havza Su Hasadı
- Makro Havza Su Hasadı
- Taşkın Hasadı
- Çatı Yüzeyinden Su Hasadı

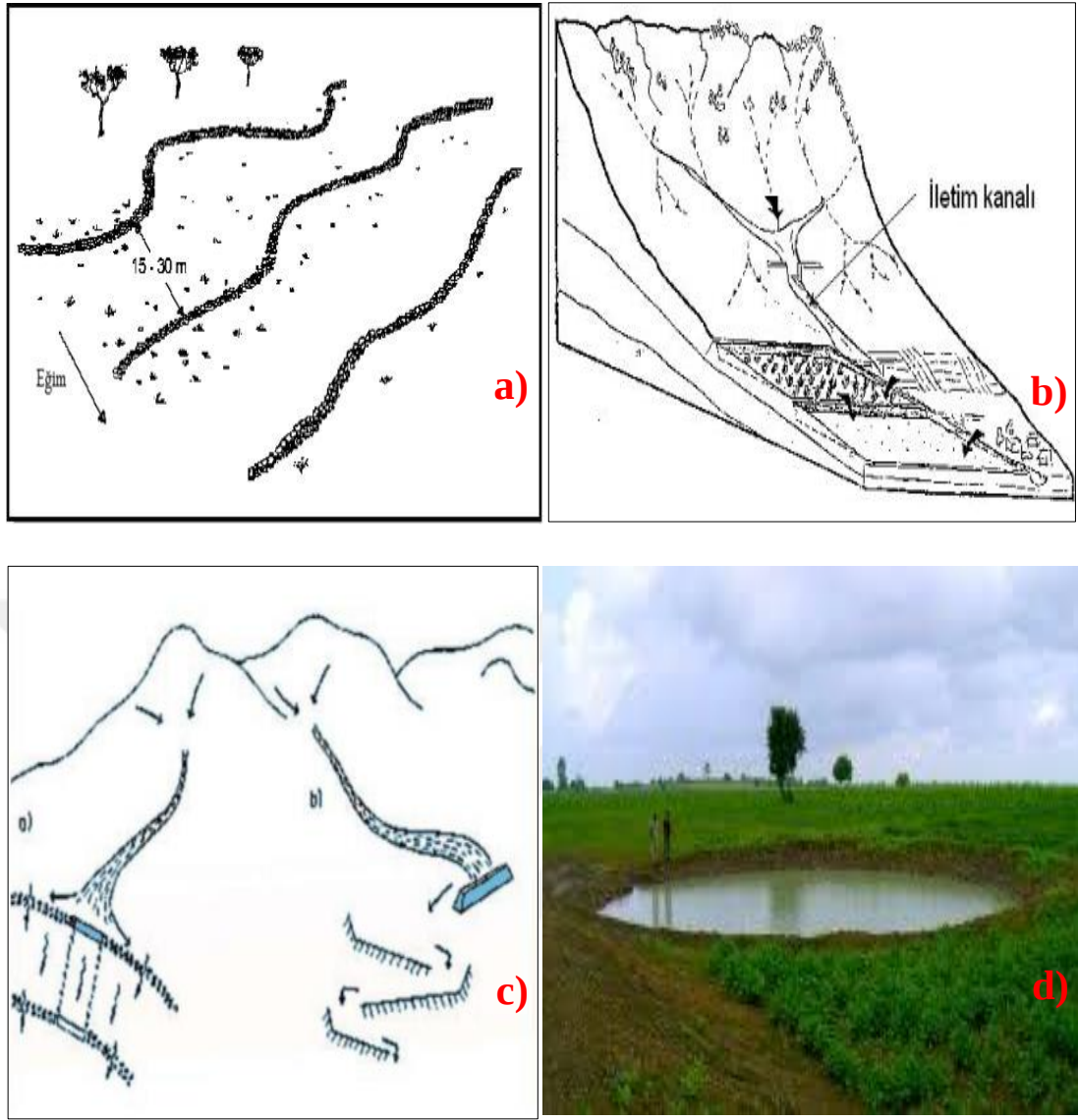
Mikro su toplama yöntemleri, su tutma havzasının yüzey alanının 1000 m²'den küçük olduğu su tutma yüzeyinde oluşan akışın toplandığı sistemlerdir. Tarımsal mikro su tutma yöntemlerinde yüzey akış suyu, doğrudan bitki kök bölgesine iletilerek ya da küçük hacimli depolarda biriktirilerek sulama suyu ihtiyacının karşılanması ve yağış suyunun kullanım veriminin yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Kentsel alanlarda uygulanan küçük ölçekli yağmur suyu toplama yöntemleri de mikro su toplama yöntemleri sınıfında değerlendirilir (Oweis ve diğ., 2001; Pamuk ve Akkuzu, 2008). Eş yükselti sırtları, yarı dairesel seddeler, küçük çukurlar, negarim, yüzey akış şeritleri, sıra arası sistemleri, meskat, eş yükseltili teraslar en bilinen mikro su toplama yöntemlerindendir (Şekil 2.5) (Oweis ve diğ., 2001; Pradhan ve Jayaprakash, 2019).



Şekil 2.5 : Mikro su toplama yöntemleri; a) Eş yükselti sırtları, b) Yarı dairesel seddeler, c) Küçük çukurlar (zay sistem), (Oweis ve diğ., 2001), d) Negarim (Pradhan ve Jayaprakash, 2019).

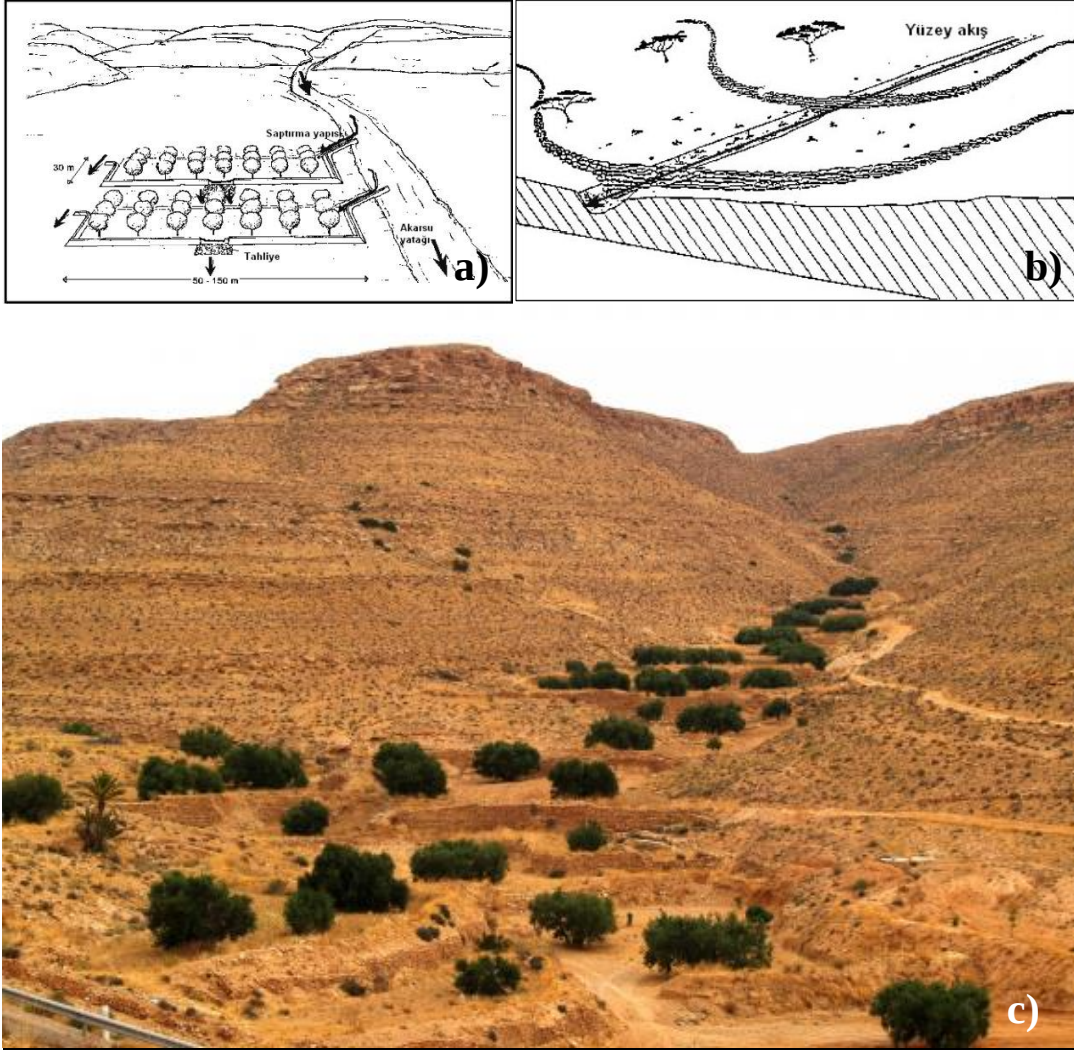
Makro su toplama sistemleri, genellikle geniş bir havzadan biriktirilen su akışına sahip olan sistemlerdir. Bu havzalar genellikle doğal meralar, bozkırlar veya dağlık alanlar gibi geniş alanlardır. Bu tür su toplama uygulamaları genellikle tarımsal amaçlar için kullanılır ve havzalar çoğunlukla bireysel çiftçilerin kontrol etmedikleri veya kontrol etmekte zorlandıkları çiftlik sınırları dışında bulunur. Makro su toplama yöntemleri, hedef alanın konumuna göre vadi yatağı sistemleri ve vadi dışı sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır (Oweis ve diğ., 2001).

Vadi yataklı sistem, tipik olarak su akışını vadi yatağı boyunca engelleyerek yüzeyde depolama yöntemini benimser. Bu tür sistemlere örnek olarak küçük çiftlik rezervuarları, göletler, vadi yatağı tarımı ve teraslamalar gösterilebilir. Vadi dışı sistemlerde ise toplanan yağmur suyu, vadi yatağının dışına yönlendirilir. Vadi suyunun doğal seyrini değiştirip yakındaki tarım alanlarına ulaşması için çeşitli yapılar kullanılabilir. Geniş seddeler, yamaç kanal sistemleri ve şehirlerin su ihtiyacını karşılamada kullanılan sarnıçlar bu sistemlere örnektir (Oweis ve diğ., 2001). Küçük çiftlik göletleri, vadi tabanı tarımı, teras sistemi, su dağıtım sistemleri, havuzlar, yamaç akışlı sistemler makro su toplama yöntemleri arasında yer almaktadır (Şekil 2.6) (Pamuk ve Akkuzu, 2008; İncebel, 2012; Url-3).



Şekil 2.6 : Makro su toplama yöntemleri; a) Teras sistemi, b) Yamaç akışlı sistemler (Pamuk ve Akkuzu, 2008), c) Su dağıtım sistemleri (İncebel, 2012), d) Küçük çiftlik göletleri (Url-3).

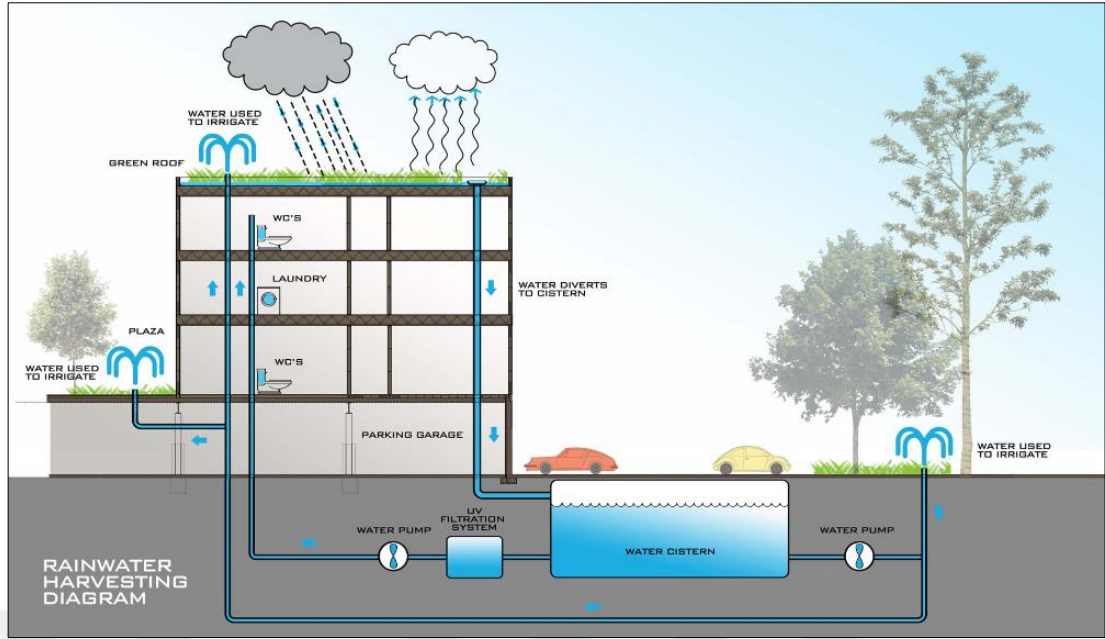
Taşkın suyu hasadı sistemleri de makro su toplama yöntemleri arasında değerlendirilen, düzensiz mevsimlik akarsu akışlarının toplanması yöntemidir. Taşkın hasadı yöntemi sayesinde yoğun ve ani yağışlar neticesinde oluşan taşkınların yol açtığı zararın azaltılması sağlanmaktadır. Ayrıca tarımsal üretim için gerekli toprak nemi ve yeraltı suyunun beslenimi sağlanır. Havuz, rezervuar ya da toprakta depolanan yağış suyunun fazlası uzaklaştırılır. Jessour sistem, akarsu yatağında suyun dağıtılması ve taşkın sularının saptırılması teknikleri bu sistemlere örnektir (Şekil 2.7) (Pamuk ve Akkuzu, 2008; Blond ve diğ., 2019).



Şekil 2.7 : Taşkın hasadı yöntemleri; a) Akarsu yatağında suyun dağıtılması, b) Taşkın sularının saptırılması (Pamuk ve Akkuzu, 2008), c) Jessour sistemi (Blond ve diğ., 2019).

Çatı üstü yağmur suyu sistemleri, evlerin veya büyük binaların çatılarından, seralardan, avlulardan ve yollar da dahil olmak üzere benzer geçirimsiz yüzeylerden yağmurun toplanarak yeniden kullanılmak üzere bir depoda biriktirilmesi işlemidir. Düzgün tasarlanan bir sistemde gerçekleşen yağışın çoğu toplanabilir.

Hasat edilen suyun nasıl ve nerede kullanılacağı, su tutma yüzey alanının türüne, temizliğine ve kullanıcıların su ihtiyaçlarına bağlıdır. Bazı durumlarda, akış suyu üzerinde toprak veya bitki kalıntıları olabilecek bir yüzeyden toplanıyorsa, depolamadan önce akışın bir çökeltme havuzu veya filtre gibi arıtmadan geçirilmesi gerekir (Pamukmengü ve Akkuzu, 2008). İlk çağlardan bu yana kullanılan çatı üstü YSH sisteminin günümüz teknolojisi ile gelişmiş kullanımı Şekil 2.8’de gösterilmektedir (Url-4).



Şekil 2.8 : Çatı YSH sistemleri (Url-4).

2.1.4 Yağmur suyu kalitesi

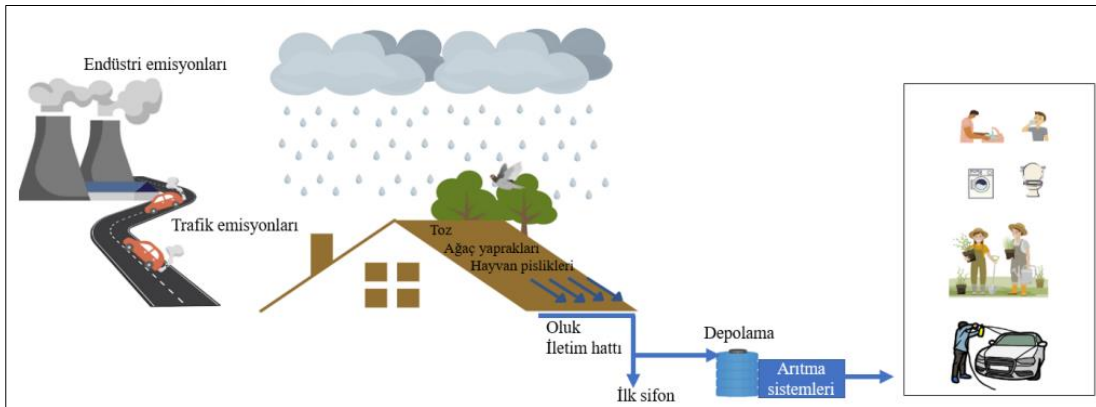
YSH uygulamalarında yağmur suyu kalitesine etki eden faktörler; hava kirliliği, atmosferik koşullar ve su tutma yüzeyinin yapısı olarak sıralanabilmektedir. Bu faktörlerin yağmur suyunda birikimi ise ıslak ve kuru birikim süreçleriyle olmaktadır. Huston ve diğ. (2011) tarafından yağmur suyu içerisindeki kirleticilerin genellikle %65'inin ıslak birikim, %35'inin ise kuru birikim kaynaklı olduğu belirtilmiştir.

Islak birikim, atmosferdeki çeşitli kirleticilerin yağmur, kar ve sis gibi hava olaylarıyla çatı ve yol gibi geçirimsiz yüzeylere ulaşması sürecidir (Shi ve diğ., 2021). Endüstrinin ve kentsel alanların yoğun olduğu bölgelerde hava kirliliğinin artmasıyla, yağmakta olan saf yağmur suyu çeşitli kirleticilere (katı madde, azot oksitler, sülfat ve ağır metal konsantrasyonlar) maruz kalmaktadır (Murphy ve diğ., 2015; Norman ve diğ., 2019). Örneğin, endüstriyel faaliyetlerin artmasıyla birlikte atmosferdeki SO_x ve NO_x gazları artış göstermekte ve bu da yağmur suyundaki NO_3^- ve SO_4^{2-} anyonlarının konsantrasyonunun artmasıyla yağmur suyunun pH'sının düşmesine sebep olmaktadır. Yağmur suyunun pH'sının 5,6'dan düşük olduğu yağışlar asit yağmuru olarak adlandırılmaktadır (Abbasi ve diğ., 2013; Majumdar ve diğ., 2022). Çöl ikliminin hâkim olduğu bölgelerde atmosferde bulunan ve alkali katyon içeren (Ca^{+2} , Mg^{+2} , NH_4^+ , Na^+ ve K^+) tozlar, partikül maddeler ise yağmur suyunun pH'sını arttırmakta ve yağmur suyu asidik karakterden uzaklaşmaktadır (Abbasi ve diğ., 2013). Buradan

hareketle, bölgelerin coğrafi konumunun ve topoğrafik yapılarının da yağmur suyu kalitesini etkilediği görülmektedir.

Kuru birikim ise atmosferdeki kirleticilerin zaman içinde rüzgâr ve yerçekimi etkisiyle çatı ve yol gibi geçirimsiz yüzeylerde birikmesi sürecidir. Ağaç yaprakları, kuş vb. hayvanların pislikleri, böcekler, kentsel ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar gibi kirlilik yükleri yağmur suyu tutma yüzeylerine birikmektedir. Uzun süre yağışsız geçen dönemlerde, su tutma yüzeyindeki kuru birikim kirliliği daha da artmaktadır (Hamilton ve diğ., 2016; Tengan ve Akoto, 2022). Bu nedenle YSH sistemi uygulanan alanlarda, uzun kurak dönemlerin ardından yağışlı dönemlere geçerken çatı yüzeylerinin temizlenmesi önerilmektedir. YSH uygulamalarında çatı yüzeyindeki kuru birikimin depoya gelmesini engellemek için kullanılan yöntemlerden biri de ilk sifondur. İlk sifon ayırıcı, yağışın ilk dakikalarında kirlilik yükü daha yüksek olan yağmur sularının ayrılması için kullanılan bir mekanizmadır. Çatı alanına ve yağışsız gün sayısına bağlı olarak ilk sifon hacmi belirlenmelidir (Campisano ve diğ., 2017; Kim ve diğ., 2021).

Şekil 2.9’da yağmur suyu kalitesine etki eden ıslak ve kuru birikimler ve yağmur suyunun farklı kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Islak ve kuru birikimin ardından YSH bileşenlerini gösterir şema (Hamidi ve diğ., 2023).

Yağmur suyunun arıtma ihtiyacı kullanılacağı alandaki su kalitesi gereksinimine göre karşılanmaktadır.

Çamaşır ve bulaşık makinesinde sert su kullanılması bu makinelerin ömürlerini kısaltmakta ve deterjan tüketimini arttırmaktadır (Struk-Sokołowska ve diğ., 2020).

Çamaşır ve bulaşık makinelerinde kullanılan suyun sert olması makine aksamında CaCO_3 çökmesine sebep olmakta ve makinelerin ömrünü kısaltmaktadır (Struk-Sokołowska ve diğ., 2020; Morales-Pinzón ve diğ., 2014). Suyun sert olmasını sağlayan kalsiyum ve magnezyum iyonlarının konsantrasyonu yağmur suyunda düşüktür. Dolayısıyla yumuşak yapıda olan yağmur suyu çamaşır yıkamak için oldukça uygundur (Campisano ve Modica, 2012).

Toplanan yağmur sularının tuvalet rezervuarlarında sifon suyu olarak yeniden kullanımında yaprak, böcek vb. maddelerin sisteme girerek sistemin tıkanmasını önlemek için basit bir filtrasyon ve/veya ilaveten klorlama yeterli görülmektedir (Campisano ve Modica, 2012).

Bu kapsamda yağmur suyu kalitesi; bölgelerin coğrafi konumu, topoğrafik yapıları, mevsim dönemleri ve su tutma yüzeyinin yapısı gibi birçok faktör ile değişiklik göstermektedir. Yağmur suyu kalite ihtiyacı ise suyun kullanılacağı alana göre değişmektedir. Ülkemizde yağmur suyunun kullanımına yönelik belirlenmiş kalite standartları bulunmamaktadır. ABD'nin Ulusal Çevre Ajansı (EPA) tarafından yayınlanmış olan rehber dokümanda, yağmur suyunun yeniden kullanımında dikkate alınması gereken parametre ve sınır değerleri Çizelge 2-1'de verilmiştir (EPA, 2010).

Çizelge 2.1 : Toplanmış yağmur suyunun yeniden kullanımında limit değerler (EPA,2010).

Parametre	Rehber Verileri		Sistem Tipi
Kullanım amacı	Basınçlı yıkama ve bahçe fiskiyeleri	Bahçe sulama ve WC rezervuar	
Escherichia Koli sayısı/100 mL	1	250	Tek bölge ve ortak ev sistemleri
Toplam koliform sayısı/100 mL			Tek bölge ve ortak ev sistemleri
Legionella sayısı/L			Risk değerlendirmesine bağlı olarak analiz gerektiğinde
Bağırsak enterokoku sayısı/100 mL			Tek bölge ve ortak ev sistemleri
Depolanmış suda çözünmüş oksijen	>10 % doyumluk veya >1 mg/L oksijen		Tüm sistemler
Askıda katı madde	Tüm kullanımlar için görsel olarak berrak ve askıda madde olmamalı		Tüm sistemler

Çizelge 2.1 (devam): Toplanmış yağmur suyunun yeniden kullanımında limit değerler (EPA,2010).

Parametre	Rehber Verileri	Sistem Tipi
Serbest klor	<0.5 mg/L bahçe sulamada <2 mg/L diğer tüm kullanımlarda	Tüm sistemler, kullanıldığı durumda
Serbest bromür	<0.5 mg/L bahçe sulamada <2 mg/L diğer tüm kullanımlarda	Tüm sistemler, kullanıldığı durumda
Renk	gözlenmemeli	Tüm sistemler
Bulanıklık	<10 NTU (UV dezenfeksiyonu için)	
pH	5-9	Tek bölge ve ortak ev sistemleri

2.1.5 Ulusal mevzuat

Ülkemizde yağmur suyu ile ilgili ilk yasal mevzuat 23.06.2017 tarihli ve 30105 sayılı Resmî Gazete ile yayımlanarak yürürlüğe giren “Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik”tir. Bu yönetmelik, halk sağlığını ve güvenliğini, çevrenin korunmasını, sistemin sürdürülebilir olmasını, içme suyu kaynaklarının suyla taşınan kirliliklerden korunmasını esas alarak yağmur suyu toplama, depolama ve deşarj sistemlerinin planlanmasına, tasarımına, projelendirilmesine, yapımına ve işletilmesine ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır. Bahsi geçen yönetmeliğin Ek 1’inde YSH sistemlerinin tasarımına ilişkin hesaplama yöntemleri ve önerileri sunulmuştur.

ÇŞİDB’nın “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği”nde 23.01.2021 tarihinde değişiklik yapılmış ve 2000 m²’den büyük parsellerde yapılacak binaların çatılarından toplanan yağmur sularının gerekmesi halinde filtre edilerek yeniden kullanılmak üzere tabii zemin altında bir depoda toplanması amacıyla “Yağmur suyu toplama sistemi” yapılması belirtilmiştir. Daha sonra 11.07.2021 tarihinde bahsi geçen yönetmeliğin kapsamının artırılması için değişiklik yapılmış; toplanan yağmur sularının bina tuvalet sifonlarında kullanılması, ihtiyaçtan fazla olan kısmının bahçe veya diğer ortak alanlarda kullanılması gerektiği ifade edilmiştir.

Bu yönetmelikte belirtilen hükümler doğrultusunda, ilgili idarelere yağmur suyu toplama sistemlerinin küçük parsellerde kurulmasını, toplama tankı hacminin hesaplanması yöntemini ve ek kullanım alanlarına ilişkin zorunlulukları belirleme

yetkisi verilmiştir. Bunun üzerine birçok büyükşehir belediyesi (BŞB) tarafından imar yönetmeliklerinde değişiklik yapılmış ve YSH sistemlerinin uygulanmasına ilişkin zorunluluklar getirilmiştir. BŞB'lerinden örnekler Çizelge 2-2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : BŞB yönetmeliklerinde YSH sistemine ilişkin yapılan değişikliklere örnekler.

Büyükşehir	Tarih	Değişiklik
İstanbul	20.05.2018	1000 m ² 'nin üzerindeki parsellerde, binaları zemin suyundan korumak, bahçe sulamak, oto yıkama vb. işlerde kullanmak üzere drenaj sistemi oluşturularak çatı ve zemin yüzeyi sularının tabii zemin altında tesis edilecek bir sarnıçta toplanmasının sağlanması belirtilmiştir.
İzmir	03.06.2021	1000 m ² 'nin üzerindeki parsellerde, bahçe sulamak, oto yıkama ve benzeri işlerde kullanılmak üzere bir drenaj sistemi oluşturularak çatı ve zemin yüzeyi sularının tabii zemin altında tesis edilecek bir sarnıçta/yağmursuyu tankında toplanması ve gerekmesi halinde arıtılarak yeniden kullanımının sağlanması gerektiği belirtilmiştir.
Bursa	17.08.2021	2.000 m ² ve üzeri parsellerde yeni yapılacak yapılarda; çatı yüzey alanlarından gelen yağmur suları, bina bünyesinde veya çekme mesafelerini ihlal etmemek kaydı ile ön, yan ve arka bahçelerde ya da bahçe zemini altında konumlandırılan yağmur suyu toplama tankında toplanması belirtilmiştir.
Ankara	04.03.2022	2000 m ² 'den büyük olan ada/parsellerde yapılan binalarda bahçe sulamalarında kullanılmak üzere yağmur suyu depolama sisteminin yapılması zorunlu hale getirilmiştir.

2.1.6 YSH sistemlerinin tasarım kriterleri

YSH için tasarlanan projelerde öncelikli olarak toplanabilir yağmur suyu miktarı ile yeniden kullanılabileceği alanın su ihtiyacının karşılaştırılması yapılmalıdır (Üstün ve diğ., 2020) Yapılan karşılaştırma ile yağmur suyunun hasadı sistem çeşidinin seçimi, yağmur suyunun kullanım alanının belirlenmesi ve buna bağlı olarak optimum sistem kapasitesinin (su deposu hacmi, borular vb.) belirlenmesi mümkündür. Bu nedenle sistemden optimum faydanın yakalanabilmesi için başlangıçta bölgeye ait yağış analizlerinin ve su kullanımlarının tespiti önemli bir adımdır.

2.1.6.1 Toplanabilir yağış miktarının analizi

Meteorolojik bilgilere göre toplanabilir yağmur suyu miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir (Kantaroğlu, 2011).

$$Vy = A \times Y \times e / 1000 \quad (2.1)$$

Vy: Toplanan yağmur suyu miktarı (m³)

A: Yağmur suyu toplama alanı (m²)

Y: Aylık veya yıllık yağış miktarı (mm)

e: Yağmur suyu toplama yüzeyinin verimlilik katsayısı

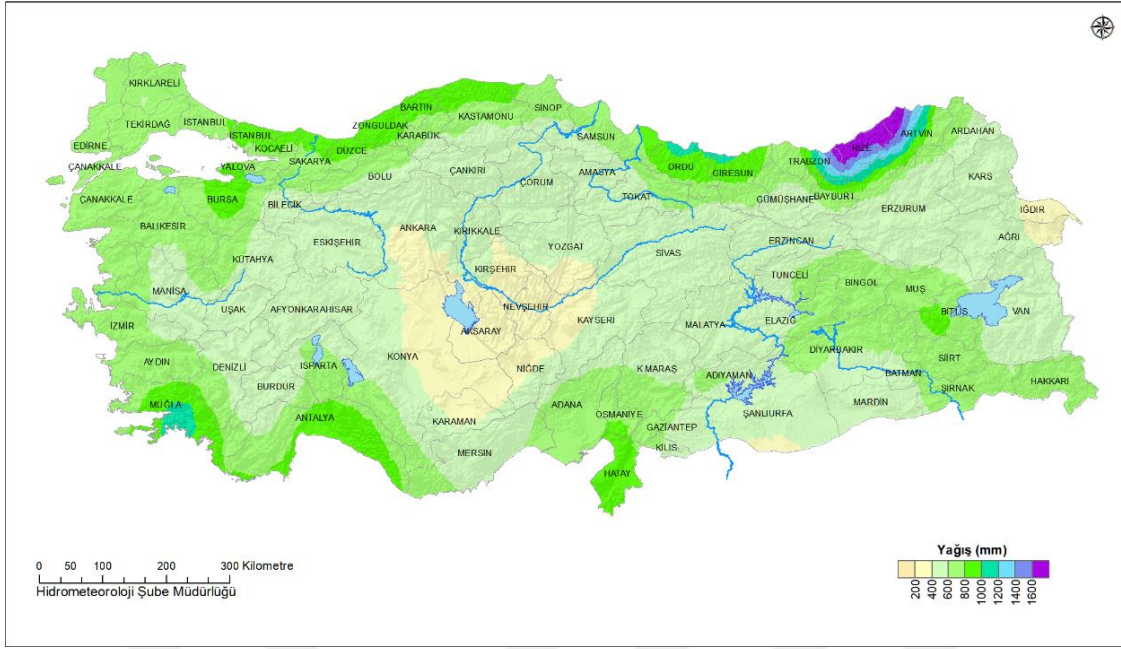
Denklem 2.1’de görüleceği üzere toplanabilir yağmur suyu miktarının hesaplanabilmesi için bölgeye düşen yağış miktarının analiz edilmesi gerekmektedir. YSH sistemlerinin tasarlanmasında yağışın alansal dağılımı ve bölgeye düşen yağış miktarı sistem tasarımında oldukça önemlidir (Doğangönül ve Doğangönül, 2009). Bölgenin aldığı yağışın aylık ve yıllık dağılımları, sıra dışı yağış istatistikleri, toplam kar ve yağış miktarları sistem seçimine ve verimine etki eden unsurlardır. Ayrıca bölgeye ait nemlilik, buharlaşma, sıcaklık ve rüzgar gibi diğer meteorolojik verilerin de incelenmesi yağmur suyu tutma yönteminin çeşidi hakkında verimlilik bilgisi kazandırabilir. Örneğin; buharlaşma oranının yüksek, yağış miktarının düşük veya aylık değişkenliğinin fazla olduğu bir alanda, gölet gibi açık yüzeyli su toplama alanları tasarlamak yerine depo/sarnıç gibi kapalı sistemleri kullanmak, ya da suyu eş yükselti/ yönlendirme hendekleriyle bitki diplerine yönlendirerek toprakta tutmak daha etkin bir yöntem olacaktır (Tokuş ve Özdemir, 2017).

Hasat edilebilir yağmur suyu miktarının hesaplanabilmesi için çalışma alanının bulunduğu en yakın Meteoroloji İstasyonuna ait yağış verilerinden yararlanılarak hesaplama yapılır (Tokuş ve Özdemir, 2017).

Ülkemizde yağışlar bölgeden bölgeye büyük farklılıklar göstermektedir (Doğangönül ve Doğangönül, 2009). Aynı il sınırları içinde yer alan farklı bölgelerde de yağış miktarı değişiklik gösterebilmektedir. İlaveten, iklim değişikliğinin yağış rejimine etkisi sonucu yağışların şiddet ve bölgesel olarak çok değiştiğini söylemek mümkündür (SYGM, 2023). Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından 1991-2020 yılları arası istasyonlardan noktasal olarak ölçülen yağış verilerinin alansal

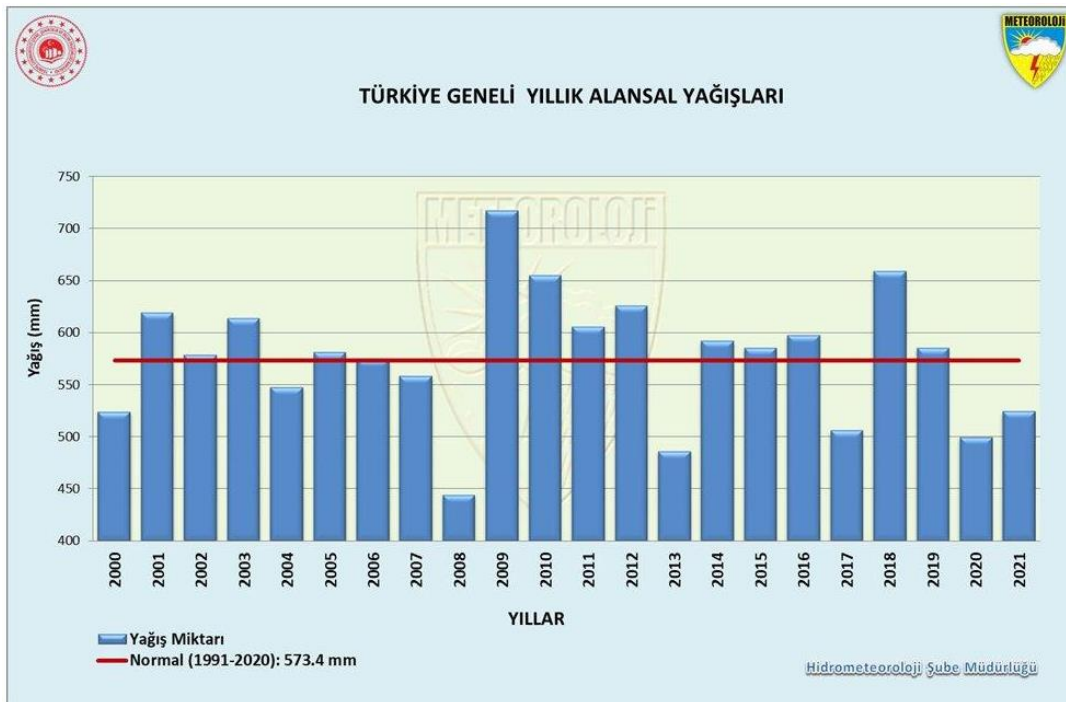
olarak hesaplanması ile oluşturulan harita Şekil 2.10 ile verilmiştir (MGM, 2023a). Ülkemizde yer alan coğrafi bölgelerimizin yağış rejimlerine baktığımızda:

- Karadeniz Bölgesi'nde meydana gelen yağışlar cephesel ve orografik yağışlar olmakla birlikte bölgede yağışlar her mevsim görülmektedir. Bölgenin sahil kısımlarından içerilere doğru gidildikçe yağış miktarı azalmakta, batı kesimlerinden doğuya doğru gidildikçe ise yağış miktarı artmaktadır. Bölgenin 1991-2020 yılları arası yıllık ortalama yağış miktarı 697.0 mm'dir.
- Marmara Bölgesi'nde genellikle cephesel (frontal) yağışlar görülmekte olup en yağışlı dönemler kış ve bahar mevsimleridir. Bölgenin 1991-2020 yılları arası yıllık ortalama yağış miktarı 670.0 mm'dir.
- Akdeniz Bölgesi'nde yağışların çoğunluğu kış mevsimlerinde meydana gelmektedir. Bölgenin 1991-2020 yılları arası yıllık ortalama yağış miktarı 665.1 mm'dir.
- Ege Bölgesi'nde cephesel, konvektif ve orografik olmak üzere üç türde meydana gelen yağışların yaklaşık %55'i kış aylarında görülmektedir. Bölgenin 1991-2020 yılları arası yıllık ortalama yağış miktarı 604.7 mm'dir.
- İç Anadolu Bölgesi'nde cephesel, konvektif ve orografik yağışların üçüne de rastlanır. Genellikle ilkbahar ve kış aylarında yağış görülen bölgenin 1991-2020 yılları arası yıllık ortalama yağış miktarı 402.2 mm'dir.
- Doğu Anadolu Bölgesi'nde coğrafi yapının engebeli ve yer yer farklı olması dolayısıyla değişik miktar ve özelliklerde yağışlar gözlenmektedir. Batısında en fazla yağış kış aylarında, doğusunda ise ilkbahar aylarında meydana gelmektedir. Bölgenin 1991-2020 yılları arası yıllık ortalama yağış toplamı 537.3 mm'dir.
- Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde cephesel yağışlar oldukça etkilidir. Bölgenin batı kesiminde yağışlar genellikle kış aylarında görülmekte iken doğusunda kış ve ilkbahar aylarında yağışlar daha hakim olmaktadır. Bölgenin 1991-2020 yılları arası yıllık ortalama yağış miktarı 533.9 mm'dir (Doğangönül ve Doğangönül, 2009; MGM, 2023b).



Şekil 2.10 : Türkiye 1991-2020 periyodu arası yıllık alansal yağış normalleri haritası (MGM, 2023a).

1991-2020 yılları arası Türkiye geneli yıllık ortalama alansal yağış miktarı 573.4 mm'dir (Şekil 2.11) (MGM, 2023b). Uzun yıllar ortalamalarına göre ülkemizde en yüksek yağışlar Doğu Karadeniz Bölgesi Rize ve Artvin kıyılarında 1600 mm üzerinde gerçekleşirken, en düşük yağışlar İç Anadolu'nun orta kesimleri ile Şanlıurfa ve Iğdır çevrelerinde gözlenmektedir (MGM, 2022).



Şekil 2.11 : Türkiye geneli yıllık alansal yağış miktarı (mm) (MGM, 2023b).

2.1.6.2 Yağmur suyu tutma yüzeylerinin belirlenmesi

YSH sisteminin yağmur suyu tutma/toplama alanı, doğrudan yağış alan ve sisteme su sağlayan yüzeydir (UN-HABİTAT, 2005). Çatılar, yollar, kaldırımlar, parklar, otoparklar vb. gibi çok çeşitli olmak üzere, az geçirimli/geçirimsiz yüzeyler yağmur suyu tutma alanı olarak seçilebilir. Ancak yağmur suyu tutma yüzeylerinin yapısı ve genişliği sistem tasarımı için oldukça önemlidir. Çünkü toplama alanı yüzeyi tipi yağmur su kalitesini, büyüklüğü ise toplanabilir yağmur suyu miktarını doğrudan etkilemektedir (Ling ve Benham, 2014). Örneğin çatı üstü YSH sistemlerinde; bambu, ahşap, asfalt ve katranlı padavra gibi çatılar düşük kalitede su sağladığından dolayı arıtma ihtiyacı ve kullanım alanları bu doğrultuda gözetilmelidir (Üstün ve diğ., 2020). Yapısı galvaniz, demir, alüminyum ve çimento gibi malzemelerden oluşan çatıların öncelikli olarak tercih edilmesi önerilmektedir. Alpaslan ve diğ. (1992) ise, “çatı üstü YSH sistemlerinde, kullanımının kolay ve yağmur suyu kalitesi bakımından güvenilir olması sebebiyle genellikle kiremitli çatıların veya yumuşak çelik vb. ile kaplanmış çatıların tercih edildiğini” belirtmiştir.

Diğer yandan, yağmur suyu tutma alanının türü ve malzemesi gelen yağışın ne kadarının depoya aktarılabilceğini de belirlemektedir. Örneğin; kil kiremit gibi dokulu veya gözenekli yapıya sahip çatılar, metal gibi daha pürüzsüz malzemelerden yapılmış çatılara kıyasla daha fazla yağmur suyu tutmaktadır (Üstün ve diğ., 2020). Bu sebeple toplanabilir yağmur suyu miktarı hesaplanırken su tutma yüzeyinin malzemesi ve türüne göre toplanabilir yağış miktarında bir kayıp oranı kabul edilmelidir.

Toplama havzasına düşen yağışların tamamı, buharlaşma, zemine sızma, eğim, rüzgar gibi birçok sebepten ötürü, toplama kanalına giremez. Kanala giren kısım akış katsayıları yardımıyla bulunur. Akış katsayısı, belirli bir havza için, kanalın en büyük debisi ile birim zamanda bölgeye düşen maksimum yağış miktarı arasındaki orandır (Demir, 2012). Çatı üstü YSH esas alındığında; toplama havzası olan çatı alanına düşen yağış miktarının yüzeysel akış katsayısı, çatının kaplama malzemesine ve türüne göre değişiklik göstermektedir. **Çizelge 2.3'**de İSKİ proje standartlarında kullanılan yüzeysel akış katsayı değerleri verilmektedir (Karpuzcu, 2005).

Çizelge 2.3 : Kaplama cinsine göre akış katsayıları (Karpuzcu, 2005).

Kaplama Cinsi	Akış Katsayısı
Metal kaplı çatılar	0,70-0,95
Kiremit kaplı çatılar	0,85-0,90
Değişik örtülü düz çatılar	0,50-0,80
Asfalt yüzeyler ve sızdırmaz kaplamalar	0,85-0,95
Derzleri sızdırmaz taş kaplı yüzeyler	0,75-0,85
Taş kaplı yollar	0,25-0,60
Çakıl yollar	0,15-0,30
Kaplamasız yüzeyler	0,10-0,20
Park ve bahçeler	0,00-0,15

Denklem 2.1'deki eşitlikte görülen yüzey akış katsayısına ek olarak; çatı üstü YSH sistemlerinde toplanabilir yağmur suyu miktarının filtre etkinlik katsayısıyla da çarpılması önerilir. Filtre etkinlik katsayısı, çatıdan gelen yağışın depoya iletilmesinden önce filtre kullanılması durumunda, filtrede oluşabilecek kayıpları temsil etmektedir. DIN1989 standardına göre 0.9 olarak kabul edilmektedir (Temizkan ve Kayılı, 2020).

2.1.6.3 Yağmur suyu kullanım alanının/su ihtiyacının belirlenmesi

Tüketicinin alışkanlıklarına ve yaşadığı ortama göre değişiklik gösteren su kullanım miktarı, özellikle konutlarda bölgeden bölgeye çok farklılık gösterebilir. Kentlerde yaşayan insanların su tüketimi ile kırsal kesimlerde yaşayan insanların tükettiği su miktarlarının birbirinden farklı oranlarda olduğu tespit edilmiştir (Gleick, 2000).

Su kullanımları farklı bina tipolojilerine göre değişmekte olup; YSH sistemi uygulanması planlanan yapının kullanım amacı ve kullanıcıların su tüketim alışkanlıklarının oraya özgü olarak tespit edilmesi gerekmektedir.

Sifon suyu ihtiyacı

Toplanan yağmur suyunun karşılayabileceği sifon suyu miktarının hesaplanması için uygulama alanındaki yaşayan/çalışan/ziyaret eden kişi sayıları, kişilerin su kullanım alışkanlıkları, binanın kullanım süresi ve kullanım amacı göz önüne alınmalıdır. Bunların yanı sıra binadaki tuvalet/pisuar gibi armatürlerin rezervuar hacim bilgileri edinilmelidir.

Çalışma kapsamında seçilen uygulama alanlarındaki sifon suyu ihtiyacı hesaplarında kabul edilen sifon suyu kullanım sayıları Çizelge 2.4 ile verilmiştir. Kullanım sayıları binalardaki kişi sayısı ve kullanım alışkanlıklarına göre gözlemlenerek belirlenmiştir.

Çizelge 2.4 : Çalışma kapsamında esas alınan sifon suyu kullanım sayıları.

Kullanıcı Profili	Armatür Tipi
	Tuvalet
Personel/otel	5
Ziyaretçi/otel	5
Konut kullanıcısı	8
Ziyaretçi/konut	1
Personel/sanayi	5
Ziyaretçi/sanayi	5
Personel/Alışveriş merkezi	5
Ziyaretçi/Alışveriş merkezi	0,5
Personel/Hastane	10
Ziyaretçi/Hastane	3

Armatür tiplerinin rezervuar hacmi için esas alınan referans tüketim değerleri ise; tuvalet için 6 L/kullanım, pisurlar için 4 L/kullanımdır.

Esas alınan değerler kullanıcı profili ve kişi sayıları ile çarpılarak sistemin tüm yıllık sifon suyu ihtiyacı her ay için ayrı olarak hesaplanmıştır.

Yeşil alan sulama suyu ihtiyacı

Yeşil alan sulama suyu ihtiyacı yaz aylarında en yüksek seviyelere ulaşmakla birlikte kış aylarında yağışın yoğun olduğu dönemlerde azalarak mevsimsel olarak değişmektedir. Ülkemizde bahçe sulama suyu ihtiyacı genellikle Mayıs ayında başlamakta ve Ekim ayında sonlandırılmaktadır (Doğangönül ve Doğangönül, 2009). Ancak özellikle çim gibi su ihtiyacı yüksek bitki örtüsü ile kaplı alanlarda sulama suyu ihtiyacının yağış olmayan her dönemde mevcut olduğu bilinmektedir. Çalışma kapsamında, uygulama alanındaki bölgenin yağışsız gün sayısı kadar sulama günü olduğu varsayılmıştır.

Yeşil alandaki mevcut bitki örtüsüne göre bitki su ihtiyacı değişmektedir. Doğangönül ve Doğangönül (2009), çim bitki örtüsüne sahip 100 m² büyüklüğündeki bir bahçenin günlük sulama suyu ihtiyacının 1000 L olacağını; meyve ağaçları ile kaplı damlama sulama uygulanan bahçenin ise 500 L olacağını belirtmiştir. Çim kaplı ve meyve ağaçları olan bahçede ise ilave sulama suyuna ihtiyaç duyulmayacağını eklemiştir. Bu kapsamda yeşil alan sulama suyu ihtiyacı hesabı için günlük metrekare başına 10 L bitki su ihtiyacı olacağı esas alınmıştır.

Ev dışı su kullanım ihtiyaçları

Evdışı su kullanım ihtiyaçlarına ek olarak; araç yıkama suyu için araç başına haftada 30 L su ihtiyacı olacağı hesabedilebilir.

Zemin temizleme su ihtiyacı için metrekare başına aylık 2 L su ihtiyacı olacağı öngörülmüştür. Toplam temizlenecek yüzey alanın büyüklüğü, binanın kat sayısı ve çatı alanının çarpımı ile bulunmuştur.

Yangın suyu ihtiyacı, tüm su temin projelerinde hesaba dahil edilmesi gereken önemli bir kalemdir. Yağmur suyunun yangın söndürme amaçlı kullanımı oldukça uygulanabilir bir çözüm yöntemidir. Bu kapsamda her 100 m² için 10 m³ yangın suyu ihtiyacı olacağı, emniyet payı ile bu miktarın 12 m³ kabul edilebileceği öngörülebilir (Doğangönül ve Doğangönül, 2009).

2.1.6.4 Çatı üstü YSH sistemi bileşenleri

Çatı üstü YSH sistemlerinde, yağışlı günlerde akışa geçen yağmur suları oluklar ve iletim boruları aracılığıyla yağmur suyu deposuna aktarılır. Toplanan yağış suları, su ihtiyacı ve yağış miktarına bağlı bir kapasite ile seçilen su depolarında yeniden kullanılmak üzere depolanır. Günümüzde binalarda uygulanması için geliştirilen yağmur suyu sistemlerinin temel bileşenleri Şekil 2.12 ile gösterilmektedir (Url-5).



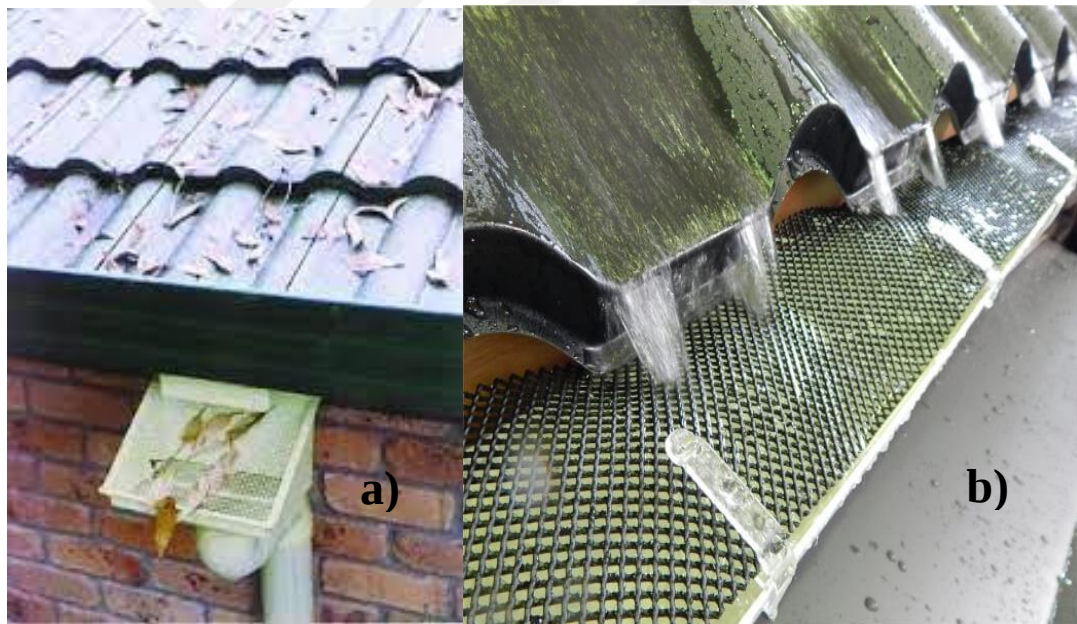
Şekil 2.12 : Çatı üstü YSH sistemi bileşenleri (Url-5).

Yağmur suyu tutma yüzeyi / çatı: Yağmurun üzerine düştüğü yüzey veya çatıdır. Tercihen depolama ve iletim yönüne doğru eğimli olmalıdır.

Yağmur suyu toplama hattı: Yağmur suyu tutma yüzeyinden depoya kadar olan bağlantı oluklar ve iniş boruları aracılığıyla yapılır. Bu taşıma kanalları, su toplama alanına, yağış özelliklerine ve çatı özelliklerine bağlı olarak tasarlanmalıdır.

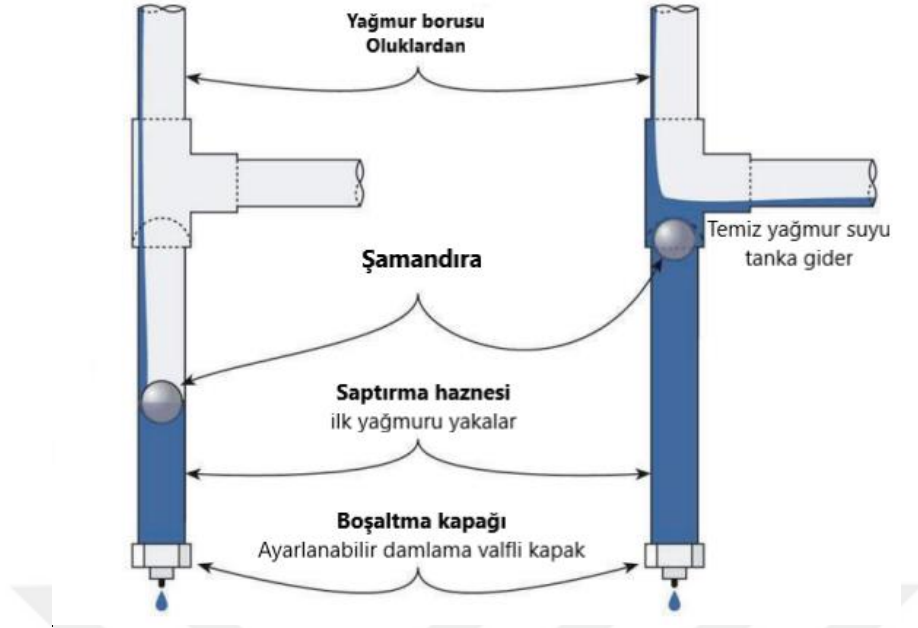
Ön arıtma ekipmanları: Çatı yüzeyinden akışa geçen yağışın, çatıda bulunan yaprak, dal, toz vb. kirlilik yüklerini depoya taşımamasını engellemek için oluklarda ızgaralar, iletim hattında ilk sifon sistemi ve depodan hemen önce yağmur suyu filtresi kullanılır.

Izgaralar, yapraklar, çubuklar, çam kozalakları, böcekler ve diğer atıklar gibi büyük kalıntıları filtreler. Sistemin tıkanmasını ve suyun kirlenmesini önler. Oluğun üstüne sabitlenmiş bir ızgara veya çöplerin tankın içine girmesini engelleyen bir ayırıcı olabilir (Şekil 2.13) (Url-6; Url-7).



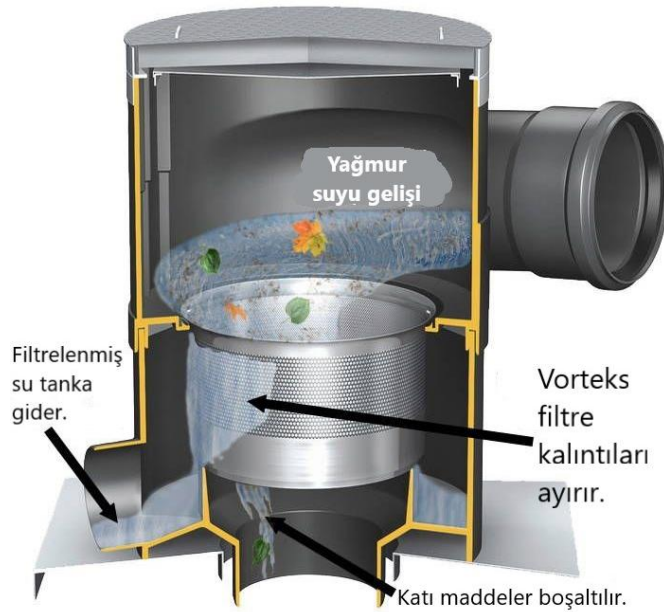
Şekil 2.13 : Izgaralar; a) Ayırıcı (Url-6), b) Oluk üstü ızgara (Url-7).

İlk sifon ayırıcı sistemi, yağış başlangıcında ilk gelen yağmur sularını depoya girmeden sistemden uzağa yönlendirerek çatının iyice durulanmasını sağlar. Toplama yüzeyinin ortalama her 300 m² alanı için en az 35 L yönlendirecek şekilde boyutlandırılmalıdır. Kurak dönemlerin uzun sürdüğü yerlerde daha büyük bir ilk sifon ayırıcı kapasitesi gerekebilir (Şekil 2.14) (Pradhan ve Jayaprakash, 2019).



Şekil 2.14 : İlk sifon ayırıcı (Pradhan ve Jayaprakash, 2019).

Toplanan yağmur suyu, nihai kullanım için uygun bir filtreden geçirilmelidir. Filtreler, düzenli muayene ve bakım için kolayca ulaşılabilir olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Filtreler, servis veya değişim gerektiğinde kullanıcıya bilgi vermek üzere basınç göstergesine sahip olmalıdır. Bakım sırasında su akışını kontrol etmek ve izole etmek için yukarı ve aşağı akışa monte edilmiş kapatma vanalarıyla donatılmalıdır (Gregory, t.y.). YSH sistemlerinde yaygın olarak kullanılan vorteks tip filtre Şekil 2.15 ile gösterilmektedir (Url- 8).



Şekil 2.15 : Yağmur suyu filtresi (Url- 8).

Tez kapsamında çalışılan alanlardaki sistemlere yağmur suyu filtresine ek olarak, depoya giren suyun durgulaşmasını sağlayarak su deposu dibinde oluşabilecek tortuların yüzeye kalkmasının engellenmesi için “giriş akış düzenleyici” yerleştirilmesi düşünülmüştür. İlaveten depolama tankına, yüzey emiş filtresi ve taşkan savağı konulacaktır. Yüzey emiş filtresi, tanktaki su seviyesinin birkaç santimetre altından suyun pompaya iletilmesini sağlayarak, tank dibinde bulunabilecek katı maddelerin pompayı tıkamasını engellenmiş olur, ayrıca suyun en berrak kısmının iletilmesini sağlar. Taşkan savağı ise suyun en üst seviyesini düzenli olarak temizler ve sağanak yağışların oluşturabileceği taşma ihtimalini ortadan kaldırır.

Depolama tankı: Toplanan yağmur suyunun güvenli bir şekilde depolandığı alanlardır. Depolama tankı, diğer bileşenlere kıyasla yüksek maliyeti nedeniyle yağmur suyu hasat sisteminin en önemli bileşenidir. Düşük maliyetle uygun kapasitede tank boyutunun sağlanması uygun tasarım gerektirir. Depolama tankı kapasitesi, toplanabilir yağış suyunun ve su ihtiyacının karşılaştırılmasıyla belirlenen depolanacak su miktarına göre belirlenmektedir. Deponun konumu uygulama alanındaki yer mevcudiyetine göre yer altında veya yer üstünde olabilir (Üstün ve diğ., 2020).

Depolama tanklarının malzemesi, boyutu ve konumu, toplanan yağmur suyunun kullanım amacına bağlıdır. Deponun kapasitesi, tahmini aylık su talebi, kullanım yeri, aylık yağış miktarı ve toplama alanının büyüklüğü ile orantılı olmalıdır (Che-Ani ve diğ., 2009; Stringer ve diğ., 2017). Bu depoların inşası için deponun şekline, boyutuna ve malzemesine göre çok sayıda alternatif bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yağmur suyu depolarının yapımı için gerekli malzemeler ve özellikleri Çizelge 2.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 : Malzeme türüne göre depolama tanklarının özellikleri (Ling ve Benham; Ertop ve diğ., 2023).

Malzeme Tipi	Özellikleri
Beton	Zemin üstüne inşa edilebilir veya zemin altına gömülebilir. Ağırlıkları nedeniyle taşınmaları oldukça zor olabilir. Çatlama durumunda sızıntı olasılığı bulunmaktadır. Depolama tankı, iç yapısındaki CaCO_3 ’ün duvarlardan ve zeminden çözülmesine olanak tanıyarak yağmur suyunun aşındırıcılığını azaltır.

Çizelge 2.5 (devam) : Malzeme türüne göre depolama tanklarının özellikleri (Ling ve Benham; Ertop ve diğ., 2023).

Malzeme Tipi	Özellikleri
Çimento/Betonarme	Demir bir iskelet ve çimento harcı etrafına yerleştirilmiş çelik ağdan oluşan bir yapıdır. Diğer malzemelere kıyasla daha uygun maliyetlidir, ancak bakım gereksinimleri daha sık olabilir. Buharlaşmayı azaltmak ve suyu serin tutmak amacıyla beyaza boyanabilir. Toksik bileşen içeriği kontrol edilmelidir.
Fiberglas	Hafif, ekonomik ve uzun ömürlü bir malzemedir. Temini ve taşınması kolaydır. Farklı ebatlarda bulunabilir. Güneş ışığının geçişini engellemek için dış yüzeyi kaplanmalıdır.
Plastik	Plastik Astar Kotrplak gibi malzemelerden yapılmış düşük maliyetli depolama tanklarında kullanılabilir. İçme suyu kullanımı için uygundur. Polietilen Çeşitli boyutlara, şekillere ve renklere sahip olan bu ürünler, yeraltında veya yer üstünde inşa edilebilmektedir. Genel maliyetleri oldukça makuldür ve fiberglastan daha dayanıklıdır. Pürüzsüz iç yüzeyleri sayesinde kolayca temizlenebilirler. Hafif yapıları, taşıma konusunda büyük bir avantaj sunar. Yosun oluşumunu önlemek amacıyla boyanmaları gerekmektedir.
Metal	Elde edilmesi kolay, uygun fiyatlı, hafif ve taşınabilir bir malzeme olmakla birlikte, asidik koşullarda kullanım sınırlamalarına dikkat edilmelidir.

Taşıma-iletim hattı: Yerçekimi veya pompa ile yağmur suyunun iletilmesidir. İletim hattı depodan kullanım alanına kadar bağlantı uzunluğuna ve kullanım alanındaki su ihtiyacına bağlı olarak tasarlanır. Binalarda çatı üstü yağmur suyu sistemlerinde, depoda biriktirilen yağmur suyunun iletimi için hidrofor sistemi ve bu sisteme bağlı pompalar kullanılır. Hidrofor sistemi, kullanım alanındaki su ihtiyacının günün belirli zaman aralıklarında değişmesi sebebiyle pompada oluşabilecek arızaları önler ve pompaların kullanım ömrünü uzatır. Binanın kullanım amacına göre su tüketimi, örneğin, akşam saatlerinde maksimum olurken gece saatlerinde sıfırlanabilmektedir. Hidrofor deposu basınçlı suyu sürekli hazır halde tutarak pompanın sürekli çalışmasını engellemektedir. Pompa seçimleri en kritik kotta bulunan kullanıcının statik kot farkına ve hat boyunca gerçekleşen sürtünme kayıpları göz önüne alınarak hesaplanan basınç aralığında ve maksimum anlık kullanım miktarına göre yapılmaktadır. İlave; hidrofor ve pompa sistemlerine bağlı olarak çek vanalar, kesme vanaları, kollektörler, basınç şalteri ve manometre ekipmanları gerekli diğer yağmur suyu sistemi bileşenleridir. Dışarı monte edilmiş yağmur suyu sistemi besleme hidroforunun görüntüsü Şekil 2.16 ile verilmiştir (Url-9).



Şekil 2.16 : Tipik bir çatı üstü yağmur suyu sisteminde hidrofor ve pompa ekipmanlarının görüntüsü (Url-9).

2.2 Grisu Kullanımı (GSK)

Grisu, yeniden kullanım potansiyeli ve uygulanabilirliği yüksek olan büyük hacimli bir atık sudur. Siyah su olarak kabul edilen tuvalet atıkları ve çöp öğütücülerinden kaynaklanan gıda atıkları hariç olmak üzere, duşlar, el yıkama lavaboları, çamaşırhaneler ve mutfak sularından kaynaklanan evsel atıksudur (Wilderer, 2004).

Grisuyun kaynağı ve bileşimi yaşam tarzına, nüfus yapısına, sosyal ve kültürel alışkanlıklara, evde yaşayan kişi sayısına, evde kullanılan kimyasallara ve bir ülkeden diğerine farklılık gösteren su ve iklim koşullarının mevcudiyetine bağlıdır (Filali ve diğ., 2022).

Grisuyun özelliği, yüksek konsantrasyonlarda kolayca parçalanabilen organik madde içermesidir. Grisuda patojen oranı nispeten düşüktür. Genellikle tipik bir evsel atıksuya göre daha az askıda katı madde (AKM) ve azot (N) ve daha fazla fosfor (P) içerir. Genel olarak, grisudaki amonyak ve Toplam Kjeldahl azotu (TKN) konsantrasyonları evsel atıksudakinden yaklaşık 10 kat daha düşüktür (Lazarova ve diğ., 2003). Grisudaki metal ve organik kirletici içeriği genellikle düşüktür ve çinko ve cıva için karışık atık suya göre daha düşük seviyelerdedir (Potivichayanon ve diğ., 2021; Shaikh ve Ahammed, 2022).

Grisuda kirliliğe neden olan kirletici maddeler, grisu kaynağına göre değişiklik göstermekle beraber, kullanılan kişisel hijyen ürünlerinin, deterjanların, kirli kıyafetlerin ve vücut kirinin bir sonucudur. Duş ve lavabodan kaynaklanan grisu,

düşük konsantrasyonda bakteri ve kimyasal içerirken; mutfak evyelerinden ve çamaşırhanelerden gelen grisu, yüksek konsantrasyonda bakteri, katı madde ve kimyasal ve yağ içermektedir (Üstün ve Tırpancı, 2015). Bu nedenle grisu kaynakları, düşük yük kaynakları (küvetler, duşlar ve el lavaboları) ve yüksek yük kaynakları (çamaşırhane ve mutfak) olmak üzere ikiye ayrılır. Grisuyun oluştuğu farklı kaynaklara göre değişen kirletici maddeler Çizelge 2.6 ile verilmiştir (Üstün ve Tırpancı, 2015).

Çizelge 2.6 : Grisuyun kaynağına göre oluşan kirletici maddeler (Üstün ve Tırpancı, 2015).

Grisu Kaynağı	Kirletici Maddeler
Çamaşır Makinesi	Askıda katı madde, organik madde, yağ ve gres, tuzluluk, sodyum, nitrat, fosfor (deterjandan), çamaşır suyu,
Bulaşık Makinesi	Askıda katı madde, organik madde, yağ ve gres, artan tuzluluk, bakteri ve deterjan
Küvet-Duş	Bakteri, saç, askıda katı madde, organik madde, yağ ve gres, sabun, şampuan kalıntıları
Lavabo (Mutfak dâhil)	Bakteri, askıda katı madde, organik madde, yağ ve gres, sabun, şampuan kalıntıları

Tipik grisu hacmi 60 L ile 120 L/kişi/gün arasında değişmekle birlikte, kullanıcı davranışına, nüfus yapısına, gelenek ve alışkanlıklara, su tesisatına ve su mevcudiyetine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Zavala ve diğ., 2016). Arıtılmış grisuyun kullanımı yöntemi; sifonlu tuvaletler gibi iç mekanlarda ve bahçe sulama, araç yıkama, temizlik gibi dış mekanlarda yeniden kullanımı içerir. Arıtılmış grisu, gerekli sağlık ve çevre standartlarına uygun olduğunda tarımsal sulama suyu olarak da kullanılmaktadır (Rodda ve diğ., 2011).

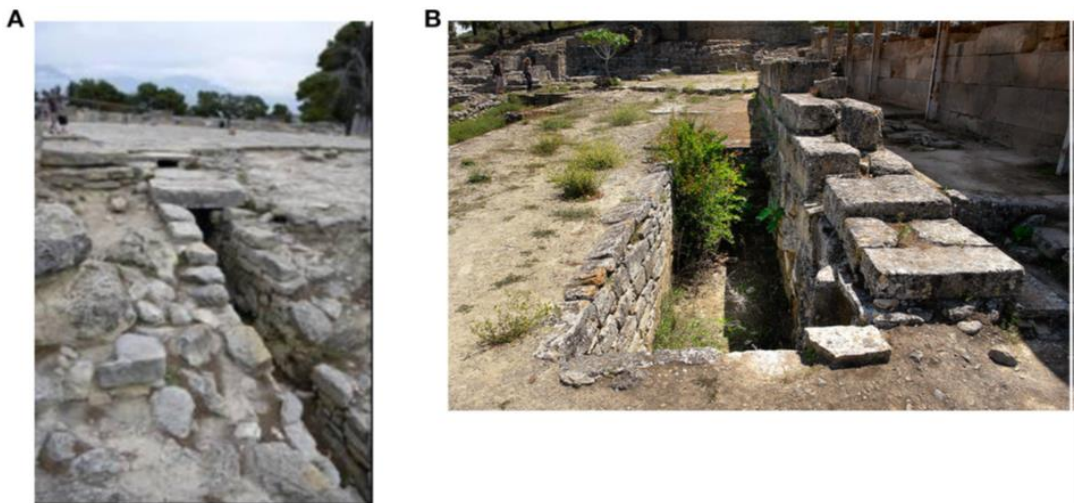
Avrupa Birliği (AB) düzenlemelerine bakıldığında, halihazırda suyun yeniden kullanımını düzenleyen bir direktifin bulunmadığı görülmektedir. Avrupa Su Kaynaklarının Korunması Planı (2012), Su Çerçeve Direktifi (SÇD)'nin değerlendirilmesinde, sulama ve sanayide suyun yeniden kullanımının önemini vurgulamaktadır, ancak açık bir direktif bulunmamaktadır (Stein, 2015). Suyun yeniden kullanımına ilişkin AB düzeyinde araçlar 2016 yılında hazırlanmıştır (Eu, 2016) ve bu açıklamaların ve çabaların arkasındaki ana fikir, iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle su kaynaklarının zaman içinde kıtlaşması nedeniyle suyun sürdürülebilir yönetimidir. AB Bölgelerinde Suyun Yeniden Kullanımı-Yasal Çerçeve 2018 yılında Çevre, İklim Değişikliği ve Enerji Komisyonu tarafından önerilmiştir;

ancak bu öneri temel olarak nehir havzası yönetim planları kapsamında arıtılmış atık suyun sulamada yeniden kullanımına dayanmaktadır (EU, 2018). Örneğin, su sıkıntısı çeken Avustralya'da içme suyu talebinin hafifletilmesine yardımcı olmak amacıyla, su geri dönüşümü giderek artan bir şekilde politika çerçevesine ve kılavuz ilkelerin geliştirilmesine dahil edilmektedir. Ülkede 2010 yılında GSK'na yönelik uygulama kuralları oluşturulmuştur. Amerika Birleşik Devletleri'nde çeşitli eyaletlerde GSK sistemlerinin sahiplerine çeşitli teşvikler sunulmaktadır. Ancak bu uygulama, yağmur suyunda olduğu gibi ülke yönetimi bazında değişiklik göstermekte, eyaletler ve hatta şehirler bazında farklılıklar arz etmektedir (Yu ve diğ., 2013).

2.2.1 Tarihçe

Suyun yeniden kullanımı eski çağlardan beri farklı amaçlar için kullanılan bir yöntemdir. Antik çağda kalıcı yerleşimlerin büyümesi, atıksu için toplama sistemlerinin geliştirilmesine yol açmıştır. İlk atıksuyun tarım arazilerinin sulanması ve gübrelenmesi için kullanımına ilişkin göstergeler yaklaşık olarak Tunç Çağı uygarlıklarına ulaşmaktadır (Angelakis ve diğ., 2018).

Phaistos Sarayı'ndaki atıksu ve yağmur suyu toplama sistemi, atıksu ve yağmur suyunu tarım arazilerine yönlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemin sonu, Şekil 4.1(a)'da gösterilmektedir. Aya Triada Köşkü'nde ise tarımsal amaçlı su, atıksu ve drenajın toplanması ve depolanması için kullanılan bir sarnıç, Şekil 4.1(b)'de görülmektedir.



Şekil 2.17 : Atıksu ve yağmur suyu toplama sistemleri a) Phaistos Sarayı'ndaki atıksu ve yağmur suyu toplama sistemi b) Aya Triada Köşkü'nde sarnıç (Angelakis ve diğ., 2018).

Atıksuyu tarımda ilk kullananlar arasında yer alan Eski Yunanlılar, Yunanistan'ın Klasik döneminde, genel tuvaletlerden ve konutlardan gelen atıksuları, yağmur suları ile birlikte, evlerin ara sokaklarında birleşik kanalizasyon ve drenaj sistemleri kullanarak uzaklaştırmışlardır.

2.2.2 Tanım ve terminoloji

GSK sisteminin uygulanması temelde farklı karakteristiklere sahip atıksu akımlarının birbirinden ayrılmasına dayanmaktadır. Az kirli atıksuların, çok kirli atıksulara karışmasıyla yükselen debi miktarı ile arıtma tesislerinde daha çok enerji sarfıyatı doğurmakta ve maliyetler artmaktadır. Ayrıca az kirli atıksuların, kalite özelliklerine göre, yüksek kalite gerektirmeyen yerlerde kullanımı da diğer bir temel unsurdur.

Atıksuların ayrımı farklı kademelendirme alternatiflerine sahip olsa da yaygın olarak 4 farklı fraksiyondan oluşmaktadır:

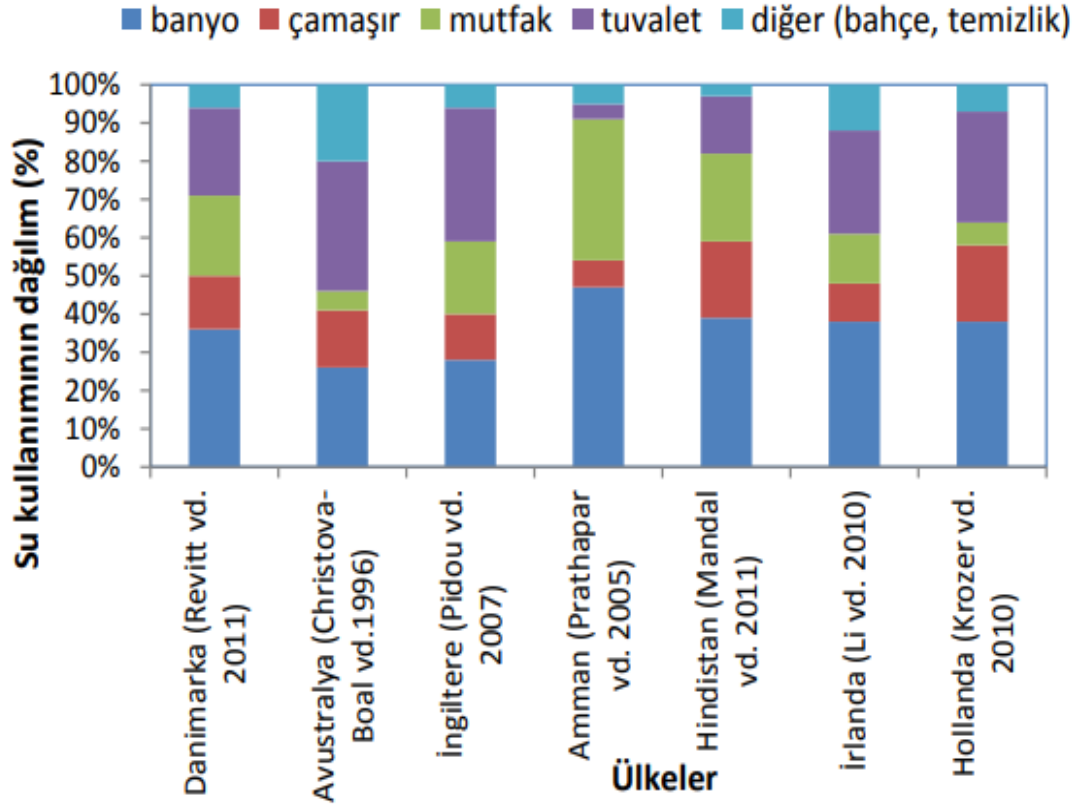
Grisu: duş, banyo ve lavabo atıksuları (tuvalet atıksuyu dışında kalan evsel atıksu),

Siyah su: sifon suyu ile beraber ya da sifon suyu olmaksızın dışkı ve idrar,

Sarı su: sifon suyu ile beraber ya da sifon suyu olmaksızın idrar,

Kahverengi su: ayrı toplanmış dışkı.

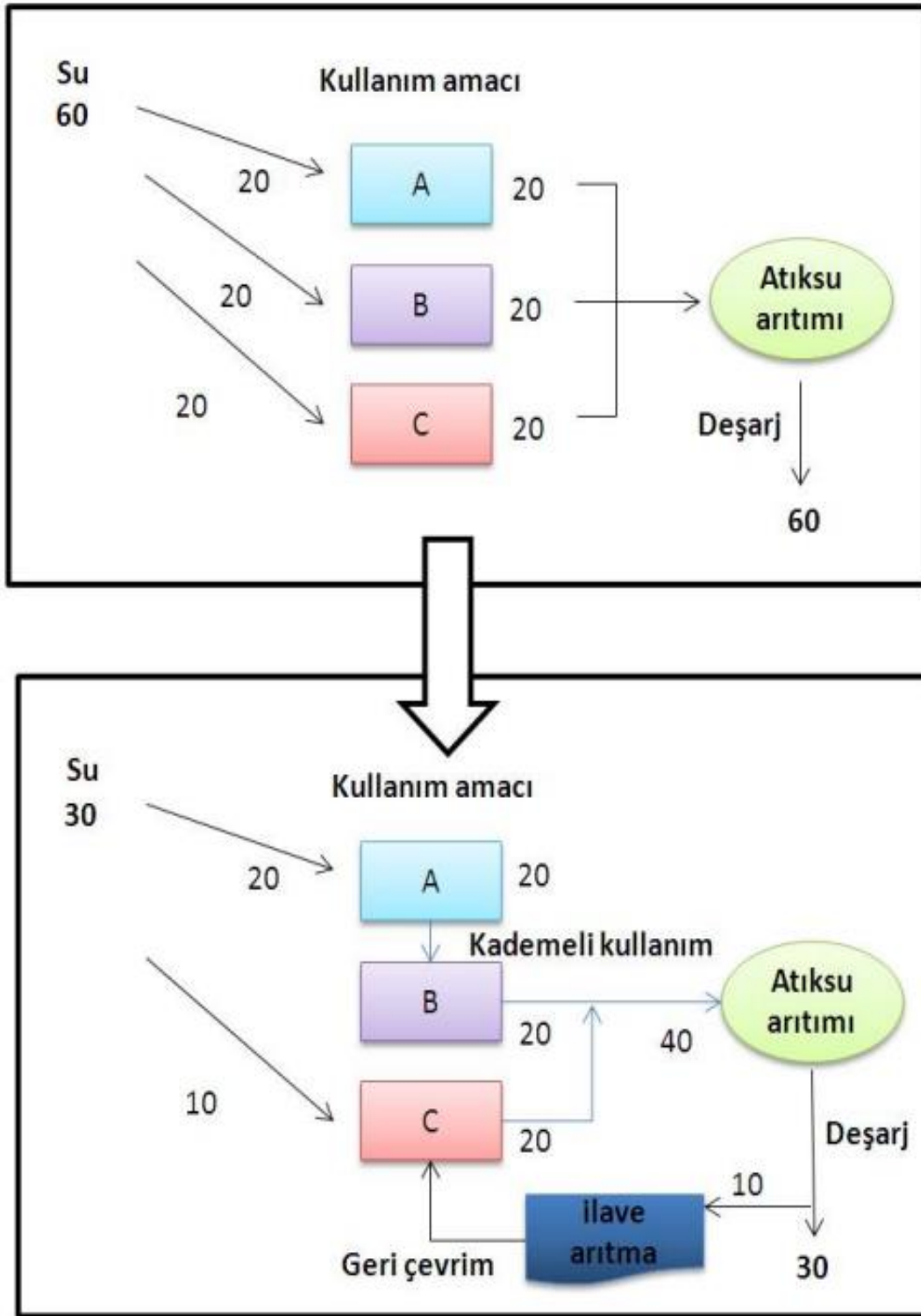
Evsel atıksu fraksiyonlarına bakıldığında, grisuyun evsel atıksu miktarının %60-70'ini oluşturduğu görülmektedir. Ancak bu oran bölgedeki su kullanım alışkanlıkları, sosyo-ekonomik durum, su varlığı ve erişimi, tuvalet rezervuarlarının hacmi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Şekil 2.18'de farklı ülkelerdeki evsel su kullanım alanları ve dağılımı verilmiştir. Banyo, çamaşır, mutfak gibi kullanım alanlarındaki su tüketimi dağılımını grisu olarak ele alındığında grisu üretimi dağılımının ülkelerde oldukça değişiklik gösterdiği görülmektedir. Dolayısıyla GSK sistemlerinin tasarımında toplanabilir grisu miktarı hesaplanırken kişi başı su kullanımı ve grisu miktarı değerlerinin dikkate alınması daha anlamlı görünmektedir (TÜBİTAK-MAM, 2014).



Şekil 2.18 : Farklı ülkelerde evsel su kullanımının dağılımı (TÜBİTAK-MAM, 2014).

2.2.3 Çevresel, sosyal ve ekonomik etkiler

Atıksuların geri kazanımı sayesinde hem mevcut su kaynaklarından çekilen su miktarının azalması hem de su kaynaklarına deşarj edilen atıksu üretiminin azalması sağlanmaktadır. Şekil 2.19’de görüldüğü üzere kullanım alanlarında tüketilen suların başka bir alanda yeniden kullanılmasıyla, hem şebekeden temin edilen su miktarı, hem de deşarj edilen atıksu miktarı azalmaktadır. Böylece aslında yüksek kalitede su ihtiyacı olmayan bir kullanım alanının ihtiyacı atıksudan sağlanırken, yüksek kalitedeki kullanım suyundan tasarruf edilmektedir. Örnek olarak, konutlar için içme suyu kalitesi gerektirmeyen tuvalet rezervuarları ya da bahçe sulamada grisuyun kullanılması verilebilir. Bu sayede kentlerin kuraklığa dayanma gücü artar, mevcut su kaynakları kalite ve miktar bakımından korunur. Ayrıca içme kullanma suyu ihtiyacının zirve yaptığı yaz ayları gibi dönemlerde şebekeye duyulan su ihtiyacının dengelenmesini sağlamaktadır (TÜBİTAK-MAM, 2014).



Şekil 2.19 : Atıksu geri kazanımının su tüketimine ve üretilen atıksu miktarına olan etkisi (TÜBİTAK-MAM, 2014).

2.2.4 Grisu arıtma ihtiyacı ve teknolojileri

Toplanan grisuyun kalitesi ve arıtıldıktan sonra kullanım amacı belirlenirken, gerekli olan arıtma seviyesi göz önünde bulundurulmalıdır. Grisu arıtılarak kullanılabileceği

gibi arıtılmadan yeniden kullanıldığı örnek uygulamalara da sahiptir. Özellikle kırsal alanlarda banyo lavabolarından çıkan grisuyun doğrudan peyzaj sulamasına yönlendirilmesiyle oluşturulan kullanımlar eskiden beri yaygındır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 : Lavabodan kaynaklanan grisuyun doğrudan sulama suyu olarak kullanılması (SYGM, 2022).

Grisuyun doğrudan bahçede kullanıldığı uygulamalar olduğu gibi, doğrudan rezervuarlarda kullanımı da uygulanmaktadır (Şekil 2.21) (Url-10). Avustralya ve Amerika’da grisu aktarım sistemi olarak geçen bu uygulamada lavabolardan, çamaşır ve bulaşık makinesinden kaynaklanan grisular arıtılmadan rezervuarda sifon suyu olarak kullanılmaktadır. Her iki uygulamada da sağlanan su tasarrufunun yanı sıra depolama problemleri ortadan kalkmakta ve düşük maliyetli olmaktadır. Ancak grisuyun arıtılmadan tuvaletlerde kullanımı klozet üzerinde leke bırakmakta ve sifon kullanımı sırasında hassasiyet gerektirmektedir. Bahçe sulamada arıtılmamış grisu kullanımı ise uzun vadede toprakta, tuzların, yüzey aktif maddelerin, yağ ve gresin birikmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle grisuyun kullanım alanında arıtma ihtiyacı belirlenirken, sürdürülebilirlik niteliği ve çevresel etkileri göz önüne alınmalıdır.



Şekil 2.21 : Lavabodan kaynaklanan grisuyun doğrudan sifon suyu olarak kullanılması (Url-10).

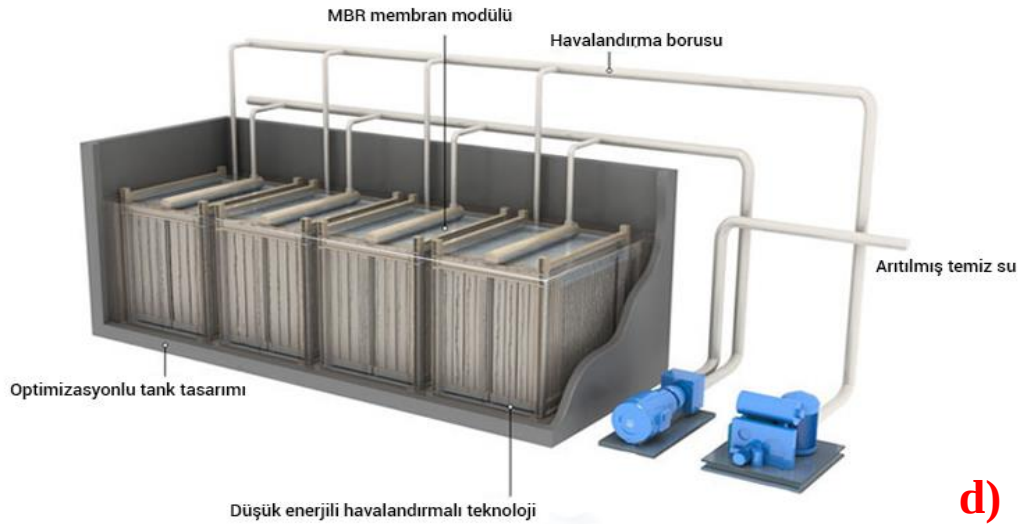
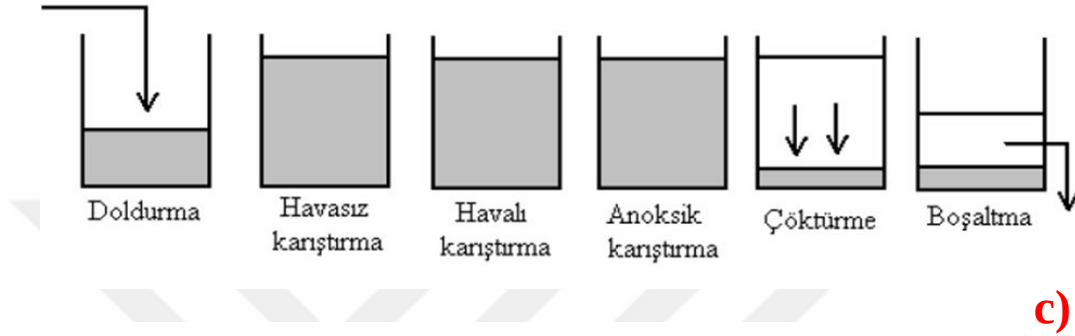
Grisu arıtımında suyun karakteristiğine bağlı olarak istenilen standartlara ulaşmak için fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik arıtma teknolojileri kullanılmaktadır. Fiziksel, kimyasal veya biyolojik arıtma yöntemleri arasında doğru seçim, hem uygulamanın su kalitesi gereksinimlerini karşılamak hem de çevresel etkiyi en aza indirmek için önemlidir.

Arıtma türleri aşağıdaki alt adımlardan bir veya daha fazlasını içerebilir:

- a) Fiziksel arıtma; örneğin çökeltme tankları aracılığıyla çökeltme/flotasyon, eleme ile büyük partikül filtrasyonu, membran filtrasyonu ile mekanik ince filtrasyon;
- b) Biyolojik arıtma, örneğin yapay sulak alan (CW), döner biyolojik reaktör (RBC), ardışık kesikli rektör (SBR), membran biyoreaktörü (MBR) teknolojileri;
- c) Kimyasal arıtma, örneğin çökeltme, elektrokoagülasyon, fotokatalitik oksidasyon, iyon değiştiriciler ve granüler aktif karbon;
- d) Dezenfeksiyon, örneğin ultraviyole (UV) radyasyon (Üstün ve Tırpancı, 2015; TSE, 2021).

Fiziksel arıtma ile grisudan nutrient giderimi sağlanamamaktadır. Kimyasal arıtma ile kimyasal sarfiyatı oluşmaktadır. Grisuyun biyolojik arıtımından önce ya da sonra fiziksel ve/veya kimyasal arıtım yöntemleri gerekebilmektedir.

Üstün ve Tırpancı (2015) tarafından belirlenen en önemli grisu arıtma teknolojileri Şekil 2.22 ile verilmiştir (Url-11, Url-12, Url-13).



Şekil 2.22 : Grisu arıtma teknolojileri; a) Yapay sulak alan (Url-13), b) Döner biyolojik reaktörler (Üstün ve Tırpancı, 2015), c) Ardışık kesikli reaktörler (Url-12), d) Membran biyoreaktörler (Url-11).

2.2.5 Ulusal mevzuat

Ülkemiz mevzuatında GSK sistemlerinin uygulanmasını zorunlu kılan bir ibare bulunmamak ile birlikte teşvik edici esaslar yer almaktadır.

ÇŞİDB tarafından hazırlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” 17.12.2022 tarih ve 32046 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin Suların Korunması ile ilgili Esaslar başlığı altında yer alan Madde 4 ile; “Atıksu yönetiminde döngüsel ekonomi ilkelerine

uygun olarak geri dönüşümün ve yeniden kullanımın teşviki” ve “Grisuyun yeniden kullanımına uygun altyapının oluşturulması” ibarelerinin esas olduğu belirtilmiştir.

Aynı yönetmeliğin Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı başlığı altında yer alan Madde 28’de “Grisu ve yağmur sularının yeniden kullanım imkânlarının değerlendirilmesi esastır” ibaresi eklenmiştir. Ayrıca Madde 28 kapsamında “Sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, 20/3/2010 tarihli ve 27527 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğinde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atıksuların, tarımsal sulama suyu olarak kullanılmasının” teşvik edildiği belirtilmiştir.

20.03.2010 tarih ve 27257 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, yerleşim birimlerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması ile ilgili atıksu arıtma tesislerinin teknoloji seçimi, tasarım kriterleri, arıtılmış atıksuların dezenfeksiyonu, yeniden kullanımı ve derin deniz deşarjı ile arıtma faaliyetleri esnasında ortaya çıkan çamurun bertarafı için kullanılacak temel teknik usul ve uygulamaları düzenlemek amacı ile mülga Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’nin yedinci bölümünde arıtılmış atıksuların kullanım alanları, atıksu geri kazanım tesisinin yeri, arıtılmış atıksuların depolanması, atıksu geri kazanımı için teknoloji seçimi ve arıtılmış atıksuların sulama suyu kullanım kriterlerine ilişkin düzenlemeler yapılmıştır.

İlerleyen süreçte 25.10.2022 tarih ve 31994 sayılı Resmi Gazete’de “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ” yayımlanmıştır. Bu kapsamda Tebliğe 22. maddeden sonra, eklenen Madde 22/C’de atıfta bulunarak; EK 7’de yer alan 7.4 Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımında Diğer Uygulamalar başlığı altında “grisuların pisuvar ve sifon suyu olarak kapalı devre sistemlerle yeniden kullanımına ilişkin kriter ve açıklamalar” verilmiştir. Buna göre “Grisuların kapalı devre olarak pisuvar ve sifon suyu olarak yeniden kullanımında dezenfeksiyon uygulanarak mikroorganizma giderimi ve askıda katı maddelerin giderilmesi yeterlidir.” ibaresi eklenmiştir. Grisu sistemlerinde grisuyun sifon suyunda kullanılmak üzere arıtma ihtiyacı tartışması, mevzuata eklenen ibare sayesinde cevap bulmuştur.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından Şubat 2021 tarihinde yayımlanan TS EN 16941-2 Yerinde içilemez su sistemleri- Bölüm 2: Arıtılmış grisuyun (lavabo atık suyu) kullanımına yönelik sistemler isimli Türk Standardı GSK sistemlerinin uygulanmasında atılan önemli adımlardandır. TS 16941-2 Standardı, grisuyun yerinde kullanılması amacıyla grisu sistemlerinin tasarım, boyutlandırma, kurulum, tanımlama, devreye alma ve bakım ilkelerinin belirlenmesini kapsamaktadır (TSE, 2021).

2.2.6 GSK sistemlerinin tasarım kriterleri

2.2.6.1 Geri kazanılabilecek grisu miktarının hesaplanması

Çalışma kapsamında tasarlanan grisu sistemlerinde geri kazanılabilecek grisu miktarının hesaplanması için kullanılabilecek referans değerler Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8 ile verilmiştir (TSE, 2021). Kullanılan değerler ortalamayı yansıtmakta olup, çalışılacak her bina için kullanılan vitrifiye armatürlerin model standartlarına bakılması önerilmektedir.

Çizelge 2.7 : Tipik ortalama günlük grisu verimi ve talebi (TSE, 2021).

Doluluk	Verim ^a (L)	Talep (L)		
		Tuvaletler	Çamaşırhane ^b	Diğer içilebilir olmayan kullanımlar ^c
1 kişi	60	35	15	10

a) Duşlardan, banyolardan ve/veya lavabolardan gelen verim.

b) Bu rakamlar ortalama günlük talebe dayanmaktadır. Bir çamaşır makinesinin döngü başına genellikle 30 L ila 60 L kullandığı belirtilmelidir.

c) Örneğin, bahçe sulama.

Çizelge 2.8 : Su kullanımı için referans değer aralıkları (TSE, 2021).

Su kullanımı	Aralık	Birim
Duşun hacimsel akışı	5-15	L/dk
Küvet kullanımı başına su hacmi	70-200	L
Lavabo	5-10	L/dk
Çalışma döngüsü başına çamaşır makinesi için su hacmi	30-60	L/döngü
Çalışma döngüsü başına bulaşık makinesi için su hacmi	10-20	L/döngü

Çizelge 2.9 : Armatürlerin akma süreleri (TSE, 2021).

Su kullanımı	Değer	Birim
Duş	5	dakika
Lavabo	15	saniye
Küvet	15	dakika

Lavabo, duş ve küvetlerden kaynaklanan grisü miktarının hesaplanabilmesi için denklem 2.2'deki eşitlik kullanılır.

$$\text{Gri su miktarı} \frac{lt}{gün} = \text{Akma debisi} \frac{lt}{dk} * \text{Akma süresi, } dk * \text{kullanım sayısı} \frac{kere.kişi}{gün} * \text{Kişi sayısı} \quad (2.2)$$

2.2.6.2 GSK sistemi bileşenleri

Grisü ayrı bir atık su drenaj borusunda toplanmalı ve toplama cihazlarından grisü sistemine yerçekimi ile akmasına izin verilmelidir.

Grisü yeniden kullanım alanlarında mevcut su tüketiminin belirlenmesinde Başlık 2.1.6.3'de verilen hesaplar ve kabuller kullanılmıştır. Bu tez kapsamında çalışılan bölgeler için grisüyün sifon suyu, yeşil alan sulama suyu, araç yıkama ve temizlik amaçlı kullanımı değerlendirilmiştir. Sistem kurgusu yapılırken, grisü arıtma tesisine sadece lavabo, duş ve küvet kaynaklarından gelen grisuların geleceği kabul edilmiştir. Grisü sisteminin kapasite seçiminde kirletici kaynaklardan oluşan kullanılmış sular dışında, mutfak, tuvalet gibi inhibisyona neden olacak herhangi başka bir kaynağın atıksuyunun (bahçe drenajı, havuz suyu) arıtma tesisine verilmeyeceği kabul edilmiştir.

Seçilen kullanım alanlarında arıtma ihtiyacının giderilmesi için çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir. Bu tez kapsamında çalışılan alanlarda zayıf karakterli grisuların (lavabo, duş ve küvetler) geri kazanımı değerlendirilmiştir. Literatürde yer alan birçok çalışmada karışık ve kuvvetli grisüyün arıtılması için biyolojik arıtma ihtiyacı olduğu; zayıf grisüyün arıtılması için fiziksel veya kimyasal arıtma prosesleri kombinasyonlarının yer aldığı arıtma sistemlerinin yeterli olacağı belirtilmiştir (Fangyue ve diğ., 2009; Chin ve diğ., 2009; Sanchez ve diğ., 2010).

Tez kapsamında seçilen alanlarda grisü arıtma ihtiyacının giderilmesi için, özellikle zayıf karakterli grisular için kullanılabileceği belirtilen “doğrudan membran filtrasyonu” yöntemi değerlendirilmiştir. Ticari olarak mevcut olan uygulamalarla

karşılaştırılabilir olması için doğrudan membran filtrasyonu alternatifinde prosesin; ön klorlama, kum filtre, aktif karbon filtre, ultrafiltrasyon ve dezenfeksiyon-klorlama adımlarından oluşması öngörülmüştür (TÜBİTAK MAM, 2014).

Grisu arıtma sistemi bileşenlerinin ve maliyetinin belirlenebilmesi için yerel firmalar ile görüşülerek uygulanabilirliği yüksek sistemlerin yerel piyasa fiyatlarına ulaşılmıştır.

Tez çalışması kapsamında seçilen grisu arıtma sistemi aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır:

- Otomatik klor dozaj ünitesi
- Grisu toplama deposu
- Sistem besleme hidroforu
- Paslanmaz çelik gövdeli torba filtre
- Tam otomatik çok katmanlı kum filtresi
- Tam otomatik aktif karbon filtre
- Otomatik klor dozaj ünitesi
- Filtrelenmiş su deposu
- Filtrasyon sistemi ters yıkama hidroforu
- Grisu paket ultrafiltrasyon sistemi
- Otomatik klor dozaj ünitesi
- Ürün suyu deposu

Grisu arıtma sistemlerinin proses akım şeması Şekil 2.23 ile gösterilmektedir.

Lavabo ve duşlardan kaynaklanan grisular PVC borular aracılığıyla Şekil 2.23’de gösterilen grisu toplama deposuna iletilir. Toplama deposuna gelen grisuya klor dozaj ünitesinden dozlanarak ön klorlama yapılır. Klorlanan grisu, sistem besleme hidroforu ile paslanmaz çelik torba filtreli tanktan geçirilerek büyük partikül ve kıl gibi kirleticiler filtre edilir. Daha sonra çok katmanlı kum filtresi, 1. kademe aktif karbon filtre ve 2. kademe aktif karbon filtreden geçen grisu tekrar klor dozaj ünitesi ile dozlanarak klorlanır ve filtrelenmiş su deposuna toplanır. Filtrelenmiş grisu, ultrafiltrasyon besleme pompası aracılığı ile membranlı ultrafiltrasyon sisteminden geçirilir. Ultrafiltrasyon sisteminden geçirilen su, son kademe klorlama işleminden geçirildikten sonra arıtılmış olarak ürün suyu deposunda depolanır. Geri kazanılan grisu hidrofor sistemi ve pompalar aracılığıyla kullanım alanlarına iletilir.

Yağmur suyunun sifon suyunda kullanımı uygulamasında olduğu gibi, GSK sisteminde de ürün suyu deposundan tuvalet rezervuarına kadar tesisat kolonu çekilmesi planlanmış, ihtiyaç duyulan boru hattı uzunlukları proje üzerinden ölçülerek maliyet kısmına eklenmiştir.

2.3 Sosyal Kabul Edilebilirlik ve Kamuoyu Algısı

Aprile ve Fiorillo (2017)’de vurguladığı üzere; kullanılmış suların arıtılarak geri kazanılmasından sonra yeniden kullanımının gerçekleşmesi için sosyal kabul edilebilirliğinin sağlanması ve halkın algısının olumlu yönde olması kritik bir önem arz etmektedir. Arıtılmış atıksuların tekrar kullanımında en çok kabul gören alanlar tarım ve peyzaj sulama iken; mutfak ve banyoda doğrudan kullanımı daha az tercih edilen bir pratiktir (Massoud ve diğ., 2018). Ancak, Pollice ve diğ. (2004), atıksuların geri kullanımı konusunda, tarımsal sulama gibi alanlarda bile toplumun kabulünde belirgin bir direnç olduğunu belirtmiştir (Fakıoğlu ve diğ., 2020). Örneğin, bazı Arap ülkelerinde çiftçilerin arıtılmış atıksuları kullanmaya pek istekli olmadıkları gözlenmiş, bu nedenle sulama suyu kalitesinin düzenli olarak raporlanmasıyla kullanımın teşvik edilmesi önerilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde çiftçilerin tutumunda olumlu bir değişiklik sağlanabileceği öngörülmüştür (Massoud ve diğ., 2019).

Su tasarrufunun sağlanması ve kullanılmış suların yeniden kullanımının önünde çeşitli engeller bulunmaktadır.

Jorgensen ve diğ. (2009) insanların evsel su kullanımı alışkanlıkları ve su tasarrufunda bulunma eğilimlerine etki eden faktörlere ilişkin analiz gerçekleştirerek, kişilere ve kurumlara olan güven duygusunun su tüketimi üzerindeki etkisine dikkat çekmiştir. Buna göre, insanların başkalarının su kullanımını azaltmadığını düşündüklerinde su tasarrufu yapma eğiliminde olmayacaklarına vurgu yapmaktadır. Benzer şekilde çevresindeki insanların su tasarrufu davranışında bulunduklarını gören bireyler ise su tasarrufu yapma eğiliminde olacaktır. Örneğin, bireyler mahallelerindeki çoğu hanenin bahçe işleri için yağmur suyu topladığını öğrenirlerse, aynı davranışı benimsemeye daha meyilli olacaklardır (Sanchez ve diğ., 2023). Dolayısıyla alternatif su kaynaklarının kullanımının yaygınlaşmasının bireysel gayretlerden ziyade ulusal ve uluslararası hareketlerle mümkün olabileceği ortaya konmaktadır.

Toplumların sosyo-ekonomik seviyesi de su tasarrufu ve atıksuların yeniden kullanımında etkili olan faktörlerden biridir. Eğitim seviyesi yüksek olan bireylerin su tasarrufunda bulunmaya ve atıksuların yeniden kullanımına daha istekli olduğu görülmektedir (Jorgensen ve diğ., 2009; Smith ve diğ., 2018). Dolayısıyla hükümetler tarafından toplumların farkındalık düzeyini yükseltecek eğitim faaliyetlerinde bulunması hem kurumsal güveni artıracak hem de bireylerin su tasarrufuna olan eğilimine olumlu etki sağlayacaktır.

Ayrıca, dini yaklaşım ve anlayışlar da, atıksuların yeniden kullanımı ile ilgili önemli sosyal olgular arasında bulunmaktadır (Garcia ve Pargament, 2015; Massoud ve diğ., 2018).

TOB SYGM (2023) tarafından yürütülen Su Kaynaklarında İklim Değişikliğine Uyum Projesi kapsamında ülkemizdeki çeşitli illerde ikamet eden vatandaşların katılımı ile yağmur suyu ve grisu kullanımının sosyal kabul edilebilirliğinin ölçülmesi için anket çalışması yapılmıştır.

Farklı eğitim seviyelerinde ve sosyo-ekonomik düzeylerde olan katılımcılara YSH ve grisu sistemlerinin ne olduğunu bilip bilmedikleri sorulmuş, ayrıca aylık su tüketimlerinin ne kadar olduğunu ve faturalarını yüksek bulup bulmadıkları sorularak farkındalıkların ölçülmesi amaçlanmıştır. İlaveten, katılımcılara yağmur suyunu ve grisuyu hangi alanlarda (sifon suyu, bahçe sulama suyu) kullanmayı tercih edeceklerine dair sorular yöneltilerek kabul edilebilirlik düzeyleri ölçülmek istenmiştir. Anket sonuçlarına göre; katılımcıların ortalama yarısının yağmur suyu ve

gris sistemleri hakkında bilgisi olmadığı, ayrıca yaklaşık %40'ının aylık su tüketim miktarını bilmediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, %85'inin yağmur suyunu hem sifon suyu hem de bahçe sulama suyu olarak kullanmayı tercih edebileceğini; grisuyun sifon ve bahçe sulama amaçlı kullanımını ise %70'nin tercih edebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Geri kalan %30 oranındaki katılımcılar arasında ise grisuyu, özellikle bahçe sulama suyu olarak kullanmayı tercih etmediklerini (%18) belirtmişlerdir. Yapılan anket çalışmasının sonuçlarından yola çıkarsak; halkın su tüketimine olan farkındalığının yükseltilmesi ve alternatif su kaynaklarının kullanımına olan güvenin artırılmasına ilişkin çaba sarfedilmesi gerekmektedir.

2.4 Teşvik ve Sertifikasyon Sistemleri

Yağmur suyu ve grisü gibi alternatif su kaynaklarının stratejik yönetimi, ekonomik krizler, su kıtlığı, kuraklık veya sel gibi risklerle karşı karşıya olan ülkelerde sürdürülebilir su yönetimi için önemli uygulamalardır. Hem GSK hem de YSH sistemleri birçok ülkede uygulanmaktadır. Ancak Mizyed (2013)'in de belirttiği gibi politik düzenlemeler, halkın katılımı, sosyo-ekonomik ve teknik zorluklar ülkeden ülkeye büyük ölçüde değişmektedir. Bu nedenle, bölgesel gereksinimleri tespit ederek bu ihtiyaçlara uygun YSH ve GSK politikaları belirlemek ve geliştirmek gerekmektedir. Bu anlamda büyük rol oynayan hükümetlerin geliştireceği politikalar doğrultusunda sağlanabilecek teşvik sistemleri, YSH ve GSK sistemlerinin benimsenmesini ve yaygınlaşmasını sağlayacaktır. Uluslararası ölçekte, Çin, Avustralya ve Avrupa Birliği başta olmak üzere birçok ülkede farklı teşvik stratejileri geliştirilmiştir. Ülkelerin mevcut su kaynaklarını koruma çabaları, geçmişte tanık olunan kurak dönemler ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri sonucu yaşanan afetler ve iklim değişikliğine uyum faaliyetlerinin uygulanmasına ilişkin öncü olma kaygısı YSH ve GSK uygulamalarının teşvikine motive eden sebepler olmuştur.

Su kaynakları bakımından birçok ülkeye kıyasla zengin olan Almanya'da su kaynakları yönetimi teknolojisi alanlarında araştırma ve geliştirme çalışmalarına önemli bütçeler ayrılmış ve bu konularda katı kanunlar düzenlenmiştir. Almanya'da YSH'nın yaygınlaşmasına ilişkin olan en önemli uygulama "yağmur suyu vergisi" dir. Yağmur suyu vergisi, bir mülkün sınırları dahilinde yer alan kaldırım/çatı gibi geçirimsiz yüzey alanlardan akışa geçerek yağmur suyu tahliye kanalına yönlendirilen yağış miktarı için alınmaktadır. Genellikle şebeke suyu birim fiyatının 1,5 katı olarak

belirlenen yağmur suyu vergisi, YSH sistemi uygulayan kişilerden alınmamakta, ilaveten bu kişilere yağmur suyu kullanımı için devlet sübvansiyonları sağlanmaktadır (Kraemer ve Piotrowski, 1995; Zheng ve diğ., 2005). Düzenlemelere göre yeni endüstriyel, ticari ve yerleşim alanlarında inşaattan önce yağmur suyu kullanım ekipmanlarının tasarlanmaları gerekir. Yağmur suyu toplama tesislerinin mevcut olmaması durumunda hükümet, yağmur suyu tahliye ücreti için bina maliyetinin %2'sine kadar oranında bir ücret almaktadır. Diğer taraftan yağmur suyunun toplanmasında inisiyatif alan haneler için hükümet, yağmur suyu kullanım sübvansiyonları için yılda yaklaşık 2000 dolar hibe etmektedir (Fu, 2018).

Dünyanın en kurak kıtası olarak bilinen, karasal akışlara ve kaliteli yeraltı suyuna erişimin genellikle sınırlı olduğu Avustralya'da YSH ve GSK sistemlerine ilişkin çeşitli teşvikler geliştirmiştir (Borja-Vega, 2020). Avustralya hükümeti, "Under Water for the Future" girişimi kapsamında, yeni yağmur suyu toplama sistemleri veya grisu sistemleri kuran bireylere yönelik "Ulusal Yağmur Suyu ve Grisu Girişimi"ni başlatmıştır. Bu girişim kapsamında, yağmur suyu toplama sistemleri kuran ev sahiplerine 500 dolara kadar teşvik sunulmaktadır. Projenin tamamlanmasıyla birlikte, konutlara toplamda 7 milyon Avustralya dolarının üzerinde indirim sağlanmıştır. Ayrıca, Victoria Hükümeti, suyun sadece içme suyu standartlarını karşılamak zorunda olmadığını vurgulayarak, suyun "amaca uygun" olması gerektiğini kabul etmiştir (Radcliffe, 2006).

Görüldüğü üzere, YSH ve GSK sistemleri ile ilgili hükümetler tarafından uygulanan düzenlemeler ve teşvikler ülkeler arasında farklılıklar göstermektedir. Genel olarak dünyada bu sistemler ile ilgili düzenlemeler konusunda sertifikasyon sistemlerinin uygulanması da teşvikin sağlanması için hızlandırıcı etkiye sahiptir.

Ülkemizde 23.12.2017 tarih ve 30279 sayılı Resmî Gazete’de “Binalar ile Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği” yayımlanmıştır. Türkiye ulusal yeşil bina sertifika sistemi (YeS-TR) uygulama çerçevesini belirleme amacı ile yayımlanan “Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği” Haziran 2022’de güncellenmiştir. Bu Yönetmeliğin amacı aşağıdaki ibare ile verilmektedir:

Binaların ve yerleşmelerin doğal kaynakları ve enerjiyi verimli kullanarak çevreye olan olumsuz etkilerini azaltmak için değerlendirme ve sertifikalandırma sistemlerinin oluşturulmasına; yeşil sertifika uzmanlarının, yeşil sertifika değerlendirme uzmanlarının ve eğitici kuruluşların nitelikleri ile yeşil bina ve yeşil yerleşmelerin değerlendirme kriterlerine

ilişkin usul ve esasları belirlemektir. (Binalar ile Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği, 2022)

Süreç içerisinde uzmanların yetiştirilip bina ve yerleşmelerde bu sertifikasyon sisteminin uygulamaya geçilmesi ile alternatif su kaynaklarının daha yaygın ve etkili kullanımı mümkün olabilecektir.



3. ALTERNATİF SU KAYNAKLARI SİSTEMLERİNİN TASARLANMASI VE FAYDA-MALİYET ANALİZİ- ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında YSH ve GSK sistemlerinin Antalya ve İzmir illerinde bulunan farklı bina tipolojilerinde uygun tasarım örnekleri ve fayda-maliyet analizleri çalışılmıştır. Çalışılan yapılar; otel (2 adet), konut, sanayi tesisi, alışveriş merkezi ve hastane olmak üzere 6 farklı pilot bölgededir (Çizelge 3-1). İzmir ilinde planlanan otel, konut ve sanayi tesisi; Antalya ilinde ise mevcut otel, alışveriş merkezi ve hastane örneklerinin uygulanabilirlik analizleri çalışılmıştır. Analiz ve tasarım çalışmalarının tümü gerçek projeler üzerinden yapılmıştır. Her bina gerçek uygulamaya yönelik teknik ve mali detaylara uygun şekilde analiz edilmiştir. Her tipoloji için seçilen binalar ülkemizde yaygın olarak görülebilecek ortalama tipteki yapıları yansıtmakta olduğu için kendi tipolojileri için örnek oluşturabilecek nitelikte olduğu söylenebilir. Seçilen tüm alanlarda ayrı ayrı olmak üzere YSH ve GSK sistemlerinin fayda-maliyet analizi çalışılmıştır. İlave olarak, Antalya İlinde bulunan alışveriş merkezi için YSH ve GSK sistemlerinin birlikte uygulanma durumu çalışılmıştır.

Çizelge 3.1 : YSH ve GSK sistemi çalışılan alanlar.

İller	YSH	GSK	YSH & GSK
İzmir (P*)	Otel Konut Sanayi Tesisi	Otel Konut Sanayi Tesisi	-
Antalya (M*)	Otel Alışveriş merkezi Hastane	Otel Alışveriş merkezi Hastane	Alışveriş merkezi

*P: planlanan

*M: mevcut

Antalya İlinde çalışılan binalar kullanım durumunda olan mevcut binalardır. İzmir ilinde seçilen binalar ise projelendirme aşamasında olan inşaatı başlanmamış alanlardır. Analiz çalışmalarında İzmir İlindeki binaların mevcut durumda kullanılan binalar olması da ilave senaryo olarak çalışılmıştır. Bu durumda binalarda muhtemel tesisat değişiklikleri ve bu nedenle oluşabilecek kırım ve yapım maliyetleri göz önüne alınmıştır. Yapıların proje aşamasında ve kullanım aşamasında olduğu durumlardaki uygulanabilirlikleri, yatırımların geri ödeme süreleri üzerinden ölçülmüştür. Çalışılan

senaryo ile YSH ve GSK sistemlerinin yapılara inşa edilmeden önce tasarlanmasının mali avantajı ortaya konulmuştur.

Fayda-maliyet analizlerine başlamadan evvel, sistemlerin uygulanacağı yapı ve yapının bulunduğu bölgeye ait gerekli veriler temin edilmiştir. Bu kapsamda İzmir ve Antalya illerinin nüfus, arazi kullanımı, su birim fiyatı, su arz ve talebi ve mevsim normalleri bakımından mevcut durumu incelenerek sistemlerin uygulanabilirliğine olan etkisi değerlendirilmiştir. Benzer şekilde seçilen yapıların çatı planları, kat planları ve sıhhi tesisat projeleri incelenerek gerekli bilgiler çıkarılmış ve hesapları yapılmıştır.

Seçilen alanlarda toplanabilir yağmur suyu miktarı, geri kazanılabilir grisu miktarı, alternatif kullanım alanlarında ihtiyaç duyulan su miktarları, sistemlerin uygulanması halinde potansiyel su tasarrufu ve ekonomik kazanım hesaplanmıştır.

Seçilen binalar arasında projelendirme aşamasında olan inşaatı başlamamış alanlar olduğu için gerçekleşen su tüketim miktarları bulunmamaktadır. Bu durumda; kullanan kişilerin/ziyaretçilerin sayısı, binanın kullanıldığı gün sayısı gibi değerler için belirli kabuller yapılarak ihtiyaç duyulan su miktarları hesaplanmıştır.

Sistemlerin gerektirdiği arıtma ihtiyaçlarının seçimi için; yağmur suyu sisteminde vorteks filtre, grisu sisteminde membran filtrasyon yöntemi kullanılacağı planlanmıştır. Yağmur suyunda su tutma yüzeyi sadece çatı olarak belirlenmiştir. Grisu sisteminde ise binaların sadece lavabo ve duşlarından kaynaklanan grisu toplanacak, bu alanlar haricinde hiçbir alandan (bahçe drenajı, havuz suyu, mutfak evyesi, çamaşır ve bulaşık makineleri vb.) üretilen atıksular grisu sistemine karışmayacaktır.

Seçilen alanlarda sistemlerin kurulacağı yer ve tesisat döşemesi kolonu için bağlantı uzunlukları belirlenmiştir. Hem YSH hem de GSK sistemi için İzmir’de projelendirilen otel alanı üzerinde sistemlerin kulumunu gösteren örnek kolon şemaları çizilmiştir.

Sistemlerin uygulanması için gereken yatırım maliyet kalemlerinin tümü çıkarılarak keşif-metraj cetveli oluşturulmuş, gerekli tüm ekipman ve donanımlar için yerel piyasa fiyatlarına göre birim maliyetleri çıkarılmıştır. Antalya ve İzmir iline yakın bulunan firmalardan teklifler alarak ve yapılan araştırmalar aracılığıyla ortalama birim bedellere ulaşılmıştır. Kullanılan birim bedellerin listesi EK A’da verilmektedir.

İşletme maliyeti kapsamında elektrik maliyeti ve bakım-onarım maliyeti esas alınmıştır. Elektrik maliyeti, sistemde çalışan pompanın enerji sarfiyatına göre illerdeki dağıtım şirketlerinin kwh başına birim fiyatları kullanılarak hesaplanmıştır. Bakım-onarım maliyeti için bakım servisliği ve sistem tedarigi yapan firmaların önerdiği ortalama fiyatlar esas alınmıştır. Alanların analiz çalışmalarının tarihine göre maliyet hesabında kullanmak üzere; İzmir İlinde çalışılan alanlarda, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB) 02.10.2023 tarihli avro kuru 28.9802 TL, dolar kuru 27.4537 TL; Antalya İlinde çalışılan alanlarda 01.09.2022 tarihli avro kuru 18.2554 TL, dolar kuru 18.2132 TL olarak alınmıştır.

Sistemlerin kazandırabileceği faydalar ve gerektirdiği yatırım-işletme bedelleri hesaplandıktan sonra gereken yatırımın, kazanılan faydalar sayesinde kaç yılda geri ödenebileceği hesaplanmıştır. Fayda kısmında şebeke suyu yerine yağmur suyu/grisuyun kullanımı ile su faturasından yapılacak tasarruf esas alınmıştır. Buna göre yapılan fizibilite (uygulanabilirlik) analizinde sistemlerin ekonomik açıdan uygulanabilirliği hesaplanan geri ödeme süreleri üzerinden yapılmıştır.

Fayda-maliyet analizleri kapsamında hesaplanan geri ödeme süresi yatırımın değerlendirilmesinde önemli bir ölçüt olarak ele alınmaktadır. Uygulanacak olan YSH ve GSK sisteminin geri ödeme süresinin hesaplanması ve karlılığının analiz edilmesi için Net Bugünkü Değer (NBD) ölçütü kullanılmıştır.

NBD, YSH ve GSK sistemi yatırımının ekonomik ömrü boyunca sağladığı getirinin bugünkü değerinden, yatırım giderlerinin düşülmesi ile elde edilen farkı ifade etmektedir. Bugünkü değer, sermaye maliyetini gösteren belli bir iskonto üzerinden hesaplanmaktadır. İskonto oranı %5 alınmıştır.

Yıllık net faydalar bulunarak sistemin geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi, YSH ve GSK projesi için yapılan yatırımın kaç yılda geri alınabildiğini göstermektedir. NBD'nin pozitif olduğu yıl, geri ödeme süresi olarak belirlenmiştir. (TÜBİTAK MAM, 2014).

Antalya ve İzmir illeri mevcut durumu

TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre, Çizelge 3.2'de illerin 2017 ve 2022 yılları arası 5 yıllık il nüfusu verilmiştir. Buna göre, her iki ilin nüfusu sürekli olarak artış göstermiştir (TÜİK, 2022b).

Çizelge 3.2 : Antalya ve İzmir 2017-2022 yılları arası nüfusu (TÜİK, 2022b).

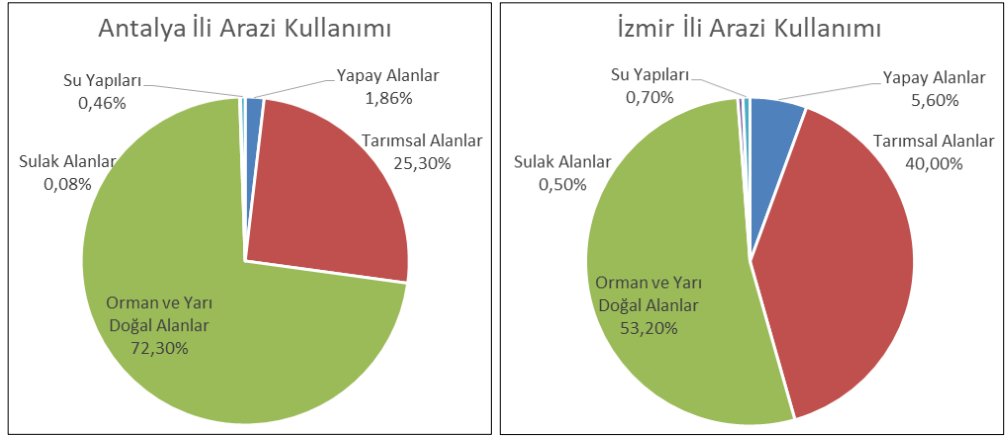
Yıllar	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Antalya İl Nüfusu	2 364 396	2 426 356	2 511 700	2 548 308	2 619 832	2 688 004
İzmir İl Nüfusu	4 279 677	4 320 519	4 367 251	4 394 694	4 425 789	4 462 056

Kentsel büyümenin artmasıyla beraber yeşil alanların azalması ve betonlaşmanın giderek artması doğal su döngüsünün bozulmasına sebebiyet vermektedir. Çizelge 3.3’de verilen illerin arazi kullanımı bilgilerine göre yapay alanlar giderek artmakta, tarımsal ve ormanlık alanların toplam alandaki oranı ise giderek azalmaktadır (Corine, 2018).

Çizelge 3.3 : Antalya ve İzmir 1990-2018 yılları arası arazi kullanımı.

Arazi Sınıfı	ALAN BÜYÜKLÜĞÜ									
	1990		2000		2006		2012		2018	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
ANTALYA										
Yapay Alanlar	15.445	0,77	27.351	1,36	30.682	1,52	35.232	1,75	37.600	1,86
Tarımsal Alanlar	519.423	25,75	504.941	25,03	513.262	25,44	512.117	25,38	510.471	25,3
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	1.475.692	73,14	1.476.722	73,19	1.464.774	72,6	1.460.316	72,38	1.458.646	72,3
Sulak Alanlar	1.985,34	0,1	1.869	0,09	1.488	0,07	1.541	0,08	1.541	0,08
Su Yapıları	4.991,33	0,25	6.653	0,33	7.392	0,37	8.392	0,42	9.339	0,46
TOPLAM	2.017.536	100	2.017.536	100	2.017.599	100	2.017.598	100	2.017.589	100
İZMİR										
Yapay Alanlar	33.052	2,8	51.696	4,4	60.303	5,1	63.326	5,3	66.091	5,6
Tarımsal Alanlar	501.895	42,2	480.367	40,4	479.187	40,3	476.338	40	475.895	40
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	643.385	54,1	644.116	54,1	636.549	53,5	635.527	53,5	633.095	53,2
Sulak Alanlar	6.413	0,5	6.302	0,5	6.468	0,5	6.149	0,5	6.149	0,5
Su Yapıları	4.687	0,4	6.950	0,6	7.049	0,6	8.215	0,7	8.327	0,7
TOPLAM	1.189.431	100	1.189.431	100	1.189.556	100	1.189.556	100	1.189.556	100

Her iki ilin arazi kullanımının % dağılımını gösterir grafikler Şekil 3.1 ile verilmiştir. Oransal olarak İzmir İlinde yapay alanlar daha geniş bir alan kaplamaktadır.



Şekil 3.1 : Antalya ve İzmir arazi kullanımı oranları.

Antalya BŞB ASAT Genel Müdürlüğü (2022) tarafından Antalya merkez ilçeleri için belirlenen Eylül 2022 tarihine ait su ve atıksu tarifeleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Antalya Büyükşehir Belediyesi 2022 yılı su tarifeleri.

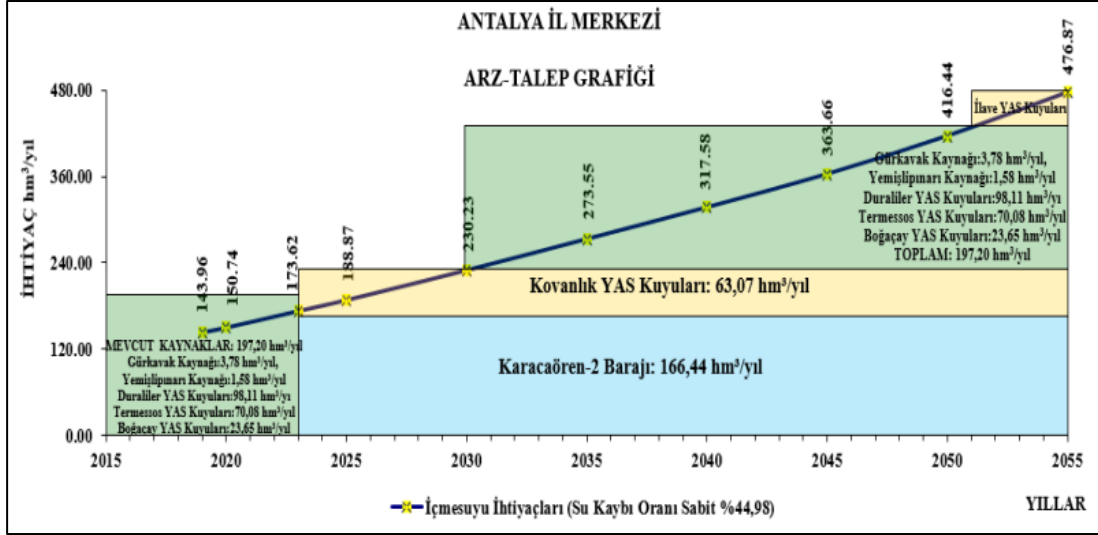
Abone Tipleri	Su ve Atık Su Bedeli (TL/m ³)
Meskenler, Sebil-Hayrat ve Özel Mezarlıklar	14,04
Ticarethane	22,08
Resmi Daireler, Belediyeler, Belediyelere ait Park ve Bahçeler	10,51

İzmir Büyükşehir Belediyesi İZSU Genel Müdürlüğü (2023) tarafından belirlenen 2023 yılı su tarifeleri sene içinde artarak değişiklik göstermiş ve 2023 yılına ait en yüksek fiyatların olduğu Aralık ayından itibaren geçerli su ve atıksu tarifeleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 : İzmir Büyükşehir Belediyesi 2023 yılı su tarifeleri.

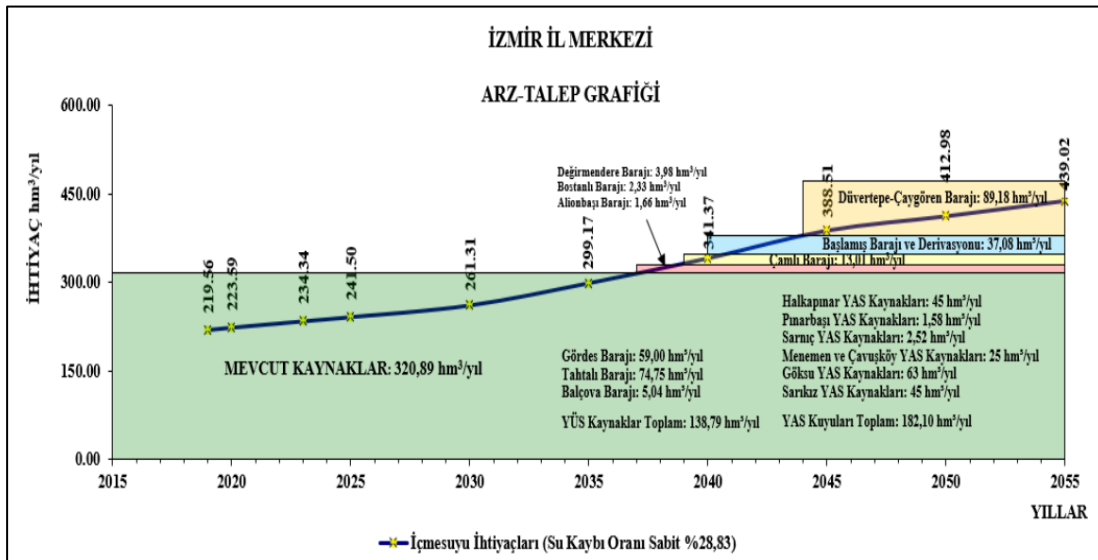
Abone Tipleri	Kademeler m ³ /ay	Su Bedeli (TL/m ³)	Atık Su Bedeli (TL/m ³)	Genel Toplam (TL/m ³)
Konut	0~10	22,09	11,04	33,13
Konut	11~20	28,25	14,12	42,37
Konut	21~Üstü	52,89	26,44	79,33
Konut Dışı	0~10	44,18	22,08	66,26
Konut Dışı	11~20	56,50	28,24	84,74
Konut Dışı	21~Üstü	105,78	52,88	158,66
Resmi Daire	Kademesiz	33,13	16,56	49,69
Park ve Mezarlık	Kademesiz	32,71		32,71
Organize Sanayi	Kademesiz	41,15	20,57	61,72
Nato ve Elçilik	Kademesiz	62,22	31,10	93,32

Antalya İlının 2020 yılı su ihtiyacı 150,74 hm³ olup, ildeki mevcut su kaynaklarının potansiyeli 197,20 hm³/yıl'dır. Halen %44,98 olan su kayıp-kaçak oranının azaltılmaması durumunda, 2027 yılından itibaren mevcut su kaynaklarının kapasitesi şehrin içme suyu ihtiyacını karşılayamayacaktır (Şekil 3.1) (DSİ, 2020).



Şekil 3.2 : Antalya İli su arz-talep grafiği (DSİ, 2020).

İzmir İlının 2020 yılı su ihtiyacı 223,59 hm³ olup ildeki mevcut su kaynaklarının potansiyeli 320,89 hm³/yıl'dır. Şehirdeki su kayıp-kaçak oranının (%28,83) azaltılmaması durumunda 2037 yılında şehirdeki mevcut su kaynakları yetersiz kalacaktır. Şekil 3.3'de görüldüğü üzere ilde bulunan mevcut su potansiyeline ek olarak 2037 yılında yeni tesislerin planlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır (DSİ, 2020).



Şekil 3.3 : İzmir İli su arz-talep grafiği (DSİ, 2020).

Akdeniz ikliminin hâkim olduğu Antalya’da, kışlar ılıman ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kurak geçer. En yoğun yağışlar ocak ve aralık aylarında görülürken, temmuz-ağustos aylarında yağış miktarı oldukça düşüktür (Antalya İÇDR, 2022). Antalya iline ait mevsim normalleri Çizelge 3.6 ile verilmektedir (MGM, 2020).

Çizelge 3.6 : Antalya İline ait mevsim normalleri, ölçüm periyodu (1938 - 2022) (MGM, 2020).

ANTALYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	10,0	10,7	12,9	16,4	20,6	25,3	28,5	28,4	25,3	20,6	15,5	11,7	18,8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	5,1	5,8	6,7	8,0	9,8	11,4	11,8	11,3	9,8	7,9	6,3	4,9	8,2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,57	10,53	8,61	6,49	5,17	2,55	0,54	0,56	1,72	5,49	7,45	11,91	73,6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	234,9	151,8	91,7	49,3	32,4	11,0	4,5	4,4	17,1	71,5	129,5	256,8	1054,9

İzmir'in iklimi, yaz aylarında sıcak ve kurak, kış aylarında ise ılık ve yağışlı olarak tanımlanmıştır. İzmir genelindeki yükseklik, batı ve kıyıya uzaklık gibi fiziksel coğrafya farklılıkları, yağış, sıcaklık ve güneş açısından önemli iklim varyasyonlarına neden olmaktadır. Temmuz-Ağustos ayları en kurak, ocak-aralık ayları ise en yağışlı dönemleri kapsamakta; kar yağışı neredeyse hiç görülmemektedir (İzmir İÇDR, 2022). İzmir iline ait mevsim normalleri Çizelge 3.7 ile verilmektedir (MGM, 2020).

Çizelge 3.7 : İzmir İline ait mevsim normalleri, ölçüm periyodu (1938 - 2022) (MGM, 2020).

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	8,8	9,6	11,6	15,9	20,8	25,4	27,9	27,7	23,8	18,9	14,3	10,6	17,9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4,3	5,2	6,4	8	9,9	11,6	12,3	11,9	10,1	7,6	5,6	4,2	8,1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,66	10,69	9,27	7,88	5,31	2,33	0,45	0,54	1,93	5,36	8,75	12,74	77,9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	134,8	103,4	75,1	45,7	31,3	12,4	4,1	5,9	15,1	44,1	91,8	146,2	709,9

Ülkemizin 30 BŞB olan Antalya ve İzmir ülkemizin önde gelen gelişmiş kentlerindendir. Her iki ilde de nüfus artışı eğilimi bulunmaktadır. Artan nüfus ile birlikte Antalya’da kısa vadede (2027), İzmir’de ise orta vadede (2037) mevcut kaynakların içme suyu talebini karşılayamayacağı öngörülmektedir.

Antalya ve İzmir aynı zamanda en gözde turizm kentleridir. Özellikle turizm sezonunun açılması ile birlikte yaz aylarında meydana gelen ani nüfus artışı, su kaynaklarına olan baskıyı artırmaktadır. Ayrıca illerdeki yaşanan mevsimlik nüfus farkı, su kanalizasyon idarelerinin işletimini zorlaştırmaktadır. Kış mevsiminde hizmet verilen yerli nüfusun oluşturduğu aboneliklerden kazanılabilen su idaresi gelirleri, yerli nüfus kapasitesi kadar bir altyapı sağlanmasına yetmektedir. Ancak yaz sezonunda artan nüfus ile birlikte ilave alt yapı ve su üretimi masrafları doğmakta bu da su tesislerinin işletim dengesini bozmaktadır. Bireylerin şebekeye olan bağımlılığını azaltarak mevcut su kaynaklarına yapılan baskıyı azaltacak alternatif su kaynaklarının bu bölgelerde yaygınlaştırılması önem arz etmektedir.

YSH ve GSK sistemlerinin tasarımında ve fayda-maliyet analizinde kullanılan formüller, varsayımlar, kabüller ve hesap sonuçları aşağıda verilmiştir. İzmir ilinde projelendirilen otel binası için tasarlanan YSH ve GSK sistemleri, tüm hesaplama detayları ile verilerek çalışmanın metodolojisi aktarılmıştır. Otel (Antalya), konut, sanayi tesisi, alışveriş merkezi ve hastane örnekleri aynı metodoloji ve eşitlikler kullanılarak hesaplanmış; yapı özelliklerine ait bilgiler ve hesap sonuçları aktarılmıştır.

3.1 YSH Sistemlerinin Tasarlanması

3.1.1 Otel (İzmir)

İzmir ilinde projelendirilen otel binasına ilişkin bilgiler Çizelge 3.8 ile verilmiştir. Otel binası 365 gün hizmet veren 30 yatak sayısına sahip bir işletmedir. Kullanım amacı turistik tesis/konaklama olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.8 : Otel (İzmir) binasına ait bilgiler.

Kullanılan Parametreler	Değerler
İl	İzmir
Bina tipolojisi	Otel
Personel sayısı	23
Yatak sayısı	30
Ziyaretçi sayısı	455
Çatı alanı (m ²)	800
Çatı malzemesi	Teras çatı

Çizelge 3.8 (devam): Otel (İzmir) binasına ait bilgiler.

Kullanılan Parametreler	Değerler
Yeşil alan (m ²)	300
Araç sayısı	3
Bina kat sayısı	12
Su tarifi (TL/m ³)	66,26

Otelde yatak odalarının bulunduğu kat sayısı 3'tür. Yapıda 9 bodrum + 1 zemin + 2 normal kat olmak üzere toplamda 12 kat bulunmaktadır. Diğer katlarda restoran, balo salonu, toplantı odaları ve masaj, hamam, fitness salonları bulunmaktadır. Gecelik konaklamalar haricinde, otelde verilen faaliyetlere katılan ziyaretçi sayılarının da hesaplamalarda dikkate alınması için salonlarda ağırlanabilecek ziyaretçi sayıları, salon alanlarında kişi başına düşen m² alan hesabıyla bulunmuştur. Buna göre, salonların kişi kapasiteleri **Çizelge 3.9** ile verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Sosyal alanlardaki kişi sayıları.

Kullanılan Parametreler	Yemek Salonu	Balo Salonu	Spor Salonları
Toplam alan (m ²)	430	430	110
Kişi başına düşen alan (m ² /kişi)	2	2	4,5
Kişi sayısı	215	215	25

Otelde çalışacak olan personel sayısı Türkiye'de oda ve yatak başına düşen personel sayısı referans değerlerine göre alınmıştır. Buna göre 30 odası bulunan 4 yıldızlı otelin oda başına düşen personel sayısı 0,76 olarak alınmış ve 23 kişi personel olacağı kabul edilmiştir (Ağaoğlu, 1992).

Otelin gerçekleşen konaklama sayılarına göre doluluk oranı **Çizelge 3.10** ile verilmiştir. Turizm sezonunun açılmasıyla doluluk oranı artan otel, yıllık ortalama %75 doluluk oranına sahiptir. Otelin aylara göre doluluk oranları su ihtiyacı hesaplarında göz önüne alınmıştır.

Çizelge 3.10 : Otelin aylara göre doluluk oranları.

Tarih (ay)	Doluluk oranı (%)
Ocak	56
Şubat	56
Mart	64
Nisan	59
Mayıs	35
Haziran	100

Çizelge 3.10 (devam): Otelin aylara göre doluluk oranları.

Tarih (ay)	Doluluk oranı (%)
Temmuz	100
Ağustos	100
Eylül	100
Ekim	100
Kasım	79
Aralık	51
Yıllık ortalama	75

Toplanabilir yağmur suyu miktarı hesabında, 800 m² teras çatı alanına sahip otel için yüzey akış katsayısı 0,85 olarak belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan filtreden kaynaklı su kayıpları için 0,9 filtre etkinlik katsayısı hesaba eklenmiştir. Toplanabilir yağmur suyu miktarının hesabında denklem 2.1 ile verilen eşitlik kullanılmıştır.

MGM İllere Ait Mevsim Normalleri verilerine göre, otelin bulunduğu bölgeye ait 1938-2022 ölçüm periyodunda yıllık ortalama yağış miktarları ve yağışlı gün sayılarına karşılık hesaplanan toplanabilir yağmur suyu miktarları Çizelge 3.11 ile verilmiştir (MGM, 2023c). Buna göre bölgede en yüksek yağmur suyu potansiyeli Aralık ayında gerçekleşirken, Temmuz ayında en düşüktür.

Çizelge 3.11 : İzmir İli yıllık ortalama yağış miktarı ve yağışlı gün sayılarına karşılık otelde toplanabilir yağmur suyu miktarı.

Tarih (ay)	Yağış Miktarı (mm)	Yağışlı gün sayıları (gün)	Toplanan Yağmur Suyu Miktarı (m³/ay)
Ocak	134,8	12,66	82,5
Şubat	103,4	10,69	63,3
Mart	75,1	9,27	46,0
Nisan	45,7	7,88	28,0
Mayıs	31,3	5,31	19,2
Haziran	12,4	2,33	7,6
Temmuz	4,1	0,45	2,5
Ağustos	5,9	0,54	3,6
Eylül	15,1	1,93	9,2
Ekim	44,1	5,36	27,0
Kasım	91,8	8,75	56,2
Aralık	146,2	12,74	89,5
Yıllık	709,9	77,9	434,5

Otel binasına gelen misafir sayısı, Çizelge 3.10 ile verilen otel doluluk oranları göz önüne alınarak yatakların kişi kapasitesi kadar kabul edilmiştir. Bölüm 2.1.6.3’da anlatılan sifon suyu kullanım sayılarına ve armatür kapasitelerine göre sifon suyu ihtiyacı (Çizelge 3.12); bitki su ihtiyacına göre yeşil alan sulama suyu miktarı (Çizelge

3.13) hesaplanmıştır. Ayrıca sifon suyu ihtiyacından arta kalan yağmur suyunun değerlendirilebileceği diğer kullanım alanlarındaki su ihtiyacı da hesaplanmıştır.

Çizelge 3.12 : Sifon suyu ihtiyacı hesabı.

Su İhtiyacı Unsuru	Değer	Birim
Tuvalet rezervuar hacmi	6	L
Personel başı günlük sifon kullanım sayısı	5	kere
Personel başına sifon suyu ihtiyacı	30,00	L/kişi.gün
Misafir başı günlük sifon kullanım sayısı	5	kere
Misafir başına sifon suyu ihtiyacı	30	(L/gün.kişi)
Ziyaretçi başı günlük sifon kullanım sayısı	1	kere
Ziyaretçi başına sifon suyu ihtiyacı	6	(L/gün.kişi)
Günlük sifon suyu ihtiyacı (%100 dolu iken)	5,22	(m ³ /gün)
Günlük sifon suyu ihtiyacı (%75 ortalama dolu iken)	4,07	(m ³ /gün)

Çizelge 3.13 : Yeşil alan sulama suyu ihtiyacı hesabı.

Su İhtiyacı Unsuru	Değer	Birim
Bitki su ihtiyacı	10	L/m ² .gün
Yeşil alan büyüklüğü	300	m ²
Aylık ortalama sulama suyu ihtiyacı	60,9	m ³ /ay
Yıllık toplam sulama suyu ihtiyacı	730,7	m ³ /yıl

İzmir otelde yıl boyunca aylara göre değişen toplanabilir yağmur suyu, yeniden kullanım alanlarındaki su ihtiyacı ve bunlara göre şebeke suyundan tasarruf potansiyelini gösteren yağmur suyu cetveli EK B’de verilmiştir.

Yağmur suyu depo hacminin belirlenmesi için depoya gelebilecek maksimum günlük yağış ve günlük maksimum su ihtiyacı miktarları karşılaştırılmıştır. Günlük su ihtiyacı, yağış miktarından fazla olduğu için gelebilecek tüm yağışın toplanması planlanmıştır. Uzun yıllar yağış rejimine bakıldığında gerçekleşen günlük maksimum yağış miktarı değerleri istisnai durumları temsil etmekte ve deponun bu yaklaşıma göre hesap edilmesiyle sistemin yatırım maliyeti epey yükselmektedir. Optimum fayda sağlanabilmesi adına; aylık gelen maksimum yağışların uzun yıllar ortalamasına bakılmış ve maksimum yağış alan ayın en az üç gününün depolanabilmesini sağlayacak kapasite “depo hacmi” olarak belirlenmiştir. İzmir otel binası için 10 m³ kapasiteli prizmatik galvaniz modüler tipte yağmur suyu deposu seçilmiştir.

Çizelge 3.14 : Yağmur suyu depo kapasitesi hesabı.

Parametre	Değer	Birim
Günlük su ihtiyacı	2,98*	m ³ /gün
En yağışlı ayda gelebilecek günlük yağış	0,95**	m ³ /gün
Depo hacmi (üç günlük yağış için)	8,95	m ³
Seçilen depo hacmi	10	m ³

*Sifon, sulama, araç yıkama ve temizlik alanlarındaki toplam su kullanımının en yüksek olduğu aydaki su ihtiyacının 30'a (gün) bölünmesiyle bulunmuştur.

** İzmir için uzun yıllar yağış ortalamasına göre, en fazla yağış Aralık ayında gerçekleşmektedir (146,2 mm). En yağışlı ayda gelebilecek günlük yağış, Aralık ayında toplanabilen yağmur suyu miktarının 30'a (gün) bölünmesiyle bulunmuştur.

Binanın çatı planı incelenerek, yağmur suyu toplama için iniş borularının 8 adet olmasına karar verilmiştir. Buna göre, yağmur borularının çapı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 3.1, yağmur borusunun gerekli alanını, denklem 3.2 yağmur borusu kesitini ve denklem 3.3 yağmur borusu çapını vermektedir.

$$S = P \times \frac{0,75 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} \quad (3.1)$$

P= Çatı alanı, m²

S= Gerekli yağmur borusu alanı, m²

$$A = \frac{S}{f} \quad (3.2)$$

A= Yağmur borusu kesiti

f= Kullanılan yağmur borusu adedi

$$D = 1,33 \times \sqrt{A} \quad (3.3)$$

D= Boru çapı

Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanan gerekli yağmur suyu inişi ana boru çapı hesabı Çizelge 3.15'de verilmiştir.

Çizelge 3.15 : Yağmur suyu boru çapı hesabı.

Parametre	Değer	Birim
Çatı alanı	800	m ²
Kullanılan yağmur borusu adedi, f	8	adet
Gerekli yağmur borusu alanı, S	600	cm ²
Yağmur borusu kesiti, A	75	cm ²
Boru çapı (ø)	100	mm

Yağmur suyu sistemi için gerekli olan hidrofor sistemi ve pompa özellikleri Çizelge 3.16 ile verilmiştir. Hidrofor sistemi ve pompa seçiminde kullanılan formüller ve

hesaplar EK C ile verilmiştir. Seçilen paket hidrofor sisteminin içinde biri yedek olmak üzere iki pompa, çek valf, basınç şalteri ve manometre dahildir.

Çizelge 3.16 : Yağmur suyu hidrofor sistemi ve pompa özellikleri.

Parametre	Değer	Birim
Pompa basınç çalışma aralığı	65,63 – 80,63	mSS
Pompa kapasitesi	2,09	m ³ /saat
Hidrofor tank kapasitesi	79	L

Sistemde yağmur suyu deposuna gelmeden önce, yağmur suyunun depolama tankına geçerken içerisindeki katı partiküllerin ve yaprakların depoya girişinin engellenmesi için filtre kullanılacaktır. İlaveten, giriş akış düzenleyici, yüzey emiş filtresi ve taşkan savağı konulacaktır. Filtre ve diğer yağmur suyu set ekipmanlarının bedelleri, arıtma maliyeti olarak ilk yatırım maliyetine eklenmiştir.

Yağmur suyu sistemi iletim ve dağıtım hattının boru ihtiyacının belirlenebilmesi için binanın sıhhi tesisat projesi incelenmiştir. Binada, hasat edilen yağmur suyunun tuvalet rezervuarlarına iletimi için yeni bir kolonla boru hattı çekilecektir. İlave edilecek boru tesisatı, mevcut mekanik tesisat kanalları ve shaftlarından tuvalet rezervuarlarının bulunduğu ıslak hacimlere kadar yapılacaktır.

Toplamda 12 kattan oluşan otel binasının 1. bodrum katı hariç olmak üzere tüm katlarında tuvalet mevcuttur. Binada su deposundan kullanım noktalarına kadar kullanılacak olan uygun çaptaki boruların uzunlukları her klozet için proje üzerinden ayrı ayrı ölçülmüştür. Toplam su ihtiyacı ve katlardaki tuvalet sayıları göz önüne alınarak ana boru, kolon borusu, kat borusu ve bağlantı borularının çapları belirlenmiştir. Döşenecek tesisat borusunda sistemin kontrolünün sağlanabilmesi için kesme vanası, çek vana, basınç şalteri, manometre; bağlantıların yapılabilmesi için kollektör; pompanın tıkanmalara karşı korunması için pislik tutucu yerleştirilmesi planlanmıştır. Yağmur suyu deposu, en alt bodrum katında konumlandırılacaktır. Yağmur suyu tesisatının kolon şeması EK D ile gösterilmektedir.

YSH sisteminin yatırım maliyeti bileşenleri; borulama, arıtma, depolama, pompa sistemi ve montajlama olarak sıralanmaktadır. Sistem tasarımında kullanılan tüm yatırım bedelleri ve sistemin işletimi için gerekli bedeller, Çizelge 3.17’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.17 : Yağmur suyu sisteminin maliyet kalemleri ve bedelleri.

Maliyet Kalemleri	Metraj	Birim Bedeli	Toplam Bedeli
BORU İHTİYACI			
DN15	50 m	₺17,00	₺850
DN20	300 m	₺34,00	₺10.200
DN25	300 m	₺50,00	₺15.000
DN32	100 m	₺67,00	₺6.700
PVC70	300 m	₺34,00	₺10.200
PVC100	300 m	₺50,00	₺15.000
PVC125	100 m	₺67,00	₺6.700
Kesme vanası	8	₺83,00	₺664
Kollektör	2	₺415,00	₺830
ARITMA			
Vortex Filtre	1	₺13.300	₺13.300
Giriş akış düzenleyici	1	₺3.700	₺3.700
Taşkan Sifonu	1	₺5.000	₺5.000
Yüzey Emiş Filtresi	1	₺4.200	₺4.200
DEPOLAMA			
10 m³ kapasiteli su deposu	1	₺26.081	₺26.081
POMPA SİSTEMİ			
Pislik tutucu	1	₺830	₺830
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 10 m³/h - 90 mSS	1	₺30.240	₺30.240
Hidrofor tankı	1	₺6.840	₺6.840
MONTAJLAMA			
DN15	50 m	₺9,00	₺450
DN20	300 m	₺17,00	₺5.100
DN25	300 m	₺25,00	₺7.500
DN32	100 m	₺34,00	₺3.400
PVC70	300 m	₺17,00	₺5.100
PVC100	300 m	₺25,00	₺7.500
PVC125	100 m	₺34,00	₺3.400
Kesme vanası	8	₺42,00	₺336
Kollektör	2	₺208,00	₺416
Hidrofor tank	1	₺8.300	₺8.300
TOPLAM YATIRIM MALİYETİ			₺197.837,02
İŞLETME MALİYETİ			₺3.000,00

Çizelge 3.11’de verildiği üzere İzmir otelde toplanabilir yağmur suyu miktarı 435,5 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Su birim fiyatının konut dışı aboneler için 66,26 TL/m³ olduğu İzmir ilinde yıllık 435,5 m³ şebekeden su tasarrufu ile 28.787,24 TL ekonomik tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir.

Yatırım-işletme maliyetleri ile ekonomik tasarruf göz önüne alınarak yatırımın geri ödeme süresini hesaplamada kullanılan NBD ölçütü, denklem 3.4’de verilen eşitlikle ifade edilmektedir.

$$NBD = -Y_0 + \sum_{n=1}^n \frac{NF_n}{(1+i)^n} \quad (3.4)$$

NBD = Net bugünkü değer

Y₀ = İlk yatırım maliyeti

NF = Net fayda

i = İskonto oranı

n = Yıl

NF (Net Fayda) hesaplanması için denklem 3.5’de verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$NF = \{(GK_s \times F_s) + (GK_s \times A_{ksub})\} - IB \quad (3.5)$$

GK_s = Yıllık geri kazanılan su miktarı (m³)

F_s = Birim su fiyatı (TL/m³)

A_{KSUB} = Birim kullanılmış su uzaklaştırma bedeli (TL/m³)

IB = Yıllık işletme ve bakım gideri, TL

Yukarıda sunulan NBD formülü ile İzmir otel için hesaplanan fayda-maliyet analizi cetveli Çizelge 3.18 ile verilmektedir.

Çizelge 3.18 : İzmir otel YSH sistemi fayda-maliyet analizi cetveli.

Fayda ve Maliyetler	İlk yıl	NBD ile hesaplanan 9.yıl
Yatırım Maliyeti	₺197.837,02	₺188.416,20
İşletme Maliyeti	₺3.000,00	₺6.763,99
Yıllık Fayda	₺28.787,24	₺204.614,57
Yıllık Net Fayda	₺25.787,24	₺12,92

Buna göre; 30 yatak kapasiteli, 365 gün açık olan, 800 m² çatı alanına sahip otel binasında uygulanacak olan YSH sisteminin yatırımı 9 yıl sonra geri ödenmektedir.

İzmir otel binası için çalışılan fayda-maliyet analizinde izlenen metodoloji ve hesapların tümü otel (Antalya), konut, sanayi tesisi, alışveriş merkezi ve hastane alanları için de uygulanmıştır. Farklı tipolojilerde yağmur suyu sistemlerinin uygulanabilirliği kıyaslanmıştır.

3.1.2 Konut

Konut binası çatı üstü YSH sistemi tasarımı ve fizibilite analizi sonuçları Çizelge 3.19 ile verilmiştir. Konut binası için tasarlanan YSH sistemiyle toplanan suyun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür. 2400 m² çatı alanı bulunan konut binasında 1227 m³/yıl su hasat edilmesiyle sifon suyu kullanım alanında %16 şebeke suyundan tasarruf sağlanabilmektedir. Aralık ayında su tasarruf potansiyeli %39'a çıkmaktadır. Konut binası abone tarifesi diğer abone tiplerine oranla daha düşük olup 33,13 TL/m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 40.641 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. Buna karşılık ilk yatırım maliyeti 225.669 TL'dir. Fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 7 yıl olarak bulunmuştur. Konut yağmur suyu sistemine ait oluşturulan yağmur suyu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK E ile verilmiştir.

Çizelge 3.19 : Konut uygulama alanı YSH sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	İzmir	
Yağış miktarı	709,90	mm
Bina tipolojisi	Konut	
Yaşayan kişi sayısı*	450	kişi
Misafir sayısı**	45	kişi
Çatı alanı	2400	m ²
Çatı malzemesi	Kiremit çatı	
Yeşil alan	750	m ²
Su tarifesi	33,13	TL/m ³
Toplanan yağmur suyu miktarı	1.226,71	m ³ /yıl
Seçilen depo kapasitesi	25	m ³
Sifon suyu ihtiyacı	7.873,20	m ³ /ay
Şebeke suyundan tasarruf	16	(%)
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	40.640,81	TL/yıl
Yatırım maliyeti	225.669,06	TL
İşletme maliyeti	3.000,00	TL/yıl
Yıllık net fayda	37.640,81	TL/yıl
Geri ödeme süresi	7	yıl

*Yaşayan kişi sayısının hesaplanmasında ortalama hane halkı büyüklüğü 3 kabul edilmiştir (TÜİK, 2022c).

** Misafir sayısının, yaşayan kişi sayısının %10'u kabul olduğu kabul edilmiştir.

3.1.3 Sanayi tesisi

Çatı üstü YSH sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışılan sanayi tesisinin çalışma sonuçları Çizelge 3.20 ile verilmiştir. 4000 m² çatı alanı bulunan Sanayi tesisinde 2.044 m³/yıl su hasat edilmesiyle sifon suyu kullanım alanında %47 şebeke suyundan tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Aralık ve ocak aylarında toplanabilen yağmur suyu miktarı sifon suyu ihtiyacını aşmaktadır. Aralık ve ocak ayında sifon suyu ihtiyacı fazlasının yeşil alan sulama suyu olarak kullanılabileceği öngörülmüştür. Buna göre Ocak %37, Aralık %81 oranında yeşil alan sulama suyu ihtiyacından tasarruf sağlanabilmektedir. Sanayi tesisi abone tarifiesi mesken abonelere göre daha yüksek olup 66,26 TL/m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 135.469 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. İlk yatırım maliyeti 188.830 TL olan sistemin fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 2 yıl olarak bulunmuştur. Sanayi tesisi yağmur suyu sistemine ait oluşturulan yağmur suyu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK E ile verilmiştir.

Çizelge 3.20 : Sanayi tesisine ait bilgiler.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	İzmir	
Yağış miktarı	709,90	mm
Bina tipolojisi	Sanayi tesisi	
Personel sayısı	400	kişi
Ziyaretçi sayısı	20	kişi
Çatı alanı	4.000	m ²
Çatı malzemesi	Galvaniz sandviç panel	
Yeşil alan	500	m ²
Su tarifiesi	66,26	TL/m ³
Toplanan yağmur suyu miktarı	2.044,50	m ³ /yıl
Seçilen depo kapasitesi	40	m ³
Sifon suyu ihtiyacı	4.356,00	m ³ /yıl
Yeşil alan sulama suyu ihtiyacı	1.217,85	m ³ /yıl
Şebeke suyundan tasarruf	%47	(%)
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	135.469,37	TL/yıl
Yatırım maliyeti	188.830,02	TL
İşletme maliyeti	3.000,00	TL/yıl
Yıllık net fayda	132.469,37	TL/yıl
Geri ödeme süresi	2	yıl

3.1.4 Otel (Antalya)

Antalya’da 600 yatak kapasitesine sahip otel binası için çalışılan çatı üstü YSH sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Çizelge 3.19 ile verilmiştir. Otel binası için tasarlanan YSH sistemiyle yağmur suyunun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür. 4280 m² çatı alanı bulunan otel binasında 2.477 m³/yıl su hasat edilmesiyle sifon suyu kullanım alanında %20 şebeke suyundan tasarruf sağlanabilmektedir. Antalya İlinde otel/iş yeri abone tarifesı Temmuz 2022 tarihinde 30,765 TL/m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 76.213 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. İlk yatırım maliyeti 803.559 TL olan sistemin fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 16 yıl olarak bulunmuştur. Antalya otel binası yağmur suyu sistemine ait oluşturulan yağmur suyu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK E ile verilmiştir.

Çizelge 3.21 : Otel uygulama alanı YSH sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	Antalya	
Yağış miktarı	803,9	mm
Bina tipolojisi	Otel	
Personel kişi sayısı	320	kişi
Misafir sayısı	1.200	kişi
Çatı alanı	4.280	m ²
Çatı malzemesi	Teras çatı	
Su tarifesı	30,765	TL/m ³
Toplanan yağmur suyu miktarı	2.477	m ³ /yıl
Seçilen depo kapasitesi	50	m ³
Sifon suyu ihtiyacı	12.264	m ³ /yıl
Şebeke suyundan tasarruf	20	(%)
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	76.213,18	TL/yıl
Yatırım maliyeti	803.558,71	TL
İşletme maliyeti	2.150,00	TL/yıl
Yıllık net fayda	74.063,18	TL/yıl
Geri ödeme süresi	16	yıl

3.1.5 Alışveriş merkezi

Antalya’da alışveriş merkezi için çalışılan çatı üstü YSH sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Çizelge 3.25 ile verilmiştir. Alışveriş merkezi 18.500 m² alan ile büyük bir çatı yüzeyine sahiptir. Alışveriş merkezi için tasarlanan YSH sistemiyle yağmur suyunun sifon suyu, yeşil alan sulama, araç yıkama ve genel temizlik işlerinde kullanılması öngörülmüştür. Kullanım alanlarında ihtiyaç duyulan su miktarları göz önüne alındığında hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı 8.247 m³/yıl olmaktadır.

Hasat edilen suyla sifon suyu ihtiyacı %70 oranında karşılanabilmektedir. Sifon suyu ihtiyacı fazlası gelen yağışların diğer kullanımlar (sulama, araç yıkama ve temizlik) için kullanılacağı düşünülmüştür. Aralık, Ocak ve Şubat aylarında seçilen kullanım alanlarındaki tüm su ihtiyacı karşılanabilmektedir.

Antalya İlinde alışveriş merkezinin bulunduğu bölgede iş yeri abone tarifesini Temmuz 2022 tarihinde 33,92 TL/m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 279.712 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. Fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 3 yıl olarak bulunmuştur. Antalya alışveriş merkezi yağmur suyu sistemine ait oluşturulan yağmur suyu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK E ile verilmiştir.

Çizelge 3.22 : Alışveriş merkezi alanı YSH sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	Antalya	
Yağış miktarı	803,9	mm
Bina tipolojisi	Alışveriş merkezi	
Personel kişi sayısı	300	kişi
Misafir sayısı	1.000	kişi
Çatı alanı	18.500	m ²
Çatı malzemesi	Kiremit çatı	
Yeşil alan	2.000	m ²
Su tarifesini	33,92	TL/m ³
Toplanan yağmur suyu miktarı	8.247	m ³ /yıl
Seçilen depo kapasitesi	50	m ³
Sifon suyu ihtiyacı	7.665	m ³ /yıl
Yeşil alan sulama suyu ihtiyacı	7.836	m ³ /yıl
Araç yıkama su ihtiyacı	60	m ³ /yıl
Genel temizlik su ihtiyacı	888	m ³ /yıl
Şebeke suyundan tasarruf	53	%
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	279.711,59	TL/yıl
Yatırım maliyeti	633.675,75	TL
İşletme maliyeti	2.150,00	TL/yıl
Yıllık net fayda	277.561,59	TL/yıl
Geri ödeme süresi	3	yıl

3.1.6 Hastane

Antalya’da hastane için çalışılan çatı üstü YSH sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Çizelge 3.23 ile verilmiştir. Hastane 10.070 m² alan ile büyük bir çatı yüzeyine sahiptir. Hastane için tasarlanan YSH sistemiyle yağmur suyunun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür.

Kullanım alanlarında ihtiyaç duyulan su miktarları göz önüne alındığında hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı 5.464 m³/yıl olmaktadır. Günlük ortalama 1000 hastanın ziyaret ettiği hastanede YSH sisteminin uygulanmasıyla sifon suyu ihtiyacı %23 oranında karşılanabilmektedir.

Özel iş yeri abonesi olan hastaneye uygulanan su tarifiesi Temmuz 2022 tarihinde 33,92 TL/m³'tür. Buna göre yıllık 185.320 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. Fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 7 yıl olarak bulunmuştur. Hastane yağmur suyu sistemine ait oluşturulan yağmur suyu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK E ile verilmiştir.

Çizelge 3.23 : Hastane alanı YSH sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	Antalya	
Yağış miktarı	803,9	mm
Bina tipolojisi	Hastane	
Personel kişi sayısı	800	kişi
Ziyaretçi kişi sayısı	1.000	kişi
Çatı alanı	10.070	m ²
Çatı malzemesi	Teras çatı	
Su tarifiesi	33,92	TL/m ³
Toplanan yağmur suyu miktarı	5.464,2	m ³ /yıl
Seçilen depo kapasitesi	3 adet 50	m ³
Sifon suyu ihtiyacı	23.760,00	m ³ /yıl
Şebeke suyundan tasarruf	23	%
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	185.319,87	TL/yıl
Yatırım maliyeti	1.005.462,93	TL
İşletme maliyeti	2.150,00	TL/yıl
Yıllık net fayda	183.169,87	TL/yıl
Geri ödeme süresi	7	yıl

3.2 GSK Sistemlerinin Tasarlanması

YSH sistemleri tasarlanan otel, konut, sanayi tesisi, alışveriş merkezi ve hastane yapılarında aynı zamanda grisu sistemi tasarım ve fayda-maliyet analizi de çalışılmıştır. Her yapı için GSK sistemi uygulanması çalışılmış; alışveriş merkezi için ilave olarak YSH ve GSK sisteminin birleşik olarak uygulanması çalışılmıştır.

Tasarımda izlenen metodoloji İzmir otel örneği üzerinden anlatılmış, diğer alanlar için analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

3.2.1 Otel (İzmir)

Başlık 3.1.1 'de detayları verilen aynı otel için GSK sistemi tasarımı ve fayda-maliyet analizi çalışılmıştır. **Çizelge 3.8**'de verildiği üzere turistik tesis olarak hizmet veren otelde 23 personel çalıştığı, maksimum misafir (konaklayan) sayısının 60 kişi, ziyaretçi (oteldeki faaliyetlere katılan) sayısının 455 kişi olduğu kabul edilmiştir. Bu kişilerin muhtemel kullanım alışkanlıkları incelenerek otelin hem yatak odalarında hem de salon katlarında oluşan geri kazanılabilecek grisu miktarı hesaplanmıştır.

Otelin kat planları incelenerek grisu kaynaklanan tüm su kullanım alanları analiz edilmiş ve mevcut armatür sayıları çıkarılmıştır (Çizelge 3.24). Çamaşır ve bulaşık makinelerinin de bulunduğu otelde, kirlilik yükünün diğerlerine kıyasla daha az olduğu düşünüldüğünden küvet ve lavabolardan kaynaklanan grisuyun toplanacağı öngörülmüştür. Küvet ve lavabolardan kaynaklanan grisu arıtılarak toplam 53 adet bulunan klozetlere beslenecektir.

Çizelge 3.24 : Grisu toplanan kullanımlar ve sayıları.

Armatür tipi	Toplam adet sayısı
Küvet Sayısı	53
Lavabo Sayısı	67
Klozet Sayısı	53

Başlık 2.2.6.1'de anlatıldığı üzere, toplanabilir grisu miktarı hesabında binadaki kişilerin kullanım alışkanlıkları ve armatürlerin referans değerleri göz önüne alınmıştır (Çizelge 3.25).

Çizelge 3.25 : Otel binasında toplanabilir grisu miktarı.

Toplanabilir Grisu Miktarı		
Lavabolar		
Akma süresi	1	dakika
Akma debisi	2,5	lt/dk
Misafir kullanım sayısı	5	kere/gün
Personel kullanım sayısı	10	kere/gün
Ziyaretçi kullanım sayısı	1	kere/gün
Lavabolar grisu debisi	2,46	m ³ /gün

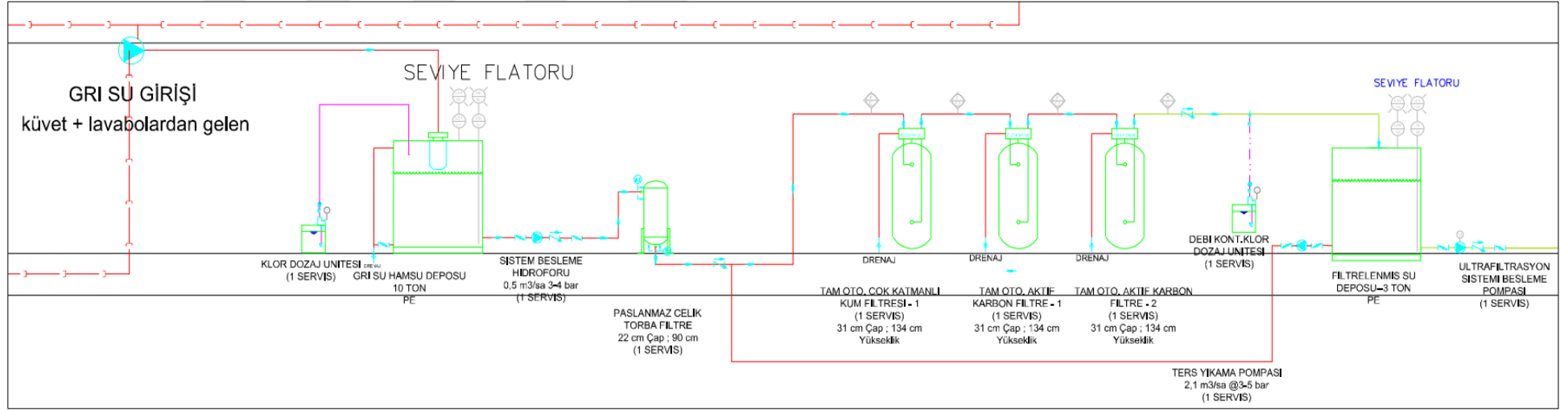
Çizelge 3.25 (devam) : Otel binasında toplanabilir grisu miktarı.

Toplanabilir Grisu Miktarı		
Küvetler		
Akma süresi	15	dakika
Akma debisi	10	lt/dk
Misafir kullanım sayısı	0,5	kere/gün
Personel kullanım sayısı	0,1	kere/gün
Ziyaretçi kullanım sayısı*	0,5	kere/gün
Küvetler grisu debisi	6,72	m ³ /gün
Toplam lavabo ve küvetlerden kaynaklanan grisu miktarı	9,18	m ³ /gün

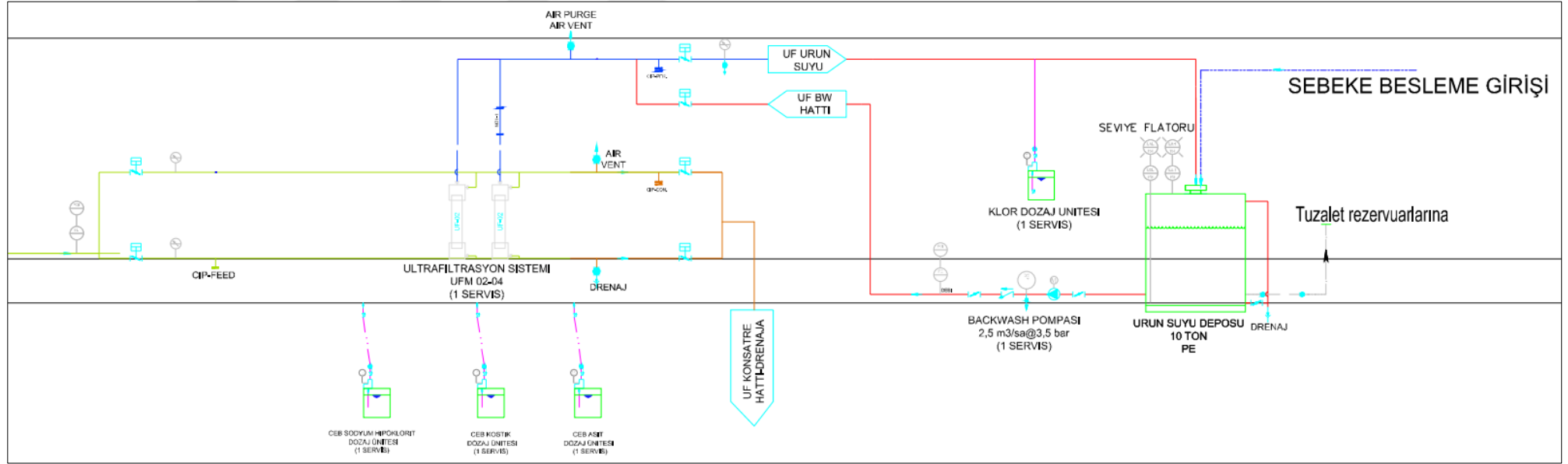
*Sadece spor salonundaki ziyaretçiler alınmıştır.

Günlük maksimum toplanabilir grisu, otelin aylara göre doluluk oranları ile çarpılarak aylık toplanabilir grisu miktarları bulunmuştur. Toplanabilir grisu miktarı ile artıran grisyun yeniden kullanılabileceği alanlardaki su ihtiyacının kıyaslaması yapılmıştır. Alternatif kullanım alanları sifon suyu, yeşil alan sulama suyu, genel temizlik ve araç yıkama olarak belirlenmiştir. Çizelge 3.12 ile verildiği üzere sifon suyu ihtiyacının tamamı (5,22 m³/gün), toplanabilir grisu miktarı (9,18 m³/gün) ile karşılanabilmektedir. Ayrıca ihtiyaç fazlası su kalmakta ve yeşil alan sulama, araç yıkama ve temizlik amaçları için kullanılabilmektedir. Aylık karşılanabilen su ihtiyaçları ile su tasarrufu potansiyelini gösterir grisu cetveli EK B ile verilmiştir.

Günlük 9 m³ grisu üretilen İzmir otelde günlük sifon suyu ihtiyacı, otelin tam dolu olduğu aylarda 5,22 m³ olmaktadır. Otele 10 m³/gün kapasiteli grisu arıtma sistemi seçilerek sifon suyu ihtiyacı fazlası arıtılmış grisyun diğer alanlarda kullanılması öngörülmüştür. Toplamda kazanılan grisu ile karşılanabilen su ihtiyacı 5.8 m³/gün'dür. Şekil 3.4'de seçilen grisu arıtma sisteminin yerleşimi verilmiştir. Otel'in GSK sistemi için çizilen kolon şeması ise EK F'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : Otel binasında GSK arıtma sistemi yerleşimi (1. Kısım).



Şekil 3.5 : Otel binasında GSK arıtma sistemi yerleşimi (2. Kısım).

Arıtılan grisuyun kullanım alanlarına iletimi için hidrofor sistemi ve pompa kullanılacaktır. 10 m³/gün kapasiteli grisu sistemi için seçilen hidrofor sistemi ve pompa özellikleri Çizelge 3.26 ile verilmiştir.

Çizelge 3.26 : Grisu hidrofor sistemi ve pompa özellikleri.

Parametre	Değer	Birim
Pompa basınç çalışma aralığı	65,63-80,63	mSS
Pompa kapasitesi	3,67	m ³ /saat
Hidrofor tank kapasitesi	139	L

Grisu sisteminin elektrik işletme maliyetinin bulunması için sistemde bulunan besleme hidroforu ve pompaların elektrik gücüyle günlük çalışma süreleri dikkate alınarak yıllık elektrik bedeli hesaplanmıştır (Çizelge 3.27). Elektrik birim fiyat listesi EK G ile verilmektedir.

Çizelge 3.27 : Grisu sisteminin elektrik tüketimi.

Parametre	Değer	Birim
Sistemin günlük ortalama çalışma süresi	8	saat
Günlük elektrik tüketimi	14	kWsaat
Elektrik tarife bedeli	279,0395	kr/ kWsaat
Yıllık elektrik işletme maliyeti	14.143	TL/yıl

Grisu sistemi periyodik bakım ve kontrol gerektiren sistemlerdir. Bu kapsamda işletme maliyetine yıllık bakım-onarım masrafı dahil edilmiştir. Grisu sistemi tedarigi yapan firmalardan alınan fiyatlara göre 10 m³/gün kapasiteli grisu sistemi için 26.000 TL/yıl alınmıştır. Grisu arıtma sistemi kapasitesine göre alınan bakım-onarım bedelleri EK H ile verilmiştir.

GSK sisteminin yatırım maliyeti bileşenleri; borulama, mekanik ekipman, montaj ve arıtma olarak sıralanmaktadır. Sistem tasarımında kullanılan tüm yatırım bedelleri ve sistemin işletimi için gerekli bedeller, Çizelge 3.27’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.28 : İzmir otel GSK sisteminin maliyet kalemleri ve bedelleri.

Maliyet Kalemleri	Metraj	Birim Bedeli	Toplam Bedeli
BORU İHTİYACI			
DN15	198	₺17,00	₺3.366
DN25	198	₺50,00	₺9.900
DN32	100	₺67,00	₺6.700
PVC70	198	₺34,00	₺6.732
PVC100	198	₺50,00	₺9.900
PVC125	100	₺67,00	₺6.700
MEKANİK EKİPMAN			
Kesme vanası	33	₺83	₺2.739

Çizelge 3.28 (devam) : İzmir otel GSK sisteminin maliyet kalemleri ve bedelleri.

Maliyet Kalemleri	Metraj	Birim Bedeli	Toplam Bedeli
Kollektör	2	₺415,00	₺830
Paket hidrofor sistemi	1	₺30.240	₺30.240
Hidrofor Tankı	1	₺6.840	₺6.840
MONTAJLAMA			
DN15	198	₺9,00	₺1.782
DN25	198	₺25,00	₺4.950
DN32	100	₺34,00	₺3.400
PVC70	198	₺17,00	₺3.366
PVC100	198	₺25,00	₺4.950
PVC125	100	₺34,00	₺3.400
Kesme vanası	33	₺42	₺1.386
Kollektör	2	₺208,00	₺416
Montaj Bedeli (Manometre, basınç şalteri, çekvalf ve tüm montaj malzemeleri dahil)	1	₺8.000	₺8.000
ARITMA			
10 m ³ grisu arıtma sistemi	1	₺507.000	₺507.000
TOPLAM YATIRIM MALİYETİ			₺622.597,00
ELEKTRİK İŞLETME MALİYETİ			₺14.143,00
BAKIM-ONARIM MALİYETİ			₺26.000,00

Günlük 5,8 m³ grisu arıtımı ile 365 gün açık olan İzmir otelde geri kazanılabilen grisu miktarı 1.667,24 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Su birim fiyatının konut dışı aboneler için 66,26 TL/m³ olduğu İzmir ilinde yıllık 222.077,84 TL ekonomik tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir.

NBD formülü ile İzmir otel için hesaplanan fayda-maliyet analizi cetveli Çizelge 3.29 ile verilmektedir.

Çizelge 3.29 : İzmir otel GSK sistemi fayda-maliyet analizi cetveli.

Fayda ve Maliyetler	0. yıl	NBD ile hesaplanan 12.yıl
Yatırım Maliyeti	₺622.597,00	₺592.950
İşletme Maliyeti	₺40.143	₺355.795
Yıllık Fayda	₺110.471	₺979.135
Yıllık Net Fayda	₺70.329	₺707

Buna göre; 10 m³/gün grisu sistemi uygulanacak olan otel binasında GSK sisteminin yatırımı 12 yıl sonra geri ödenmektedir.

İzmir otel binası için çalışılan fayda-maliyet analizinde izlenen GSK sistemi metodoloji ve hesapların tümü otel (Antalya), konut, sanayi tesisi, alışveriş merkezi ve hastane alanları için de uygulanmıştır.

3.2.2 Konut

İzmir İlindeki konut binası GSK sistemi tasarımı ve fizibilite analizi sonuçları Çizelge 3.30 ile verilmiştir. Konut binası için tasarlanan GSK sistemiyle geri kazanılan suyun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür. 450 kişinin ikamet ettiği konut binasında 7.300 m³/yıl grisuyun geri kazanılmasıyla sifon suyu ihtiyacının %90'ı karşılanabilmektedir. Grisu arıtma sistem kapasitesi 20 m³/gün olarak belirlenmiştir. Konut binası abone tarifesi diğer abone tiplerine oranla daha düşük olup 33,13 TL/m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 241.849 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. Buna karşılık ilk yatırım maliyeti 853.540 TL'dir. Fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 6 yıl olarak bulunmuştur. Konut GSK sistemine ait oluşturulan grisu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK I ile verilmiştir.

Çizelge 3.30 : Konut uygulama alanı grisu sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	İzmir	
Bina tipolojisi	Konut	
Yaşayan kişi sayısı	450	kişi
Misafir sayısı	45	kişi
Yeşil alan	750	m ²
Su tarifesi	33,13	TL/m ³
Toplanan grisu miktarı	7.300	m ³ /yıl
Seçilen arıtma sistemi kapasitesi	20	m ³ /gün
Sifon suyu ihtiyacı	7.873,20	m ³ /ay
Su tasarruf potansiyeli	90	%
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	241.849	TL/yıl
Yatırım maliyeti	853.540	TL
İşletme maliyeti	53.973	TL/yıl
Yıllık net fayda	187.876	TL/yıl
Geri ödeme süresi	6	yıl

3.2.3 Sanayi tesisi

GSK sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışılan İzmir ilindeki sanayi tesisinin çalışma sonuçları Çizelge 3.31 ile verilmiştir. 400 personeli bulunan sanayi tesisinde, duş ve küvet kullanımları bulunmadığı için sadece lavabolardan kaynaklanan grisu miktarı hesaplanmıştır. Günlük lavabo kullanımından kaynaklı 5,25 m³ grisu üretilen tesiste grisu arıtma sistemi kapasitesi 10 m³/gün olarak belirlenmiştir. Sanayi tesisinde 1.890 m³/yıl grisuyun geri kazanılmasıyla sifon suyu su ihtiyacının %42'si

karşılanabilmektedir. Sanayi tesisi abone tarifesı mesken abonelere göre daha yüksek olup 66,26 TL/m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 117.445 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. İlk yatırım maliyeti 611.514 TL, işletme maliyeti 44.844 TL/yıl olan sistemin fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 12 yıl olarak bulunmuştur. Sanayi tesisi GSK sistemine ait oluşturulan grisu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK I ile verilmiştir.

Çizelge 3.31 : Sanayi tesisi alanı grisu sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	İzmir	
Bina tipolojisi	Sanayi tesisi	
Personel sayısı	400	kişi
Ziyaretçi sayısı	20	kişi
Yeşil alan	500	m ²
Su tarifesı	66,26	TL/m ³
Toplanan grisu miktarı	1.890,00	m ³ /yıl
Seçilen arıtma sistemi kapasitesi	10	m ³ /gün
Sifon suyu ihtiyacı	4.356,00	m ³ /yıl
Sifon suyu tasarruf potansiyeli	42	%
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	117.445	TL/yıl
Yatırım maliyeti	611.513,50	TL
İşletme maliyeti	44.844,41	TL/yıl
Yıllık net fayda	72.600,19	TL/yıl
Geri ödeme süresi	12	yıl

3.2.4 Otel (Antalya)

Antalya’da 600 yatak kapasitesine sahip otel binası için çalışılan GSK sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Çizelge 3.32 ile verilmiştir. Otel binası için tasarlanan GSK sistemiyle grisuyun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür. Otelde spa ve spor salonları da dahil olmak üzere duş ve lavabolardan kaynaklanan grisu miktarı oldukça fazladır. Otel için 2 adet 40 m³/gün olmak üzere toplamda 80 m³/gün kapasiteli grisu arıtma sistemi seçilmiştir. Otel binasında 21.801 m³/yıl grisu geri kazanılmasıyla sifon suyu kullanım alanında %100 su tasarrufu sağlanabilmektedir. Antalya İlinde otel/iş yeri abone tarifesı Temmuz 2022 tarihinde 30,765 TL/m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 670.732 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. İlk yatırım maliyeti 3.534.635,68 TL olan sistemin fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 9 yıl olarak bulunmuştur. Antalya otel binası GSK sistemine ait oluşturulan grisu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK I ile verilmiştir.

Çizelge 3.32 : Antalya otel alanı grisu sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	Antalya	
Bina tipolojisi	Otel	
Personel kişi sayısı	320	kişi
Misafir sayısı	1.200	kişi
Su tarifesı	30,765	TL/m ³
Toplanabilir grisu miktarı	21.801	m ³ /yıl
Seçilen arıtma sistemi kapasitesi	40 (2 adet)	m ³ /gün
Sifon suyu ihtiyacı	12.264	m ³ /yıl
Su tasarruf potansiyeli	100	%
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	670.731,51	TL/yıl
Yatırım maliyeti	3.534.635,68	TL
İşletme maliyeti	163.095,29	TL/yıl
Yıllık net fayda	507.636,22	TL/yıl
Geri ödeme süresi	9	yıl

3.2.5 Alışveriş merkezi

Antalya’da alışveriş merkezi için çalışılan GSK sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Çizelge 3.25 ile verilmiştir. Alışveriş merkezinde grisu üreten kaynaklar sadece lavabo kullanımlarıdır. Alışveriş merkezi için tasarlanan GSK sistemiyle grisuyun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür. Günlük sifon suyu ihtiyacı 21 m³/gün iken, toplanabilir grisu miktarı 10.5 m³/gün olmaktadır. Grisu artıma sisteminin 10 m³/gün olarak seçildiği alışveriş merkezinde sifon suyu ihtiyacının %46’sından tasarruf edilebilmektedir. Antalya İlinde alışveriş merkezinin bulunduğu bölgede iş yeri abone tarifesı Temmuz 2022 tarihinde 33,92 TL/m³ olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 123.790 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. Fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 6 yıl olarak bulunmuştur. Antalya alışveriş merkezi GSK sistemine ait oluşturulan grisu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK I ile verilmiştir.

Çizelge 3.33 : Alışveriş merkezi alanı grisu sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	Antalya	
Bina tipolojisi	Alışveriş merkezi	
Personel kişi sayısı	300	kişi
Misafir sayısı	1.000	kişi
Su tarifesı	66,26	TL/m ³
Toplanan grisu miktarı	3.650	m ³ /yıl
Seçilen arıtma sistemi kapasitesi	10	m ³ /gün

Çizelge 3.33 (devam): Alışveriş merkezi alanı grisü sistemi.

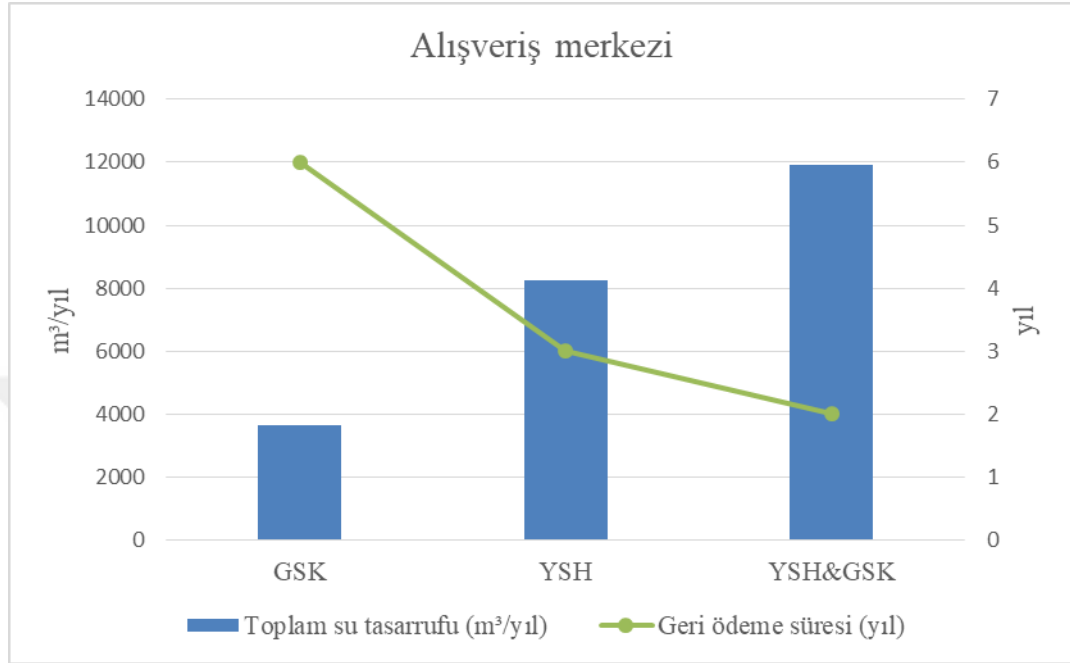
Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
Sifon suyu ihtiyacı	7.665	m ³ /yıl
Su tasarruf potansiyeli	46	(%)
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	123.789,75	TL/yıl
Yatırım maliyeti	422.270,17	TL
İşletme maliyeti	33.758,83	TL/yıl
Yıllık net fayda	90.030,92	TL/yıl
Geri ödeme süresi	6	yıl

Alışveriş merkezinde lavabolardan kaynaklanan grisü miktarı, tuvalet rezervuarlarında sifon suyu ihtiyacını karşılayamamıştır. GSK sisteminin YSH sistemi ile birlikte kullanılması senaryosu çalışılarak sifon, sulama, araç yıkama ve temizlik ihtiyaçlarının karşılanması planlanmıştır. Birleşik sisteme ait yatırım kalemleri mükerrer olmayacak şekilde toplanmıştır. Çizelge 3.33’de birleşik sisteme ait sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 3.34 : Alışveriş merkezi alanı YSH ve GSK birleşik sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	Antalya	
Bina tipolojisi	Alışveriş merkezi	
Personel kişi sayısı	300	kişi
Misafir sayısı	1.000	kişi
Çatı alanı	18.500	m ²
Çatı malzemesi	Kiremit çatı	
Su tarifiesi	66,26	TL/m ³
Toplanan yağmur suyu miktarı	8.247	m ³ /yıl
Seçilen depo kapasitesi	50	m ³
Toplanan grisü miktarı	3.650	m ³ /yıl
Seçilen arıtma sistemi kapasitesi	10	m ³ /gün
Sifon suyu ihtiyacı	7.665	m ³ /yıl
Yeşil alan sulama suyu ihtiyacı	7.836	m ³ /yıl
Araç yıkama su ihtiyacı	60	m ³ /yıl
Genel temizlik su ihtiyacı	888	m ³ /yıl
Su tasarruf potansiyeli	72	(%)
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	403.501,34	TL/yıl
Yatırım maliyeti	660.187,84	TL
İşletme maliyeti	33.758,83	TL/yıl
Yıllık net fayda	369.742,51	TL/yıl
Geri ödeme süresi	2	yıl

Birleşik sistemin uygulanmasıyla Şekil 3.6’da görüldüğü üzere; YSH ve GSK sistemlerinin kazandırabileceği su miktarının (11.897 m³/yıl), belirtilen kullanım alanlarında su tasarrufunu %72’ye yükselttiği ve geri ödeme süresinin 2 yıla düştüğü sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.6 : Alışveriş merkezinde çalışılan fayda-maliyet analizi sonuçlarının karşılaştırılması.

3.2.6 Hastane

Antalya’da hastane için çalışılan GSK sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Çizelge 3.23 ile verilmiştir. Hastane için tasarlanan GSK sistemiyle grisuyun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür. Hem duş hem de lavabo kullanımları bulunan hastanenin grisu üretimi yüksektir. Kullanım alanlarında ihtiyaç duyulan su miktarları göz önüne alındığında geri kazanılabilen grisu miktarı 21.170 m³/yıl olmaktadır. Hastane için 3 adet 20 m³/gün kapasiteli grisu arıtma sistemi kapasitesi belirlenmiştir. Günlük ortalama 1000 hastanın ziyaret ettiği hastanede GSK sisteminin uygulanmasıyla sifon suyu ihtiyacı %89 oranında karşılanabilmektedir.

Özel iş yeri abonesi olan hastaneye uygulanan su tarifiesi Temmuz 2022 tarihinde 33,92 TL/m³’tür. Buna göre yıllık 717.981 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. Fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 5 yıl olarak bulunmuştur. Hastane GSK sistemine ait oluşturulan grisu cetveli EK B ve yatırım-işletme maliyetleri detayları EK I ile verilmiştir.

Çizelge 3.35 : Hastane alanı grisu sistemi.

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	Antalya	
Bina tipolojisi	Hastane	
Personel kişi sayısı	800	kişi
Ziyaretçi kişi sayısı	1.000	kişi
Su tarifiesi	33,915	TL/m ³
Toplanan grisu miktarı	21.170	m ³ /yıl
Seçilen arıtma sistemi kapasitesi	20 (3 adet)	m ³ /gün
Sifon suyu ihtiyacı	23.760	m ³ /yıl
Su tasarruf potansiyeli	89	%
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	39	TL/yıl
Yatırım maliyeti	2.271.848,18	TL
İşletme maliyeti	145.703,10	TL/yıl
Yıllık net fayda	717.980,55	TL/yıl
Geri ödeme süresi	5	yıl

3.3 Kırım-yapım maliyetinin geri ödeme süresine etkisi

İzmir ilinde seçilen binalar ise projelendirme aşamasında olan inşaatı başlamamış alanlardır. Bu tez çalışması kapsamında, yapılar henüz proje aşamasında olduğu için tesisat değişikliğinden kaynaklanacak kırım ve yapım maliyeti göz önüne alınmamıştır. Bu maliyetin geri ödeme süreleri üzerindeki etkisinin anlaşılması için İzmir ilindeki binaların mevcut durumda kullanılan binalar olması da ilave senaryo olarak çalışılmıştır. Bu durumda binalarda muhtemel tesisat değişiklikleri ve bu nedenle oluşabilecek kırım ve yapım maliyetleri göz önüne alınmıştır. Çizelge 3.36'da karşılaştırmaları verilmektedir.

Çizelge 3.36 : İzmir İli seçilen alanlarda kırım-yapım maliyetinin geri ödeme süresine etkisi.

Alanlar	Proje Aşamasında Uygulandığında		Kullanım Aşamasında Uygulandığında	
	Yatırım maliyeti, TL	Geri ödeme süresi, yıl	Yatırım maliyeti, TL	Geri ödeme süresi, yıl
Otel (İzmir), YSH	197.837,02	9	325.037,02	18
Otel (İzmir), GSK	622.597,00	12	749.797,00	16

Çizelge 3.36 (devam): İzmir İli seçilen alanlarda kırım-yapım maliyetinin geri ödeme süresine etkisi.

Alanlar	Proje Aşamasında Uygulandığında		Kullanım Aşamasında Uygulandığında	
	Yatırım maliyeti, TL	Geri ödeme süresi, yıl	Yatırım maliyeti, TL	Geri ödeme süresi, yıl
Konut, YSH	225.669,06	7	345.669,06	12
Konut, GSK	853.540,00	6	973.540,00	7
Sanayi Tesisi, YSH	188.830,02	2	227.230,02	2
Sanayi Tesisi, GSK	611.513,50	12	649.913,50	13

Yapıların proje aşamasında ve kullanım aşamasında olduğu durumlardaki uygulanabilirlikleri, yatırımların geri ödeme süreleri üzerinden ölçülmüştür. Çizelge 3.36'ya göre İzmir ilindeki otelde YSH sistemi bina projelendirilirken tasarlandığında 9 yıl olurken, kullanım halindeki otele uygulandığında iki katına çıkmaktadır. Benzer şekilde GSK sisteminde de kullanım aşamasında uygulanması geri ödeme süresini artırmaktadır. Ancak GSK sistemi ilk yatırım maliyeti, YSH sistemine göre daha yüksek olduğundan otel kırım-yapım maliyetinin (127.200 TL) geri ödeme süresine etkisi daha düşük olmuştur. Konut yapılarında da otel örneğinde olduğu gibi kırım-yapım maliyeti geri ödeme süresini uzatmaktadır. Sanayi tesisinde ise YSH sistemlerinin yapının inşasına başlamadan önce uygulanması geri ödeme süresinde bir fark yaratmamış, GSK sisteminde de sadece 1 yıllık fark olacağı hesaplanmıştır. Bunun nedeni, çalışılan sanayi tesisi tek katlı bir yapı olup, tuvaletlerin bulunduğu ıslak hacim alanları dağınık değildir. Sanayi yapılarında ıslak alanların genellikle diğer yapılara göre daha toplu olduğu görülmektedir. Bu durum hem boru ihtiyacını hem de kırım-yapım maliyetini minimize etmektedir.

3.4 Şebeke Suyu Tasarruf Analizi

Yukarıda sonuçları verilen analizlerde YSH ve GSK sistemleri uygulanmasıyla belirtilen kullanım alanlarındaki (sifon suyu, bahçe sulama, temizlik ve araç yıkama) su tasarruf potansiyelleri hesaplanmıştır. Kazanılabilecek bu su tasarrufu miktarlarının yapılardaki toplam su tüketimi içindeki genel payının da ortaya çıkarılması için tüm binalardaki yıllık toplam su tüketimleri tahmin edilmiş, yağmur suyu ve grisu ile mevcut toplam su tüketimlerinden % tasarruf oranları hesaplanmıştır.

Yapılardaki toplam su tüketiminin kullanılmasında, TSE 1258 Temiz Su Tesisatı Hesap Kuralları kapsamında konutlardaki ve konut dışı yapılardaki su ihtiyaçları için belirlenen referans değerler esas alınmıştır (TSE, 1983). Bu kapsamda su tüketimi hesaplarında kullanılan değerler bina tipolojilerine göre Çizelge 3.37 ile verilmiştir.

Çizelge 3.37 : Bina tipolojilerine göre su ihtiyacı.

Yapı Tipi	Su İhtiyacı (L/kişi.gün)
Konutlar	100
Fabrikalar	45
Hastaneler- her hasta için (çamaşırhane ile birlikte)	135
Hastaneler- personel için	45
Oteller (küvetli)	150
Oteller- personel için	45
İş yerleri/ofisler*	45
Lokantalar	7

*Alışveriş merkezi su tüketimi hesabında iş yerleri ve lokanta su ihtiyacı referans alınmıştır.

Çalışılan yapılardaki toplam su tüketimi ve bu tüketimden sağlanabilecek tasarruf oranları (şebekeden tasarruf) YSH ve GSK sistemleri için sırasıyla Çizelge 3.38 ve Çizelge 3.39 ile verilmektedir. Sanayi tesisi ve alışveriş merkezi gibi geniş alana yayılmış yapılarda YSH tasarruf potansiyelinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Büyük bir tatil köyü niteliğinde olan Antalya otelde toplam su tüketimi hayli yüksektir, dolayısıyla oransal olarak tasarruf potansiyeli %3 olsa da YSH ile elde edilen su miktarı azımsanmayacak seviyededir. Hastanede de farklı amaçlar ile kullanılmak üzere önemli miktarda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Hastanelerde hijyen ve sağlık için vazgeçilmez unsur olan su ihtiyacından %9 oranında su potansiyeli sağlanabileceği görülmüştür.

GSK sistemleri, yaşayan insanlar var oldukça üretimi sağlanan devamlı bir kaynaktır. Çalışılan tüm yapılardaki tasarruf potansiyeli %21 ile %46 oranında değişmekte ve bu anlamda su tasarrufuna katkısı büyüktür.

Çizelge 3.38 : Çalışılan yapılardaki toplam su tüketimi ve YSH Sistemi ile sağlanabilen su tasarrufu oranları.

Yapılar	Toplanabilen Yağmur Suyu Miktarı (m³/yıl)	Sifon Suyu (m³/yıl)	Bahçe Sulama (m³/yıl)	Araç Yıkama (m³/yıl)	Temizlik (m³/yıl)	Su Kullanımı Referans Değeri (L/kişi.gün)	Kişi Sayısı (otel konuğu/hasta/yaşayan kişi)	Kişi Sayısı (Personel)	Binadaki Toplam Su Tüketimi (m³/yıl)	Su Tasarruf Oranı %
İZMİR										
OTEL	434,50	732,52	730,7	4,32	230,4	150	60	23	3.662,78	12%
KONUT	1.226,71	7.873,20	-	-	-	100	450	-	16.425,00	7%
SANAYİ TESİSİ	2.044,50	4.356,00	1.217,85	-	-	45	-	400	6.570,00	31%
ANTALYA										
OTEL	2.477,30	12.264,39	-	-	-	150	1200	320	70.956,00	3%
HASTANE	5.464,20	23.760,00	-	-	-	135	1000	800	62.415,00	9%
AVM	8.247,43	7.560,00	7.838,30	60,00	888,00	45	1000	300	17.191,50	48%

*Alışveriş merkezi toplam su tüketimi 45 L/personel.gün ve 7 L/ziyaretçi.gün olarak hesaplanmıştır.
Otel ve hastane yapılarında yatak sayılarına ek olarak personellerin su tüketimi de (45 L/personel.gün) toplam su tüketimine ilave edilmiştir.

Çizelge 3.39 : Çalışılan yapılardaki toplam su tüketimi ve GSK Sistemi ile sağlanabilen su tasarrufu oranları.

	Geri Kazanılan Grisu Miktarı (m³/yıl)	Sifon Suyu (m³/yıl)	Bahçe Sulama (m³/yıl)	Araç Yıkama (m³/yıl)	Temizlik (m³/yıl)	Su Kullanımı Referans Değeri (L/kişi.gün)	Kişi Sayısı (otel konuğu/hasta/yaşayan kişi)	Kişi Sayısı (Personel)	Binadaki Toplam Su Tüketimi (m³/yıl)	Su Tasarruf Oranı %
İZMİR										
OTEL	1.667,20	732,52	730,7	4,32	230,4	150	60	23	3.662,78	46%
KONUT	7.300,00	7.873,20	-	-	-	100	450	-	16.425,00	44%
SANAYİ TESİSİ	1.890,00	4.536,00	1.217,85	432,00	115,20	45	-	400	6.570,00	29%
ANTALYA										
OTEL	21.801,77	12.264,39	9.795,38	-	-	150	1200	320	70.956,00	31%
HASTANE	21.170,00	23.760,00	-	-	-	135	1000	800	62.415,00	34%
AVM	3.650,00	7.560,00	-	-	-	45	1000	300	17.191,50	21%

*Alışveriş merkezi toplam su tüketimi 45 L/personel.gün ve 7 L/ziyaretçi.gün olarak hesaplanmıştır.
Otel ve hastane yapılarında yatak sayılarına ek olarak personellerin su tüketimi de (45 L/personel.gün) toplam su tüketimine ilave edilmiştir.

Fayda ve maliyet analizleri, seçilen bina tipolojilerinin her biri için ayrı ayrı yapılmış ve nihai sonuçlar yıl cinsinden geri ödeme süreleri olarak verilmiştir. Karşılaştırmalar hesaplanan geri ödeme sürelerine göre yapılmıştır. Her iki alternatif su kaynağı için de uygulanabilir geri dönüş oranı 10 yıldan az olarak kabul edilmiştir. Başlık 0'ın altında İzmir Otel örneği için YSH ve GSK sistemi fayda-maliyet analizinde izlenen yol ve hesaplamalar ayrıntılı olarak verilmiştir. 3.1 ve 3.2 başlıkları altında açılmış olan her başlık, seçilen bina tipolojileri için hesaplanan geri ödeme sürelerini özetlemektedir. Ayrıntılı tasarım kriterleri ve nihai fayda-maliyet analizlerine yol açan hesaplamalar Eklerde ayrıca sunulmuştur. Verilen bilgiler, seçilen 6 tipoloji için su tasarruflarının hesaplanmasını, yatırım ve işletme maliyetlerini ve fayda- maliyet analizlerini kapsamaktadır.

Bu tez çalışmasında beklenen ve hesaplanan verilere göre farklı bina tipolojilerindeki su tasarrufları birbirinden farklıdır ve bu durum geri ödeme sürelerini etkilemektedir. Ancak, ayrı ayrı veya birlikte uygulanan her iki yeniden kullanım stratejisinin de, yatırımların 10 yıl veya daha kısa sürelerde amorti edilmesi halinde ekonomik fizibiliteyi sağlayabileceği öngörülmektedir. Kuzeydoğu Meksika'da her iki stratejinin de uygulandığı bir üniversite kampüsünde amortisman süresi 6 yıl olarak bulunmuştur (Zavala ve diğ., 2016). Hindistan, hızla artan nüfusunun getirdiği talep ile birlikte su sıkıntısı yaşayan bir ülkedir. Bu ülkeden YSH sisteminin tasarımı üzerine yakın zamanda yapılan bir çalışma, seçilen 19 çatıdan su toplanan bir Güney Hindistan Üniversitesinin kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Geri ödeme süresi 13 yıl olarak hesaplanan çalışmada sonuç uygulanabilir olarak değerlendirilmiştir (Anchan ve Shiva Prasad, 2021). Aybuga ve Isıldar (2017) ise Ankara, Türkiye'de hem YSH hem de GSK sistemlerinin geri ödeme süresini hane düzeyinde yaklaşık 5 yıl olarak hesaplamıştır. Güney Afrika'nın Kwa-Zulu Natal Eyaleti, Durban'daki tek ailelik bir evde her iki sistem üzerinde uygulamalı bir vaka çalışması yapılmış ve ilgili geri ödeme süresi 4,39 yıl olarak bulunmuştur (Zhang ve diğ., 2021).

YSH ve GSK sistemlerinin maliyet etkinliğine ilişkin bir başka ilginç çalışma da yakın zamanda sekiz farklı ülkede bulunan müstakil evlerde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar tatlısuya erişim, suyun fiyatı, suyun kalitesi, iklim değişikliği ve şehrin yağış rejimine bağlı olarak oldukça değişkenlik göstermiştir. Bununla birlikte, çalışmanın genel sonucu, bu tür yeni teknolojilerin ve bunların finansal göstergelerinin, binanın konumu

ne olursa olsun uzun vadede fayda sağlayacağı yönündeki yaklaşımın gerçekliğini ortaya koymuştur (Stec ve Slys, 2022).

Aynı çalışma kapsamında 8 farklı Avrupa kentinde yapılan anketlerin sonucuna göre, YSH sistemlerinin GSK sistemlerine göre nispeten daha fazla tercih edildiği görülmektedir. Bu bulgu, GSK sistemlerinin sorgulanabilir hijyenik koşullarına ilişkin toplumsal bir soruna vurgu yapmaktadır. Bu durum, Yu ve diğ. (2016) tarafından yürütülen ve GSK sisteminin kullanımını teşvik etmek için GSK sistemlerine bazı finansal teşvikler sağlanması gerektiğinin altını çizen çalışmada da görülmektedir. Son olarak, Al-Saidi (2021) ve Al-Khatib ve diğ. (2022) yeniden kullanım uygulamalarının sosyal kabulüne ilişkin bilgileri özetlemiştir. Su kaynağı, teknoloji ve son kullanım unsurları göz önünde bulundurularak, genel yeniden kullanım denemeleri ve suyun yeniden kullanımına yönelik sosyal izolasyonlar hakkında metodik bir bakış açısı sunmaktadır. Bu nedenle, yeniden kullanım uygulamalarından ilham almak sadece teknolojik ve finansal bir özellik değildir; aynı zamanda ülke çapında yürütülecek yaygınlaştırma faaliyetlerini gerektiren sosyo-ekonomik bir anlayışı da yönetir. Geri ödeme sürelerine ek olarak, tuvalet sifonu, sulama, zemin temizliği ve araba yıkama gibi içme suyu kalitesi gerektirmeyen alanlarda, YSH ve GSK uygulamaları ile sağlanabilen su tasarrufunun önemli düzeyde olduğu görülmüştür.

3.5 Teknik Esaslar ve İşletme Koşulları

YSH ve GSK sistemlerinin uygulanabilirliğinin ölçülmesinin ardından, sistemlerin sürdürülebilirliğinin sağlanması için önemli adımlardan biri teknik ve işletme esaslarına hakim olmaktır. Bu sistemlerin kontrolünün ve denetiminin yapılması için yerel ve ulusal ölçekte sorumlular belirlenmelidir. Aynı zamanda sistemlerin arıza yapması durumunda bakım servislerine bilgi vermek üzere yeterli eğitimi almış bir kişinin görevlendirilmesi gerekmektedir.

Kontrol sağlanması için etkin bir alternatif de; ek besleme sistemi, dolum seviye ölçümü, taşma izleme, arıza mesajı, pompa kontrolü, tüketim ölçümü, veri kaydı gibi işlemleri içerecek bir otomasyon sisteminin kurulmasıdır. Ancak otomasyon sistemleri oldukça maliyetli olduğundan sistemlerin fizibilitesini düşürmektedir. Bu nedenle büyük ölçekli yerlerin kullanımı ve küçük ölçekli yerlerin ortak kullanımı değerlendirilebilir.

3.5.1 YSH sistemi

Su tutma yüzeyi olan çatı alanlarının yağışlı dönemlerden önce temizlenmesi, çatıda sarkan ağaç dalları olmamalıdır. Böylelikle sonbaharda ya da şiddetli rüzgarlarda çatıdan gelen dal, yaprak veya tozların sistemi tıkaması engellenir. Aynı zamanda ağaçlara konan kuşlardan veya böceklerden kaynaklı kirlilik yükü taşınımı zorlaştırılmış olur.

Yağmur suyu sistemi tasarımında depoya iletilen ancak depo kapasitesini aşan yağışlar, taşkın savağı ve deşarj hattı aracılığıyla varsa yağmur suyu kanalına yoksa toprağa yönlendirilecek şekilde projelendirilmelidir.

Çatıda yapı malzemesi olarak akışkan, pürüzsüz ve metal yüzeylerin kullanılması önemlidir. Uygulama örnekleri sonucunda, çatıda metalik malzeme kullanımının sabah gelen çığı de biriktirerek topladığını göstermiştir.

Yağmur suyunu toplama tankına ya da sarnıca aktaracak boruların çaplarının maksimum taşıma sağlayabilmesi için ani yağışlar da dikkate alarak hesaplanmalıdır.

Temiz su ve arıtılacak yağmur suyunun kesinlikle karışmaması, bunun önlenmesi için boru renkleri, makine tesisat projesi aşamasından itibaren farklı olarak belirlenmelidir.

Yağmur suyu filtrelerinin belirli periyotlarla değiştirilmesi önerilmektedir. Ancak filtrelerin değiştirilme sıklığı genel geçer bir zaman aralığından ziyade bölgeye inen yağmurun şiddeti ve yağma sıklığı göz önüne alınarak uzmanlar tarafından belirlenmelidir.

Depolarda yosunlanma ve alg patlamasını önleyecek, kanserojen olmayan malzemeler seçilmelidir. Depoların donma, ısınma ve alg patlaması gibi sorunlara karşı da dayanıklı hale getirilmesi gerekir. Örneğin deponun güneş ışınlarına maruz kalması her üç değişken ile olumsuz yönde etkileşerek alg patlaması ve bakteri üremesine neden olabilir. Deponun malzemesi ve konumu bu hususlar göz önüne alınarak seçilmelidir.

Proje ve uygulama aşamalarında yağmur suyu ve şebeke suyu tesisatları için farklı renk kodları kullanılmalıdır, böylece binada çapraz bağlantıların önüne geçilecektir. Ayrıca, binanın belirli yerlerine "Bu binada yağmur suyu toplama sistemi kullanılmaktadır", "yağmur suyu", ve "çapraz bağlantılara izin verilmez" gibi uyarı etiketleri yerleştirilmelidir (Doğangönül ve Doğangönül, 2009; İSKİ, 2022).

3.5.2 GSK sistemi

Grisu tesisatında kullanılan borular açık mor renkte, geri kazanım sularına ait borular ise koyu mor renkte olmalıdır. Her iki tesisat türü için de borular üzerine uygun işaretleme ve yazılar eklenerek, tesisat arızası durumunda karışıklığı önlemek adına etiketlenmelidir.

Grisu arıtma sistemine düzenli olarak yılda bir kez yetkili firma tarafından bakım yapılmalı ve kontrolü sağlanmalıdır.

Grisu arıtma sisteminde filtrelerin temizlenmesi için ters yıkama hattı kullanılması gerekmektedir.

Sistemde oluşabilecek kokuların önlenmesi için havalandırma hattının kullanılması önerilmektedir.

Yoğun kullanımların olduğu günlerde olası taşmalara karşı taşkan savağı kullanılarak kanalizasyona bağlantısı bulunmalıdır. Grisuyun toprağa akmasına, sızmasına izin verilmemelidir.

Arıtılmış grisuyun gün içerisinde tüketilemediği durumda en fazla 3 gün olacak şekilde bekletilmeden, kanalizasyona deşarj edilmesi sağlanmalıdır.

Depo tasarımında kullanılan malzeme kötü kokuya sebebiyet vermemeli, tüm sızdırmazlık önlemleri alınmalıdır.

Arıtılmış su deposunda suyun tükenmesi ya da yetersiz kalması durumunda, şehir şebeke hattından tek yönlü olarak depoya besleme yapılması önerilmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yağmur suyunun hasat edilmesi ve kullanılmış suların yeniden kullanımı her ne kadar eski çağlardan beri uygulanan yöntemler olsa da; günümüzde iklim değişikliği etkilerinin giderek olumsuz sonuçlar doğurması ve bu etkilerin kayda değer bir şekilde azaltılmasının kısa vadede sağlanamayacağı gerçeğinin kabullenilmiş olması iklim değişikliğine uyum bağlamında bu sürdürülebilir sistemleri her zamankinden daha önemli bir konu haline gelmiştir.

Son yıllarda sıkça maruz kaldığımız taşkın olayları ve kurak dönemler gibi aşırı hava şartları tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de doğayı tahrip etmekte, can kayıplarına neden olmakta ve ekonomik açıdan ciddi zararlara yol açmaktadır. Aşırı sıcaklar sebebiyle kurumaya terk edilen su kaynakları, aşırı hava olayları yüzünden tarımsal verimde ve buna bağlı olarak ekonomik kalkınmadaki düşüş, olumsuz sonuçlardan bazılarıdır. Bu konuda acilen atılması gereken en önemli adım, kentlerimizi iklim değişikliğine dirençli hale getirecek uygulamaların yaygınlaştırılmasıdır.

Bu tez çalışması, iklim değişikliğine uyum kapsamında önemli uygulamalar olan YSH ve GSK sistemlerinin tasarımına ve uygulanmasına ilişkin bilgilerin açık bir şekilde anlatılmasıyla kullanıcılara yol gösterilmesini hedeflemektedir.

Türkiye'nin önemli turizm kentlerinden olan İzmir ve Antalya illerinde bulunan otel (2 adet), konut, sanayi tesisi, hastane ve alışveriş merkezi olmak üzere 6 farklı bina tipolojisi için YSH ve GSK sistemlerinin fayda-maliyet analizleri tezin ana konusudur. Tasarım hesaplamaları sırasında her iki alternatif su kaynağı için de temel tasarım kriterleri dikkate alınmış ve sonuçlar geri ödeme süreleri ve su tasarrufu şeklinde sunulmuştur. Bu alternatif su kaynaklarının kullanımına ilişkin bilimsel çalışmalar 10 yıldan kısa geri ödeme sürelerinin oldukça tatmin edici olduğunu belirtmektedir ve bu bulgu, Türkiye'nin İzmir ve Antalya illerinden seçilen farklı tipolojiler aracılığıyla doğrulanmıştır. Tasarım kriterlerine ve binaların tesisat planlarına dayanarak gerçekçi varsayımlara dayalı olarak yapılan hesaplamalar, amortisman süreleriyle birlikte yatırım ve işletme maliyetlerinin ayrıntılı olarak hazırlanmasını sağlamıştır. Gerçek vakalar üzerinde yürütülen bu çalışma, dünyanın farklı bölgelerinde suyun yeniden

kullanımı ile ilgili benzer çabalarla ilgilenen diğer bilim insanları ve uygulayıcılar tarafından takip edilebilecek kapsamlı örnekler ortaya koymuştur.

İncelenen örneklerden çıkarılan dersler, güçlü ve zayıf yönlerine göre değerlendirilebilir. Her iki sistem de, özellikle turizm sektörünün ağırlıkta olduğu ve yılın ayları boyunca büyük nüfus dalgalanmaları yaşayan il ve ilçelerde su kıtlığı sorununa uygun bir çözüm gibi görünmektedir. YSH sisteminin kurulum ve işletim açısından nispeten daha kolay bir su kazanma sistemi olduğu anlaşılmaktadır. Mutlaka yüksek teknik uzmanlık, pahalı ekipman ve teçhizat gerektirmemektedir. Ancak hasat edilen su miktarı, etkin çatı yüzey alanının genişliğine ve bölgenin aldığı yağış miktarına bağlıdır. Bu anlamda, metodolojinin uygulanması kolaydır; ancak su akış hızı mekansal ve zamansal olarak değişen bir sistem olduğundan YSH sistemlerinin verimi değişken olabilmektedir. Yine nicelikten ziyade nitelik açısından daha güvenli bir sistem olarak değerlendirilmektedir. GSK sistemlerinde ise geri kazanılabilen su miktarı, binanın kullanım amacına ve kişi sayısına bağlıdır. Toplantı, etkinlik gibi faaliyetlerin devamlı olduğu ve turistik faaliyetlere hizmet eden otellerin grisu üretimi fazladır. Ancak sadece lavabo kullanımlarının olduğu ve günü belirli saatleri açık olan binalarda (alışveriş merkezi, okul vb.) grisu potansiyeli daha düşük olmaktadır.

Sanayi tesislerinin çatı alanı genellikle diğer tipolojilere göre daha büyük olduğu için YSH potansiyeli yüksektir. Ayrıca bu yapılarda YSH tesisatın bağlantısının yapılacağı ıslak hacimler dağınık olmadığından sanayi yapılarında ilave borulama ve altyapı bedeli yüksek olmamaktadır. İzmir sanayi tesisi YSH sistemi fayda-maliyet analizi sonucuna göre geri ödeme süresi 2 yıl çıkmıştır.

YSH yoluyla alışveriş merkezinde sifon, sulama, araç yıkama ve temizlik alanlarındaki yağmur suyu kullanımı ile yapının toplam su tüketiminden %48 oranında tasarruf sağlanabileceği görülmüştür. Alışveriş merkezinde grisu toplanabilecek kaynaklar sadece lavabolardır. Lavabolardan kaynaklanan grisu sifon suyu olarak kullanılmak üzere geri kazanıldığında sifon suyunun tamamını karşılayamamaktadır. GSK sistemine ilave olarak YSH sisteminin de uygulanması durumu çalışılmış; alışveriş merkezindeki toplam su tüketiminin %69'unun yağmur suyu ve grisu ile karşılanabileceği hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi sadece GSK sistemi uygulandığında 6 yıl iken, YSH & GSK birleşik sisteminde 2 yıla düşmüştür.

YSH sistemlerinin geri ödeme süresi Antalya otel hariç (16 yıl) tüm alanlarda 10 yılın altında bulunmuştur. Antalya'daki otelde geri ödeme süresinin yüksek olması ıslak hacimlerin dağınıklığı nedeniyle boru ve montaj ihtiyacının yüksek olmasıdır. Antalya otel GSK sistemi ise otellerdeki grisu üretiminin fazla olmasından dolayı yüksek su tasarrufu sağlanabilen yerlerdendir. Toplanabilen grisu ile sifon suyu ihtiyacının tamamı karşılanmaktadır ve yatırımın geri ödeme süresi 9 yıldır.

GSK sistemleri genellikle bir arıtma tesisine ihtiyaç duyduğundan YSH sistemlerine göre daha fazla teknik detay gerektirmektedir. Günümüzde, paket membran modülleri üreticiler tarafından basitçe tedarik edilmekte ve ayrıca tüm sistemin işletimi sırasında teknik destek sağlamaktadırlar. Bunun yanında, grisu sürekli olarak üretildiği için su debisi sorunu yoktur ve dezenfeksiyondan sonra tuvaletlerin yıkanması için güvenle kullanılabilir. Sonuç olarak, her iki su kaynağının kullanımı da yadsınamaz bir su tasarrufu sağlayacaktır. Su kazancı da alıcı su kaynaklarını koruyacak ve atık su arıtma tesislerinin kirlilik yükünü azaltacaktır. Ayrıca, su faturaları büyük ölçüde azalacağı için mali bir fayda da sağlanacaktır.

GSK yoluyla toplam su tüketiminden tasarruf (şebeke suyundan tasarruf) hastane için %34, alışveriş merkezi için %21 ve otel için %31 olarak hesaplanmıştır. Su ve ekonomik tasarruf değerlerinden de görüldüğü üzere, bu uygulamalarla yüksek fayda elde edilebilmekte ve bu sayede özellikle kentleşmiş bölgelerde tatlısu kaynakları daha etkin kullanılabilir. Son olarak, bu alternatif sistemlerin sağladığı büyük fayda konusunda kamuoyunun bilinçlendirilmesi ve ilgisinin artırılması, hükümet ve yerel yönetimler tarafından uygulanması kadar üzerinde durulması gereken bir diğer konudur. Ayrıca, iklim değişikliğine karşı önemli bir uyum eylemi olarak bazı ülkelerin üstlendiğine benzer şekilde belirli vergi yardımları sağlanarak uygulamaları daha da teşvik edilebilir.

YSH sisteminin uygulanması, yönetmeliklerde yapılan değişiklikler neticesinde 2000 m²'den büyük parsellerde zorunluluk haline getirilmiştir. Her ne kadar mevzuat olarak desteklense de yönetmelikte sistemin tasarım esaslarına ilişkin detayların yer almaması uygulayıcıların tasarım aşamasında kararsız duruma düşmesine sebebiyet vermektedir. Kullanım alanına göre arıtma ihtiyacında belirli kriterlerin oluşturulması, hidrofor sistemi ve yağmur suyu depo kapasitesi hesaplanmasına ilişkin teknik detayların belirlenmesi gerekmektedir.

GSK sistemleri için teşvik edici ibareler yönetmeliğimizde yer alsa da uygulanmasına dair bir zorunluluk bulunmamaktadır. Grisuyun kullanımına dair kalite standartlarının belirlenmesi ve uygun yaptırımların sağlanması sosyal kabul edilebilirliği artıracak, kullanımının yaygınlaştırılmasını sağlayacaktır.

Su üretmenin ne kadar zor olduğunu en iyi bilen su ve kanalizasyon idareleri, mevcut mevzuatın sağladığı yetki ile kentlerinde YSH ve GSK sistemlerine ilişkin yönetmelikleri o kente özgü kriterlerle belirleyip uygulanmasını teşvik etmelidir.

YSH ve GSK, binaların sıhhi tesisat sisteminde değişiklik yapılmasını gerektirebilecek sistemlerdir. Yapılması gereken bu değişikliklerden dolayı kırım ve yapım maliyetleri oluşmakta ve sistemlerin yatırım maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle, yeni inşa edilecek yapıların söz konusu sistemlere entegre şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Yapı içinde YSH ve GSK sistemlerinin etkili bir şekilde planlanması, kurulması ve uzun vadeli kullanımının güvence altına alınabilmesi için proje ve yerleşim onay süreçlerinde gerçekçi bir denetim sağlanmalıdır. Ayrıca, kullanım aşamasında düzenli periyodik denetimler, bakım ve gerekli onarımların yapılması büyük önem taşımaktadır. Projelendirme, uygulama ve kullanma aşamalarında yapılacak denetimler ile sistemin uygun nitelikte olduğu kontrol edilmelidir. Bu nedenle, sistemin uygun şekilde işletilmesi için gerekli standartların belirlenmesi ve sistemlerin denetimini sağlayacak kişilerin tanımlanması çok önemli bir noktadır.

KAYNAKLAR

- 31864 Sayılı Binalar ile Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği.** (2022). T. C. Resmi Gazete, 31864, 12 Haziran 2022.
- 31994 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ.** (2022) T. C. Resmi Gazete, 31994, 25 Ekim 2022.
- Abbasi, T., Poornima, P., Kannadasan, T., and Abbasi, S. A.** (2013). Acid rain: past, present, and future. *International Journal of Environmental Engineering*, 5(3), 229-272.
- Ağaoğlu, O.K.** (1992). İşgücünü Verimli Kullanma Tekniklerinin Turizm Sektörüne Uygulanması. *Verimlilik Dergisi*, Milli Produktivite Yayını No: 457, Ankara, ss.114.
- Al-Batsh, N., Al-Khatib, I. A., Ghannam, S., Anayah, F., Jodeh, S., Hanbaly, G., Khalaf B., Valk M.** (2019). Assessment of rainwater harvesting systems in poor rural communities: A case study from yatta area, Palestine. *Water*, 11, 585. doi:10.3390/w11030585.
- Al-Khatib, I. A., Al Shami, A. A. H. U., Garcia, G. R., Celik, I.** (2022). Social acceptance of greywater reuse in rural areas. *Journal of Environmental Public Health*, 1–11. doi:10.1155/2022/6603348.
- Alpaslan N., Harmancioglu N.B., Singh V.P.** (1992) Cisterns as a water supply alternative for sparse establishment, *Hydrology Journal of Indian Association of Hydrology (IAH)*, (Vol.XV, No.1-2, pp. 1–13). India.
- Anchan, S. S., Shiva Prasad, H. C.** (2021). Feasibility of roof top rainwater harvesting potential-a case study of South Indian University. *Clean. Eng. Technol.* 4, 100206. doi:10.1016/j.clet.2021.100206.
- Angelakis, A. N., and Bontoux, L.** (2001). Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. *Water Policy* 3 (1), 47–59. doi:10.1016/S1366-7017(00) 00028-3.
- Angelakis, A. N., Asano, T., Bahri, A., Jimenez, B. E., and Tchobanoglous, G.** (2018). Water reuse: From ancient to modern times and the future. *Frontiers in Environmental Science*. 6, 26. doi:10.3389/fenvs.2018.00026.
- Anuja, J., Darshan, B., and Meyyappan, N.** (2021). Study on reuse of grey water- a review. *J. Phys. Conf. Ser.* 1979, 012004. IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1979/1/012004.
- Aprile, M.C., Fiorillo, D.** (2017). Water conservation behavior and environmental concerns: Evidence from a representative sample of Italian individuals. *Journal of Cleaner Production* 159 (1), 119-129.

- Aybuga, K., Isildar, G. Y.** (2017). An evaluation of rain water harvesting and grey water reuse potential for Ankara. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.* 8 (3), 209–216. Available at Erişim: 14.12.2023. <https://sigma.yildiz.edu.tr/article/553> adresinden alındı.
- Bell, L. M.** (2018). *Examining the user experience in climate-adaptive policies: Tucson Arizona's residential gray water recycling* (Yüksek Lisans Tezi). https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/64837/Bell_cornell_0058O_10406.pdf?sequence=1. adresinden alındı.
- Bergel, T., Kotowski, T., Woyciechowska, O.** (2016). Daily water consumption for Household purposes and its variability in a rural household. *J. Ecol. Eng.* 17 (3), 47–52. doi:10.12911/22998993/63312.
- Blond Ninon B., Jacob-Rousseau N., Ouerchefani D., Yann Callot.** (2019). Étude de l'évolution du ravinement dans les jessour du Sud Tunisien grâce aux images aériennes. *Cybergeog: European journal of geography*, UMR 8504. Erişim: 12.10.2023. https://www.researchgate.net/publication/338035889_Etude_de_l%27evolution_du_ravinement_dans_les_jessour_du_Sud_Tunisien_grace_aux_images_aeriennes adresinden alındı.
- Borja-Vega, C., Anthonj, C.** (2020). Roofs, rain and life: How to incentivize and implement rainwater harvesting. Web publication/site, *World Bank*. <https://blogs.worldbank.org/water/roofs-rain-and-life-how-incentivize-and-implement-rainwater-harvesting> adresinden alındı.
- Borja-Vega, C., Anthonj, C.** (2020). Roofs, rain and life: How to incentivize and implement rainwater harvesting. *World Bank*. Erişim: 10.11.2023, <https://blogs.worldbank.org/water/roofs-rain-and-life-how-incentivize-and-implement-rainwater-harvesting> adresinden alındı.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., ve diğ.** (2017). Urban rainwater harvesting systems research: Implementation and future perspectives. *Water Res.* 115, 195–209. doi:10.1016/j.watres.2017.02.056
- Campisano, A., Modica, C.** (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 9- 16.
- Che-Ani, Al., Shaari, N., Sairi, A., Zain, M.F.M., Tahir, M.M.** (2009). Rainwater Harvesting as an Alternative Water Supply in The Future. *European Journal of Scientific Research* 34, 132–140.
- Chin, W. H., F. A. Roddick.** (2009). "Greywater treatment by UVC/H2O2." *Water Research* 43(16): 3940-3947.
- Chin, W. H., F. A. Roddick.** (2009). "Greywater treatment by UVC/H2O2." *Water Research* 43(16): 3940-3947.
- Corine.** (2018). Coordination of Information on the Environment-Çevresel Bilginin Koordinasyonu (Corine), T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Erişim: 5.10.2023 <https://corinecbs.tarimorman.gov.tr/> adresinden alındı.

- CSE (2003). A Water Harvesting Manual for Urban Areas; Case Studies from Delhi. Featured Field Initiative - Safe Water Network, Center for Science and Environment (CSE), New Delhi.
- ÇŞİB (2023). *İzmir İli 2022 Yılı Çevre Durum Raporu*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği (ÇŞİB) İl Müdürlüğü, İzmir.
- Demir D. (2012). *Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri İle Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İtü Ayazağa Yerleşkesi Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). <https://polen.itu.edu.tr/items/8cce7e1b-c742-429f-b53b-7cad1d5791a2> adresinden alındı.
- Doğangönül, C., & Doğangönül, Ö. (2009). *Küçük ve Orta Ölçekli Yağmursuyu Kullanımı*. Ankara: Teknik Yayınevi.
- DSİ (2020). *81 İl Merkezi İçme Suyu Temini Eylem Planı*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, Ankara.
- DSİ (2022). *2022 yılı Faaliyet Raporu*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, Ankara.
- EC. (2019). *A European Green Deal, striving to be the first climate-neutral continent. Priorities 2019-2024*. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en. adresinden alındı.
- Elhegazy, H., ve Eid, M. M. M. (2020). A state-of-the-art-review on grey water management: A survey from 2000 to 2020s. *Water Sci. Technol.* 82 (12), 2786–2797. doi:10.2166/wst.2020.549
- EPA (2010). *Rainwater and Grey Water: Review of water quality standards and recommendations for the UK Raporu*, The Government's Market Transformation Programme (MTP), Environment Agency, UK.
- EPA (2017). *Water recycling and reuse: The environmental benefits*. Available at: <http://www.epa.gov/region9/water/recycling/> (accessed October 05, 2022).
- Ertop, H., Kociecka, J.; Atilgan, A., Liberacki, D., Niemiec, M., Rolbiecki, R. (2023). The Importance of Rainwater Harvesting and Its Usage Possibilities: Antalya Example (Turkey). *Water* 15, 2194. <https://doi.org/10.3390/w15122194>.
- EU (2018). *Water reuse – legislative framework in EU regions, commission for the environment, climate change and Energy. European Committee of the Regions*. Erişim: 05.03.2022. <https://cor.europa.eu/en/engage/studies/Documents/Water-reuse.pdf>. doi:10.2863/846239 adresinden alındı.
- Eu, I. A. (2016). *EU-Level instruments on water reuse final report to support the commission's impact assessment, prepared by amec foster wheeler environment & infrastructure UK ltd, IEEP, ACTeon, IMDEA and NTUA*. Erişim: 01.03.2022. https://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EU_level_instruments_on_water-2nd-IA_support-study_AMEC.pdf adresinden alındı.

- Fakioğlu M., Güven H., Öztürk İ.** (2020). Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı: Bilimsel Gerçekler, Psikolojik ve Dini Tereddütler. *Helal ve Etik Araştırma Dergisi* 2 (2), 1-20, İstanbul.
- Falkenmark, M., Lundqvist, J., Widstrand, C.** (1989). Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches. *Natural Resources Forum*. 13(4), 258–267.
- Fangyue, Li., Wichmann, K., Otterpohl, R.,** (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses, *Science of the Total Environment* 407, 3439–3449.
- FAO** (2007). Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century. UN-Water.
- Filali, H., Barsan, N., Souguir, D., Nedeff, V., Tomozei, C., Hachicha, M.** (2022). Greywater as an alternative solution for a sustainable management of water resources—a review. *Sustainability* 14 (2), 665. doi:10.3390/su14020665.
- Fu L.** (2018). *Advancing Rainwater Harvesting Systems to Help Mitigate the Urban Flooding Problems in China* (Yüksek Lisans Tezi). https://getd.libs.uga.edu/pdfs/fu_li_201805_mla.pdf adresinden alındı.
- Gediz Perakende.** (2023). *Elektrik Tarifeleri*, Erişim: 02.09.2023 <https://www.gedizperakende.com.tr/elektrik-tarifeleri> adresinden alındı.
- Ghaffarian Hoseini, A., Tookey, J., Ghaffarian Hoseini, A., Yusoff, S. M., Hassan, N. B.** (2016). State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: A review. *Desalination Water Treat.* 57 (1), 1–10. doi:10.1080/19443994.2015.1021097.
- Ghunmi, L. A., Eslamian, S.** (2016). “Greywater,” in *Urban water reuse handbook*. Editor S. Eslamian (USA: CRC Press, Taylor and Francis Group), 405–420.
- Gleick, P.H.** (2000) The Changing Water Paradigm- A Look at Twenty-First Century Water Resources Development, *Water International*, 25, (1), 127-138. doi:10.1080/02508060008686804.
- Gökçe N.** (2022). Küresel Su Stresi ve Ölçüm Yöntemleri. *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 7(1), 189-208.
- Gregory N. (t.y.).** Potable Water Systems and Coconino County. Citizen Advisory Committee Willow Bend Environmental Education Center Flagstaff, Arizona. <https://www.coconino.az.gov/DocumentCenter/View/28116/Potable-Water-Systems-CAC?bidId> adresinden alındı.
- Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., Friedler, E.** (2015). in *Greywater reuse* (USA: CRC Press, Taylor and Francis Group), 301.
- Hamidi, M.N., Hamidi, N., Işık, O., Güven, H., Özgün, H., Erşahin, M.E.** (2023), Sürdürülebilir Yağmur Suyu Hasadı, *İTÜ Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(2), 97-110.

- Hamilton, K. A., Ahmed, W., Palmer, A., Sidhu, J. P. S., Hodgers, L., Toze, S., Haas, C. N.** (2016). Public health implications of *Acanthamoeba* and multiple potential opportunistic pathogens in roof-harvested rainwater tanks. *Environmental research*, 150, 320-327.
- Haut B., Mays L. W., Passchier C.W., Angelakis A. N.** (2019). Evolution of rainwater harvesting in urban areas through the millennia. A sustainable technology for increasing water availability. *Water & heritage*. Material, conceptual and spiritual connections (1inci baskı, Bölüm 3). Sidestone Press, Leiden.
- <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H> adresinden alındı.
- Huston, R., Chan, Y. C., Chapman, H., Gardner, T., Shaw, G.** (2012). Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia. *Water Research*, 46(4), 1121-1132.
- IPCC** (2007). *Climate Change 2007: Sentez Raporu*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Erişim tarihi Aralık 14,2023 https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm adresinden alındı.
- İncebel C.** (2012). *Alternatif Su Kaynaklarının Endüstriyel Kullanıma Kazandırılması İçin Çatı Yağmur Suyu Hasadı (Ostim Örneği)* (Yüksek Lisans Tezi). <https://avesis.gazi.edu.tr/yonetilen-tez/81aec127-42a2-4471-8ba3-37d750573560/alternatif-su-kaynaklarinin-endustriyel-kullanima-kazandirilmesi-icin-cati-yagmur-suyu-hasadi-ostim-ornegi> adresinden alındı.
- İSKİ** (2022). "İstanbul ve Su: Çözüme Doğru" Projesi 1., 2. ve 3. Çalıştay Raporları, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü, İstanbul.
- İZSU** (2023). *01.12.2023 tarihinden itibaren faturalandırılmak üzere geçerli olan KDV hariç su ve atıksu tarifesi*. İzmir Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (İZSU) Genel Müdürlüğü, İzmir. Erişim: 02.12.2023 <https://www.izsu.gov.tr/tr/suveatiksutarifesi/41/103> adresinden alındı.
- Jha, A., Lamond, J., Bloch, R., Bhattacharya, N., Lopez, A., Papachristodoulou, N., Bird A., Proverbs D., Davies J., Barker R.** (2011). Five Feet High and Rising: Cities and Flooding in 21st Century, *Policy Research Working Paper*, 5648. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5648>.
- Jorgensen, B., Graymore, M., O'Toole, K.** (2009). Household water use behavior: an integrated model. *Journal of Environmental Management* 91 (1), 227- 236.
- Kagabika B.M., Kankuyu O.** (2021). Rooftop Rainwater Harvesting for Sustainable Development of Households in City of Kigali: Case of Niboye Sector in Kicukiro-District. *Open Access Library Journal*, 8: e6567. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106567>.
- Kantaroğlu, Ö.,** (2011). Tesisat Mühendisliği, *Yüksek Performanslı Binalarda Su Stratejileri*, (s.32),

https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/b9fb4ef7885da61_ek.pdf
adresinden alındı.

- Karpuzcu, M.** (2005) *Su Temini ve Çevre Sağlığı*, Özal Matbaası, İstanbul.
- Khajvand, M., Mostafazadeh, A. K., Drogui, P., Tyagi, R. D., and Brien, E.** (2022). Greywater characteristics, impacts, treatment, and reclamation using adsorption processes towards the circular economy. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29, 10966–11003. doi:10.1007/s11356-021-16480-z
- Kraemer R. A., R. Piotrowski** (1995). Financing Urban Rainwater Management in Germany. *European Water Pollution Control*, 5 (4), 48-58.
- Lazarova, V., Hills, S., and Birks, R.** (2003). Using recycled water for non-potable, urban uses: A review with particular reference to toilet flushing. *Water Sci. Technol. Water Supply* 3 (4), 69–77. doi:10.2166/ws.2003.0047.
- Ling, E., Benham, B.L.** (2014) *Rainwater Harvesting Systems*. Virginia Cooperative Extension; Virginia Tech, Virginia State University, Blacksburg, USA, Erişim: 8.10.2023, https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/BSE/BSE-116/BSE-265.pdf adresinden alındı.
- Majumdar, A., Samanta, D., Das, R.** (2022). Chemical characteristics and trends of indian summer monsoon rainfall: A review. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(7), 220019.
- Massoud, M.A., Terkawi, M., Nakkash, R.** (2019). Water reuse as an incentive to promote sustainable agriculture in Lebanon: Stakeholders' perspectives. *Integrated Environmental Monitoring Assessment* 15 (3), 412-421.
- Mays, L., Antoniou, G. P., Angelakis, A. N.** (2013). History of water cisterns: Legacies and lessons. *Water*, 5 (4), 1916–1940. doi:10.3390/w5041916.
- Merville-Screeve, R., Ward, S., Butler, D.** (2016). Rainwater harvesting typologies for UK houses: A multi criteria analysis of system configurations. *Water* 8, 129. doi:10.3390/w8040129
- MGM** (2022). *Çevresel Göstergeler*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). Erişim: 25.11.2023, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/yagis-i-85728> adresinden alındı.
- MGM** (2023a). *Aylık Alansal Normal Yağış Dağılımı*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). Erişim: 28.11.2023, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/aylik-normal-yagis-dagilimi.aspx> adresinden alındı.
- MGM** (2023b). *Yıllık Toplam Yağış Verileri*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). Erişim: 28.11.2023, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx> adresinden alındı.
- MGM** (2023c). *İllere Ait Mevsim Normalleri (1991-2020)*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). Erişim: 27.11.2023, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H> adresinden alındı.

- Mizyed N.R.**, (2013). Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. *Environmental Science and Policy*, 25, 186–195.
- Morales-Pinzón, T., Lurueña, R., Gabarrell, X., Gasol, C. M., Rieradevall, J.** (2014). Financial and environmental modelling of water hardness—Implications for utilising harvested rainwater in washing machines. *Science of the Total Environment*, 470, 1257-1271.
- Muluk, Ç.B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan M.A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U.** (2013). *Türkiye'de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif*. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği - Doğa Koruma Merkezi.
- Murphy, L. U., Cochrane, T. A., O'Sullivan, A.** (2015). Build-up and wash-off dynamics of atmospherically derived Cu, Pb, Zn and TSS in stormwater runoff as a function of meteorological characteristics. *Science of the Total Environment*, 508, 206-213.
- Musayev, S., Burgess, E., Mellor, J.** (2018). A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. *Resour. Conservation Recycl.* 132, 62–70. doi:10.1016/j.resconrec.2018.01.023
- Muthukumaran, S., Baskaran, K., Sexton, N.** (2011). Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse – a case study. *Resour. Conservation Recycl.* 55 (11), 945–952. doi:10.1016/j.resconrec.2011.04.013
- Navarro, T.** (2018). Water reuse and desalination in Spain – challenges and opportunities. *J. Water Reuse Desalination* 8 (2), 153–168. doi:10.2166/wrd.2018.043
- Nawamed** (2021). *Nature based solutions for domestic water reuse in Mediterranean countries, European Union under the ENI CBC Mediterranean Sea Basin Programme (2014-2020)*. https://www.enicbcmmed.eu/sites/default/files/2021-05/Output_3.1_Greywater%20reuse%20in%20NAWAMED%20countries.pdf. adresinden alındı.
- Norman, M., Shafri, H. Z., Mansor, S. B., Yusuf, B.** (2019). Review of remote sensing and geospatial technologies in estimating rooftop rainwater harvesting (RRWH) quality. *International soil and water conservation research*, 7(3), 266-274.
- Novotny, V.** (2013). Water-energy nexus: Retrofitting urban areas to achieve zero pollution. *Build. Res. Inf.* 41 (5), 589–604. doi:10.1080/09613218.2013.804764
- Ofori, S., Puškáčová, A., Růžicková, I., Wanner, J.** (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Sci. Total Environ.* 760, 144026. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144026
- Okhravi, S., Eslemian, S., Adamowski, J.** (2016). “Water reuse in rainwater harvesting,” in *Urban water reuse handbook*. Editor S. Eslemian (USA: CRC Press, Taylor and Francis Group), 787–804.

- Oweis T., Prinz D., Hachum A.** (2001). Water harvesting: indigenous knowledge for the future of the drier environments. *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA)*, Aleppo, Syria.
- Pamuk. M.G., Akkuzu E.** (2008). Küresel Su Krizi ve Su Hasadı Teknikleri. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 5 (2), 75-85.
- Pistocchi, A., Bleninger, T., Breyer, C., Caldera, U., Dorati, C., Ganora, D.,** (2020). Can seawater desalination be a win-win fix to our water cycle? *Water Res.* 182 (1), 115906. doi:10.1016/j.watres.2020.115906
- Poff, N. L., Brown, C. M., Grantham, T. E., Matthews, J. H., Palmer, M. A., Spence, C. M.,** (2016). Sustainable water management under future uncertainty with ecoengineering decision scaling. *Nat. Clim. Change* 6 (1), 25–34. doi:10.1038/nclimate2765
- Pollice, A., Lopez, A., Laera, G., Rubino, P., Lonigro, A.** (2004). Tertiary filtered municipal wastewater as alternative water source in agriculture: a field investigation in Southern Italy. *Science of the Total Environment* 324 (1), 201-210.
- Potivichayanon, S., Sittitoon, N., Vinneras, B.** (2021). Exposure assessment of treated greywater reused for irrigation. *Water Science Technology Water Supply*, 21 (8), 4404–4417. doi:10.2166/ws.2021.191.
- Pradhan R., Jayaprakash S.** (2019). Smart Rainwater Management: New Technologies and Innovation. *Smart Urban Development*.
- Radcliffe J. C.** (2006). Future directions for water recycling in Australia. *Desalination* 187, 77–87.
- Rodda, N., Salukazanaa, L., Jackson, S. A. F., Smith, M. T.** (2011). Use of domestic greywater for small-scale irrigation of food crops: Effects on plants and soil. *Physics and Chemistry of the Earth, A/B/C* 36, 1051–1062. doi:10.1016/j.pce.2011.08.002.
- Rotroff, S. I.** (1983). Three Cistern Systems on the Kolonos Agoraios. *Hesperia: The Journal of the American School of Classical Studies at Athens*, (vol. 52, no. 3, 1983, pp. 257–97). <https://doi.org/10.2307/148004>. Accessed 9 Dec. 2023.
- Sanchez C., Rodriguez-Sanchez C., Sancho-Esper F.** (2023) Barriers and Motivators of Household Water-Conservation Behavior: A Bibliometric and Systematic Literature Review. *Water* 15, 4114. <https://doi.org/10.3390/w15234114>.
- Sanchez, M., Rivero, M.J., Ortiz, I.** (2010). Photocatalytic oxidation of grey water over titanium dioxide suspensions. *Desalination* 262(1-3) 141-146.
- SDG Map Türkiye.** (2022). *SDG Map Türkiye Markaların Aksiyon Haritası*. Erişim tarihi Aralık 20, 2023, <https://sdgmapturkey.com/sdg/6/> adresinden alındı.
- SF** (2022). *Onsite water recycling: An innovative approach to solving an old problem, san francisco water power sewer services*. Erişim: 10.05.2023. https://sfpu.org/sites/default/files/construction-and-contracts/design-guidelines/Onsite%20Water%20Recycling%20E-book_2022_Final.pdf adresinden alındı.

- Shaikh, I. N., Ahammed, M. M.** (2022). Granular media filtration for on-site treatment of greywater: A review. *Water Science Technology*. 86 (5), 992–1016. doi:10.2166/ wst.2022.269.
- Shi, M., Geng, B., Zhao, T., Wang, F.** (2021). Influence of atmospheric deposition on surface water quality and DBP formation potential as well as control technology of rainwater DBPs: a review. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 7(12), 2156-2165.
- Smith, H.M., Brouwer, S., Jeffrey, P., Frijns, J.,** (2018). Public responses to water reuse - Understanding the evidence. *Journal of Environmental Management* 207 (1), 43-50.
- Stec, A., Slys, D.** (2022). Financial and social factors influencing the use of unconventional water systems in single-family houses in eight European countries. *Resources* 11, 16. doi:10.3390/resources11020016
- Stein, U.** (2015). Water reuse and water quality aspects in Europe, CAPACITIE Training Course. Berlin: Ecologic Institute. Erişim: 15.11.2022 https://www.ecologic.eu/sites/default/files/event/2015/22_steinwaterreusewaterquality_0.pdf. adresinden alındı.
- Stringer, A., Vogel, J., Lay, J., Nask, K.** (2017). Design of Rainwater Harvesting Systems in Oklahoma; Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma Cooperative Extension Service, BAE-1757; Oklahoma State University: Stillwater, OK, USA.
- Struk-Sokołowska, J., Gwoździej-Mazur, J., Jadwiszczak, P., Butarewicz, A., Ofman, P., Wdowikowski, M., Kaźmierczak, B.** (2020). The quality of stored rainwater for washing purposes. *Water*, 12(1), 252.
- SYGM** (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Proje Nihai Raporu*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), Ankara.
- SYGM** (2022). *Grisuyun Kullanımı Rehber Dokümanı*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), Ankara.
- SYGM** (2023). *Su Kaynaklarında İklim Değişikliğine Uyum Projesi Proje Nihai Raporu*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), Ankara.
- Tanık A.** (2021). *Yapılar ve iç mekânda yağmur suyundan yararlanma yöntemleri, Marmara Belediyeler Birliği* [PowerPoint Sunumu]. <https://marmara.gov.tr/uploads/old-site/2021/03/Aysegul-Baysal-Tanik.pdf> adresinden alındı.
- Temizkan S., Kayılı M. T.** (2021). Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinde Optimum Depolama Yönteminin Belirlenmesi: Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi Örneği, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (14), 102-116.
- Tengan, B. M., Akoto, O.** (2022). Comprehensive evaluation of the possible impact of roofing materials on the quality of harvested rainwater for human consumption. *Science of the Total Environment*, 819, 152966.

- Thaher, R. T., Mahmoud, N., Al-Khatib, I. A., Hung, Y-T.** (2020). Reasons of acceptance and barriers of house onsite greywater treatment and reuse in Palestinian rural areas. *Water*, 12, 1679. doi:10.3390/w12061679.
- Tokuş, C. M. ve Özdemir, G. ed.** (2017). Yağmur Hasadı Uygulamalarına Giriş Rehberi: İklim Değişikliğine Uyum Kapsamında Bir Çözüm Önerisi, *Peyzaj Araştırmaları Derneği*, Ankara. ISBN: 978-605-84032-1-5.
- TSE** (1983). Temiz Su Tesisatı Hesap Kuralları (TS 1258), Türk Standartları Enstitüsü (TSE).
- TSE** (2021). *Yerinde içilemez su sistemleri- Bölüm 2: Arıtılmış grisuyun (lavabo atık suyu) kullanımına yönelik sistemler* (TS EN 16941-2), Türk Standartları Enstitüsü (TSE).
- TÜBİTAK-MAM** (2014). Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi Projesi, Bileşen 2: Turizmde Çevre Dostu Atıksu Yönetim Modelinin Oluşturulması – Fizibilite Raporu, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi. Ankara: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- TÜİK** (2022a). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, Kent-Kır Nüfus İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Erişim: 30.11.20223 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685> adresinden alındı.
- TÜİK** (2022b). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, Yıllara Göre İl Nüfusları, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Erişim: 30.11.20223 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685> adresinden alındı.
- TÜİK** (2022c). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, İllere göre ortalama hane halkı büyüklüğü, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Erişim: 25.11.2023 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685> adresinden alındı.
- UN-HABITAT** (2004). Guide Book on Rainwater Harvesting and Utilization, Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Programı.
- UN-HABITAT** (2005). Yağmur Suyu Toplama ve Kullanma, Mavi Damla Serisi, Kitap 2: Yararlanıcılar ve Kapasite, Nairobi: Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Programı Un-Habitat. Erişim: 20.11.2023 https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UN-HABITAT%202005%20Rainwater%20Harvesting%20and%20Utilisation%20Book%202.pdf adresinden alındı.
- USAID.** (2010). Summary of the World Water Crisis and USG Investments in the Water Sector, United States Agency for International Development (USAID), USA.
- Üstün G. E., Tırpancı A.** (2015) Grisuyun arıtımı ve yeniden kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20 (2), doi: 10.17482/uujfe.79618.
- Üstün, G. E., Can, T., Küçük, G.,** (2020). Binalarda Yağmur Suyu Hasadı, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25, 3. doi: 10.17482/uumfd.765561.
- Vieira, P., Jorge, C., Covas, D.** (2017). Assessment of household water use efficiency using performance indices. *Resour. Conservation Recycl.* 116, 94–106. doi:10.1016/j.resconrec.2016.09.007

- Vuppaladadiyam, A. K., Merayo, N., Prinsen, P., Luque, R., Blanco, A., Zhao, M.** (2019). A review on greywater reuse: Quality, risks, barriers and global scenarios. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology* 18, 77–99. doi:10.1007/s11157-018-9487-9
- Wilderer, P. A.** (2004). Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: Some thoughts about reasons, means and needs. *Water Science Technology*. 4, 7–16. doi:10.2166/wst.2004.0403.
- WWAP (World Water Assessment Programme).** (2012). Birleşmiş Milletler Dünya Su Gelişim Raporu 4: Risk ve Bilinmezlik Altındaki Su Yönetimi (World Water Assessment Programme). (The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk). Paris: UNESCO.
- WWF-Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı).** (2020). Su Döngüsünü İyileştirmek İçin: Yağmur Suyu Hasadı. Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı). Erişim: 03.12.2023, https://wwftr.awsassets.panda.org/downloads/ysh_web_ekim_2020_1.pdf adresinden alındı.
- Yannopoulos, S., Antoniou, G., Kaiafa-Saropoulou M., ve Angelakis, A. N.** (2016). Historical development of rainwater harvesting and use in Hellas: a preliminary review. *Water Science & Technology Water Supply*, 71.4, doi: 10.2166/ws.2016.200.
- Yannopoulos, S., Giannopoulou, I., Kaiafa-Saropoulou, M.** (2019). Investigation of the current situation and prospects for the development of rainwater harvesting as a tool to confront water scarcity worldwide. *Water*, 11 (10), 2168. doi:10.3390/w11102168.
- Yu, Z. L. T., DeShazo, J. R., Stenstrom, M. K., Cohen, Y.** (2016). Cost–benefit analysis of onsite residential graywater recycling: A case study on the city of los angeles. *Journal American Water Works Association*. 108, E436–E444. doi:10.5942/jawwa.2015.107. 0124.
- Zavala, M. A. L., Vega, R. C., Miranda, R. A. L.** (2016). Potential of rainwater harvesting and greywater reuse for water consumption reduction and wastewater minimization. *Water*, 8 264. doi:10. 3390/w8060264.
- Zhang, L., Njebu, A., Xia, X.** (2021). Minimum cost solution to residential energy-water nexus through rainwater harvesting and greywater recycling. *J. Clean. Prod.* 298, 126742. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126742
- Zheng, Xing, Xiao-de Zhou, Bing-xin Ji.** (2005). Rainwater management and technical measures in Germany. *China Water & Wastewater* 21 (2), 104-106.
- Url-1** <<https://ab.csb.gov.tr/turkiye-nin-ilk-iklim-surasi-konyada-toplandi-haber-267396>>, erişim tarihi 10.12.2023.
- Url-2** < <https://yerebatan.com/yerebatan/hakkimizda/>>, erişim tarihi 11.12.2023.
- Url-3** < <https://www.villagesquare.in/rainwater-harvesting-best-way-forward-irrigation/> erişim tarihi 24.09.2023.
- Url-4** < <https://www.studiohillier.com/rainwaterharvesting-diagram-psd/> > erişim tarihi 23.09.2023.

- Url-5 < <https://inventoenerji.com/yagmur-suyu-geri-donusumu-nasil-calisir/> > erişim tarihi 11.09.2023.
- Url-6 < <https://www.gstore.com.au/leaf-eater-rain-head-90mm/> > erişim tarihi 18.11.2023.
- Url-7 < <https://www.homebase.co.uk/gutter-flo-gutter-guard-4m/12831366.html> > erişim tarihi 18.11.2023.
- Url-8 < <https://wisy-water.com/en/rainwater-filter/> > erişim tarihi 17.11.2023.
- Url-9 < <https://www.starpompastore.com/yagmur-suyu-sistemleri--yer-alti--yagmur-suyu-sistemleri--yer-alti-> > erişim tarihi 5.11.2023.
- Url-10 < <https://www.ecohome.net/guides/1561/greywater-recycling-never-looked-better/> > erişim tarihi 15.12.2023.
- Url-11 < <https://eurosan.com.tr/mbr-sistemleri/> > erişim tarihi 15.12.2023.
- Url-12 < <https://slideplayer.biz.tr/slide/9141315/> > erişim tarihi 15.12.2023.
- Url-13 < <https://simurgpeyzaj.com/yapay-sulak-alanlar-ve-biyolojik-golet/> > erişim tarihi 15.12.2023.

EKLER

- EK A:** Yatırım maliyeti birim fiyat listesi
- EK B:** Yağmur suyu ve grisü cetvelleri
- EK C:** Hidrofor sistemi ve pompa hesabı
- EK D:** İzmir otel YSH sistemi kolon şeması
- EK E:** YSH sistemleri yatırım maliyeti kalemleri
- EK F:** İzmir otel GSK sistemi kolon şeması
- EK G:** Elektrik birim fiyat listesi
- EK H:** GSK sistemleri kapasitesine göre bakım-onarım masrafı
- EK I:** GSK sistemleri yatırım maliyeti kalemleri
- EK J:** İzmir YSH ve GSK sistemi yatırım maliyet kalemlerinin oranları



EK A**Çizelge A.2 : YSH ve GSK sistemleri için yerel piyasada birim fiyat listesi.**

Maliyet Kalemleri	Birim Bedeller
BORU İHTİYACI	
DN15	£0.60
DN20	£1.20
DN25	£1.80
DN32	£2.30
DN40	£2.60
PVC70	£1.20
PVC100	£1.80
PVC125	£2.30
PVC150	£2.60
MEKANİK EKİPMAN	
Kesme vanası	£2.90
Kolektör	£14.30
MONTAJLAMA	
DN15	£0.30
DN20	£0.60
DN25	£0.90
DN32	£1.20
DN40	£1.30
PVC70	£0.60
PVC100	£0.90
PVC125	£1.20
PVC150	£1.30
Kesme vanası	£1.50
Kolektör	£7.20
POMPA SİSTEMİ	
Pislik tutucu	£28.60
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 10 m ³ /h - 90 mSS	£1,044.00
Hidrofor Genleşme Tankı, 16 bar - 300 D, 640x1260 mm, 11/4"	£237.00
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 30 m ³ /h - 90 mSS	£3,479.00
Hidrofor Genleşme Tankı, 16 bar - 750 D, 800x1670 mm, 11/4"	£612.00
Hidrofor tank montaj bedeli (Manometre, basınç şalteri, çekvalf ve tüm montaj malzemeleri dahil)	£285.00

Çizelge A.1 (devam) : YSH ve GSK sistemleri için yerel piyasada birim fiyat listesi.

Maliyet Kalemleri	Birim Bedeller
YAĞMUR SUYU ARITMA	
Vortex Filtre 3000 m ² kadar	£970.00
Giriş akış düzenleyici	£173.00
Taşkan Sifonu	£214.00
Yüzey Emiş Filtresi	£145.00
Vortex Filtre 1000 m ² kadar	£459.00
Giriş akış düzenleyici	£128.00
Taşkan Sifonu	£173.00
Yüzey Emiş Filtresi	£145.00
DEPOLAMA	
10 m ³ (216 m-216 m)	\$950.00
25 m ³ (324 m-324 m)	\$1,975.00
40 m ³ (432 m-432 m)	\$2,575.00
50 m ³ (432 m-540 m)	\$3,000.00
GRİ SU ARITMA	
Paket grisü sistemi - 10 m ³ /gün	£17,500.00
Paket grisü sistemi - 20 m ³ /gün	£24,750.00
Paket grisü sistemi - 40 m ³ /gün	£32,000.00
KIRIM BEDELİ	
Kırım Bedeli- m ² başına	£1.70
Yapım Bedeli- m ² başına	£12.00
İzmir İlinde çalışılan alanlarda, 02.10.2023 tarihli euro kuru 28.9802 TL, dolar kuru 27.4537 TL,	
Antalya İlinde çalışılan alanlarda 01.09.2022 tarihli euro kuru 18.2554 TL, dolar kuru 18.2132 TL olarak alınmıştır.	

EK B**Çizelge B.13 : İzmir otel YSH cetveli.**

İZMİR OTEL YSH CETVELİ											
Tarih	Yağış Miktarı	Toplanan Yağmur Suyu Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m³/ay)	Yeşil Alan Sulama Suyu İhtiyacı (m³/ay)	Araç Yıkama Su İhtiyacı (m³/ay)	Genel Temizlik Su İhtiyacı (m³/ay)	Toplam Su İhtiyacı (m³/ay)	Şebeke Suyundan Tasarruf (%)	Depoda Kalan Su Miktarı (m3/ay)	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m³/ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m³/ay)
Ocak	134.8	82.5	50.70	40.17	0.36	19.20	110.43	75%	0.0	27.9	82.5
Şubat	103.4	63.3	50.70	47.49	0.36	19.20	117.75	54%	0.0	54.5	63.3
Mart	75.1	46.0	55.31	51.84	0.36	19.20	126.71	36%	0.0	80.7	46.0
Nisan	45.7	28.0	52.35	59.34	0.36	19.20	131.25	21%	0.0	103.3	28.0
Mayıs	31.3	19.2	39.38	67.05	0.36	19.20	125.99	15%	0.0	106.8	19.2
Haziran	12.4	7.6	74.46	73.38	0.36	19.20	167.40	5%	0.0	159.8	7.6
Temmuz	4.1	2.5	74.46	79.38	0.36	19.20	173.40	1%	0.0	170.9	2.5
Ağustos	5.9	3.6	74.46	79.05	0.36	19.20	173.07	2%	0.0	169.5	3.6
Eylül	15.1	9.2	74.46	73.23	0.36	19.20	167.25	6%	0.0	158.0	9.2
Ekim	44.1	27.0	74.46	61.17	0.36	19.20	155.19	17%	0.0	128.2	27.0
Kasım	91.8	56.2	63.37	55.83	0.36	19.20	138.76	40%	0.0	82.6	56.2
Aralık	146.2	89.5	48.41	42.78	0.36	19.20	110.75	81%	0.0	21.3	89.5
Yıllık	709.9	434.5	732.52	730.71	4.32	230.40	1697.95	26%	0.0	1263.5	434.5

Çizelge B.14 : İzmir konut YSH cetveli.

İZMİR KONUT YSH CETVELİ							
Aylar	Yağış miktarı (mm)	Toplanan Yağmur Suyu Miktarı (m ³ /ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m ³ /ay)	Depoda Kalan Su Miktarı (m ³ /ay)	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m ³ /ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m ³ /ay)	Şebeke Suyundan Tasarruf (%)
Ocak	134.8	232.9	656.10	0.0	603.4	232.9	36%
Şubat	103.4	178.7	656.10	0.0	675.9	178.7	27%
Mart	75.1	129.8	656.10	0.0	735.7	129.8	20%
Nisan	45.7	79.0	656.10	0.0	805.3	79.0	12%
Mayıs	31.3	54.1	656.10	0.0	849.4	54.1	8%
Haziran	12.4	21.4	656.10	0.0	897.9	21.4	3%
Temmuz	4.1	7.1	656.10	0.0	927.3	7.1	1%
Ağustos	5.9	10.2	656.10	0.0	923.3	10.2	2%
Eylül	15.1	26.1	656.10	0.0	892.9	26.1	4%
Ekim	44.1	76.2	656.10	0.0	812.6	76.2	12%
Kasım	91.8	158.6	656.10	0.0	716.8	158.6	24%
Aralık	146.2	252.6	656.10	0.0	590.2	252.6	39%
Yıllık	709.90	1226.71	7873.20	0.0	9430.9	1226.7	16%

Çizelge B.15 : İzmir sanayi tesisi YSH cetveli.

İZMİR SANAYİ YSH CETVELİ								
Aylar	Yağış miktarı (mm)	Toplanan Yağmur Suyu Miktarı (m ³ /ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m ³ /ay)	Yeşil Alan Sulama Suyu (m ³ /ay)	Depoda Kalan Su Miktarı (m ³ /ay)	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m ³ /ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m ³ /ay)	Şebeke Suyundan Tasarruf (%)
Ocak	134.8	388.2	363.00	66.95	0.0	138.1	388.2	107%
Şubat	103.4	297.8	363.00	79.15	0.0	240.7	297.8	82%
Mart	75.1	216.3	363.00	86.40	0.0	329.5	216.3	60%
Nisan	45.7	131.6	363.00	98.90	0.0	426.6	131.6	36%
Mayıs	31.3	90.1	363.00	111.75	0.0	481.0	90.1	25%
Haziran	12.4	35.7	363.00	122.30	0.0	545.9	35.7	10%
Temmuz	4.1	11.8	363.00	132.30	0.0	579.9	11.8	3%
Ağustos	5.9	17.0	363.00	131.75	0.0	574.1	17.0	5%
Eylül	15.1	43.5	363.00	122.05	0.0	537.9	43.5	12%
Ekim	44.1	127.0	363.00	101.95	0.0	434.3	127.0	35%
Kasım	91.8	264.4	363.00	93.05	0.0	288.0	264.4	73%
Aralık	146.2	421.1	363.00	71.30	0.0	109.6	421.1	116%
Yıllık	709.9	2044.5	4356.00	1217.85	0.0	4685.7	2044.5	47%

Çizelge B.16 : Antalya otel YSH cetveli.

ANTALYA OTEL YSH CETVELİ							
Aylar	Yağış miktarı (mm)	Toplanan Yağmur Suyu Miktarı (m ³ /ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m ³ /ay)	Depoda Kalan Su Miktarı (m ³ /ay)	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m ³ /ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m ³ /ay)	Şebeke Suyundan Tasarruf (%)
Ocak	205.6	633.6	760.00	0.0	126.4	633.6	83%
Şubat	120.6	371.7	760.00	0.0	388.3	371.7	49%
Mart	75.6	233.0	876.74	0.0	643.7	233.0	27%
Nisan	34.5	106.3	801.91	0.0	695.6	106.3	13%
Mayıs	35.3	108.9	473.14	0.0	364.3	108.9	23%
Haziran	18.1	55.9	1361.92	0.0	1306.1	55.9	4%
Temmuz	1.3	3.9	1361.92	0.0	1358.1	3.9	0%
Ağustos	0.9	2.8	1361.92	0.0	1359.1	2.8	0%
Eylül	24.2	74.5	1361.92	0.0	1287.5	74.5	5%
Ekim	59.7	184.0	1361.92	0.0	1177.9	184.0	14%
Kasım	93.1	286.8	1080.91	0.0	794.1	286.8	27%
Aralık	135.0	416.0	702.09	0.0	286.1	416.0	59%
Yıllık	803.9	2477.3	12264.39	0.0	9787.1	2477.3	20%

Çizelge B.17 : Antalya alışveriş merkezi YSH cetveli.

ANTALYA ALIŞVERİŞ MERKEZİ YSH CETVELİ											
Aylar	Yağış miktarı (mm)	Toplanan Yağmur Suyu Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu (m³/ay)	Sulama Suyu (m³/ay)	Araç Yıkama (m³/ay)	Temizlik (m³/ay)	Depoda Kalan Su Miktarı (m³/ay)	Depolanan + Toplanan Yağmur Suyu (m³/ay)	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m³/ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m³/ay)	Şebeke Suyundan Tasarruf (%)
Ocak	205.60	2,738.59	630.00	461.70	5.00	74.00	1,567.89	2,788.59	0.0	1170.7	100%
Şubat	120.61	1,606.53	630.00	480.60	5.00	74.00	416.93	1,656.53	0.0	1189.6	100%
Mart	75.61	1,007.14	630.00	636.00	5.00	74.00	0.00	1,057.14	0.0	1057.1	79%
Nisan	34.51	459.69	630.00	645.00	5.00	74.00	0.00	459.69	170.3	459.7	34%
Mayıs	35.33	470.64	630.00	687.00	5.00	74.00	0.00	470.64	159.4	470.6	34%
Haziran	18.13	241.43	630.00	660.00	5.00	74.00	0.00	241.43	388.6	241.4	18%
Temmuz	1.25	16.65	630.00	826.88	5.00	74.00	0.00	16.65	613.4	16.7	1%
Ağustos	0.90	11.99	630.00	816.75	5.00	74.00	0.00	11.99	618.0	12.0	1%
Eylül	24.16	321.84	630.00	749.25	5.00	74.00	0.00	321.84	308.2	321.8	22%
Ekim	59.73	795.54	630.00	695.25	5.00	74.00	0.00	795.54	0.0	795.5	57%
Kasım	93.06	1,239.59	630.00	614.25	5.00	74.00	0.00	1,239.59	0.0	1239.6	94%
Aralık	135.00	1,798.20	630.00	563.63	5.00	74.00	525.58	1,798.20	0.0	1272.6	100%
Yıllık	803.89	10,707.82	7,560.00	7,836.30	60.00	888.00	2,510.39	10,857.82	2257.8	8247.4	53%

Çizelge B.18 : Antalya hastane YSH cetveli.

ANTALYA HASTANE YSH CETVELİ							
Aylar	Yağış miktarı (mm)	Toplanan Yağmur Suyu Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m³/ay)	Depoda Kalan Su Miktarı (m³/ay)	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m³/ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m³/ay)	Şebeke Suyundan Tasarruf (%)
Ocak	205.6	1397.5	1980	0.0	582.5	1397.5	71%
Şubat	120.6	819.8	1980	0.0	1160.2	819.8	41%
Mart	75.6	513.9	1980	0.0	1466.1	513.9	26%
Nisan	34.5	234.6	1980	0.0	1745.4	234.6	12%
Mayıs	35.3	240.2	1980	0.0	1739.8	240.2	12%
Haziran	18.1	123.2	1980	0.0	1856.8	123.2	6%
Temmuz	1.3	8.5	1980	0.0	1971.5	8.5	0%
Ağustos	0.9	6.1	1980	0.0	1973.9	6.1	0%
Eylül	24.2	164.2	1980	0.0	1815.8	164.2	8%
Ekim	59.7	406.0	1980	0.0	1574.0	406.0	21%
Kasım	93.1	632.6	1980	0.0	1347.4	632.6	32%
Aralık	135.0	917.6	1980	0.0	1062.4	917.6	46%
Yıllık	803.9	5464.2	23760.0	0.0	18295.8	5464.2	23%

Çizelge B.19 : İzmir otel GSK cetveli.

İZMİR OTEL GSK CETVELİ									
Tarih	Toplanabilen Grisu Miktarı (m ³ /ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m ³ /ay)	Yeşil Alan Sulama Suyu İhtiyacı (m ³ /ay)	Araç Yıkama Su İhtiyacı (m ³ /ay)	Genel Temizlik Su İhtiyacı (m ³ /ay)	Toplam Su İhtiyacı (m ³ /ay)	Su Tasarruf Potansiyeli (%)	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m ³ /ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m ³ /ay)
Ocak	153.0	50.70	40.17	0.36	19.20	110.43	100%	0.0	110.4
Şubat	153.0	50.70	47.49	0.36	19.20	117.75	100%	0.0	117.8
Mart	176.5	55.31	51.84	0.36	19.20	126.71	100%	0.0	126.7
Nisan	161.5	52.35	59.34	0.36	19.20	131.25	100%	0.0	131.3
Mayıs	95.3	39.38	67.05	0.36	19.20	125.99	76%	30.7	95.3
Haziran	274.3	74.46	73.38	0.36	19.20	167.40	100%	0.0	167.4
Temmuz	274.3	74.46	79.38	0.36	19.20	173.40	100%	0.0	173.4
Ağustos	274.3	74.46	79.05	0.36	19.20	173.07	100%	0.0	173.1
Eylül	274.3	74.46	73.23	0.36	19.20	167.25	100%	0.0	167.3
Ekim	274.3	74.46	61.17	0.36	19.20	155.19	100%	0.0	155.2
Kasım	217.7	63.37	55.83	0.36	19.20	138.76	100%	0.0	138.8
Aralık	141.4	48.41	42.78	0.36	19.20	110.75	100%	0.0	110.8
Yıllık	2469.7	732.52	730.71	4.32	230.40	1697.95	98%	30.7	1667.2

Çizelge B.20 : İzmir konut GSK cetveli.

İZMİR KONUT GSK CETVELİ					
Aylar	Toplanabilen Grisu Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m³/ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m³/ay)*	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu Tasarruf Potansiyeli (%)
Ocak	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Şubat	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Mart	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Nisan	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Mayıs	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Haziran	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Temmuz	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Ağustos	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Eylül	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Ekim	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Kasım	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Aralık	1036.1	656.10	600.0	56.1	91%
Yıllık	12433.5	7873.20	7200.0	673.2	91%

* 22 m³/gün sifon suyu ihtiyacına karşılık, 34,5 m³/gün grisu üretimi bulunmaktadır. Grisu sistemi kapasitesi 20 m³/gün olarak seçilmiştir.

Çizelge B.21 : İzmir sanayi tesisi GSK cetveli.

İZMİR SANAYİ TESİSİ GSK CETVELİ					
Tarih	Toplanabilen Grisu Miktarı (m ³ /ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m ³ /ay)	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m ³ /ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m ³ /ay)	Su Tasarruf Potansiyeli (%)
Ocak	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Şubat	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Mart	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Nisan	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Mayıs	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Haziran	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Temmuz	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Ağustos	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Eylül	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Ekim	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Kasım	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Aralık	157,5	378.00	220,5	157,5	42%
Yıllık	1890,0	4536.00	2646,0	1890,0	42%

Çizelge B.22 : Antalya otel GSK cetveli.

ANTALYA OTEL GSK CETVELİ						
Tarih	Toplanabilen Grisu Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m³/ay)	Yeşil Alan Sulama Suyu İhtiyacı (m³/ay)	Toplam Su İhtiyacı (m³/ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m³/ay)	Su Tasarruf Potansiyeli (%)
Ocak	1725.00	760.00	577.13	1337.13	1337.13	%100
Şubat	1725.00	760.00	600.75	1360.75	1360.75	%100
Mart	1989.96	876.74	795.00	1671.74	1671.74	%100
Nisan	1820.13	801.91	806.25	1608.16	1608.16	%100
Mayıs	1073.90	473.14	858.75	1331.89	1073.90	%100
Haziran	3091.20	1361.92	825.00	2186.92	2186.92	%100
Temmuz	3091.20	1361.92	1033.59	2395.51	2395.51	%100
Ağustos	3091.20	1361.92	1020.94	2382.86	2382.86	%100
Eylül	3091.20	1361.92	936.56	2298.48	2298.48	%100
Ekim	3091.20	1361.92	869.06	2230.98	2230.98	%100
Kasım	2453.38	1080.91	767.81	1848.72	1848.72	%100
Aralık	1593.56	702.09	704.53	1406.62	1406.62	%100
Yıllık	27836.93	12264.39	9795.38	22059.76	21801.77	%100

Çizelge B.23 : Antalya alışveriş merkezi GSK cetveli.

ANTALYA ALIŞVERİŞ MERKEZİ GSK CETVELİ					
Aylar	Toplanabilen Grisu Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m³/ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m³/ay)*	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu Tasarruf Potansiyeli (%)
Ocak	315	630	304	326	48%
Şubat	315	630	304	326	48%
Mart	315	630	304	326	48%
Nisan	315	630	304	326	48%
Mayıs	315	630	304	326	48%
Haziran	315	630	304	326	48%
Temmuz	315	630	304	326	48%
Ağustos	315	630	304	326	48%
Eylül	315	630	304	326	48%
Ekim	315	630	304	326	48%
Kasım	315	630	304	326	48%
Aralık	315	630	304	326	48%
Yıllık	3780	7560	3650	3910	48%

* 21 m³/gün sifon suyu ihtiyacına karşılık, 10,5 m³/gün grisu üretimi bulunmaktadır. Grisu sistemi kapasitesi 10 m³/gün olarak seçilmiştir.

Çizelge B.24 : Antalya hastane GSK cetveli.

ANTALYA HASTANE GSK CETVELİ					
Aylar	Toplanabilen Grisu Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu İhtiyacı (m³/ay)	Kullanılabilen Su Miktarı (m³/ay)*	Şebeke İle Takviye Edilen Su Miktarı (m³/ay)	Sifon Suyu Tasarruf Potansiyeli (%)
Ocak	1764	1980	1764	216	89%
Şubat	1764	1980	1764	216	89%
Mart	1764	1980	1764	216	89%
Nisan	1764	1980	1764	216	89%
Mayıs	1764	1980	1764	216	89%
Haziran	1764	1980	1764	216	89%
Temmuz	1764	1980	1764	216	89%
Ağustos	1764	1980	1764	216	89%
Eylül	1764	1980	1764	216	89%
Ekim	1764	1980	1764	216	89%
Kasım	1764	1980	1764	216	89%
Aralık	1764	1980	1764	216	89%
Yıllık	21170	23760	21170	2590	89%

* 66 m³/gün sifon suyu ihtiyacına karşılık, 58 m³/gün grisu üretimi bulunmaktadır. Grisu sistemi kapasitesi 60 m³/gün olarak seçilmiştir.

EK C

POMPA SİSTEMİ HESABI

Pompa Debisi

günlük maksimum su tüketimi	5.78 m ³ /gün
toplam günde çalışma süresi	2 saat
eş zaman kullanım faktörü	0.4
Qd=	1.16 m ³ /saat
	19.27 litre/dakika
Qpeak= (Qd x 2)	2.31 m ³ /saat
	38.53 litre/dakika
Pompanın Devrede kalma zamanı, şalt sayısı:	
i=	50
Z = (Qd/Qp)x (60 / i)	0.6 dakika

Hidrofor Faydalı Hacmi:

Vf= (Qd/Qp)x Z	11.56 litre
-----------------	-------------

Hidrofor İşletme Alt Basıncı, P_alt

En elverişsiz/yüksek kullanma yerinin kot farkı	44.5 metre
En elverişsiz kullanma yerindeki akma basıncı	10 metre
Kritik devre kayıpları	11 metre
P_alt	65.63 mSS
	7.6 atü

Hidrofor İşletme Üst Basıncı, P_üst

P_üst	80.63 mSS
	9 atü

Hidrofor Etkili Hacmi:

Ve=(Vfay x P_üst)/(P_üst - P_alt)	69.8417 litre
-----------------------------------	---------------

Hidrofor Toplam Hacmi :

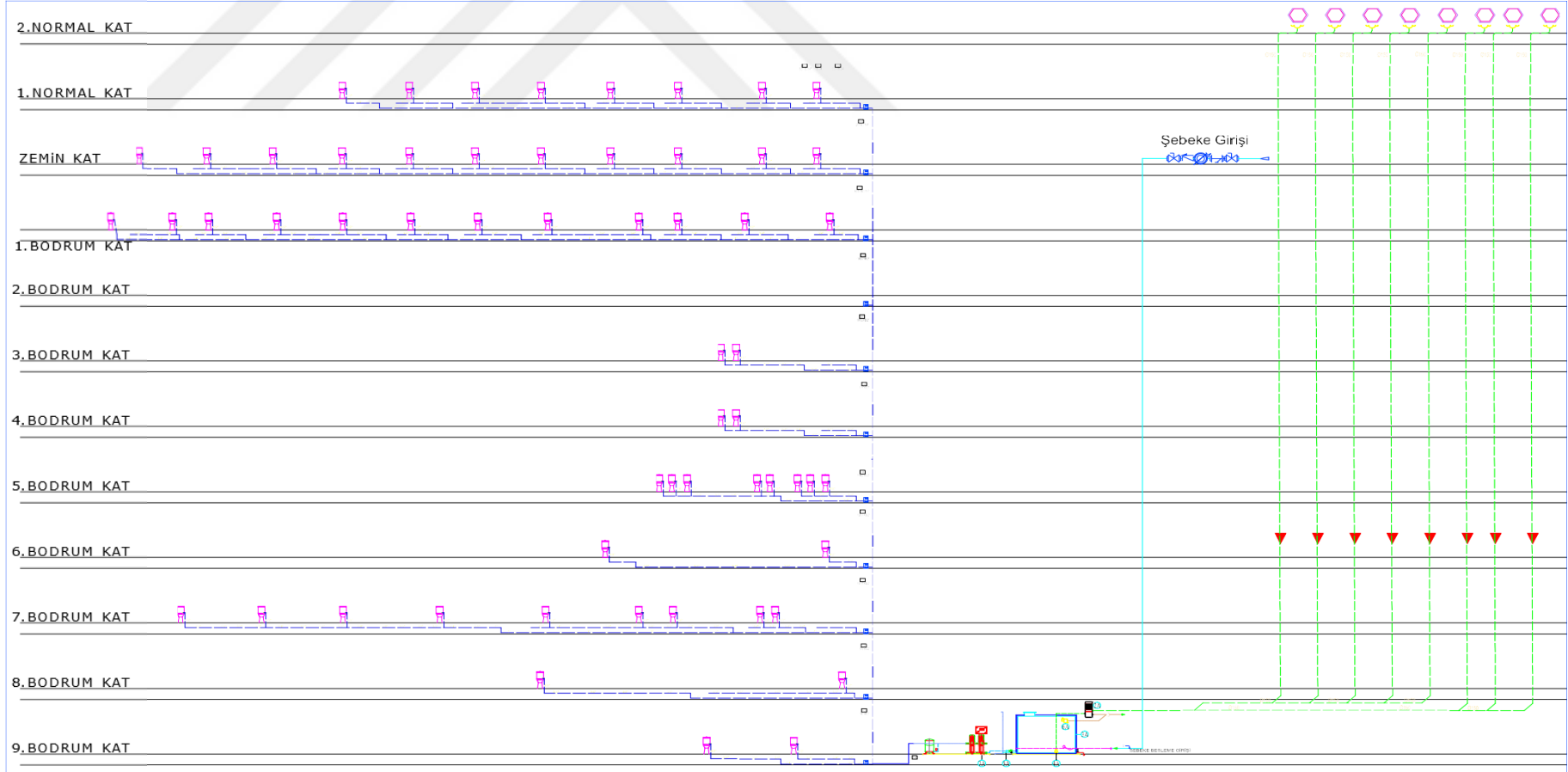
Vt = 1,25 x Ve	87.3021 litre
----------------	---------------

Seçilen Pompa Özellikleri

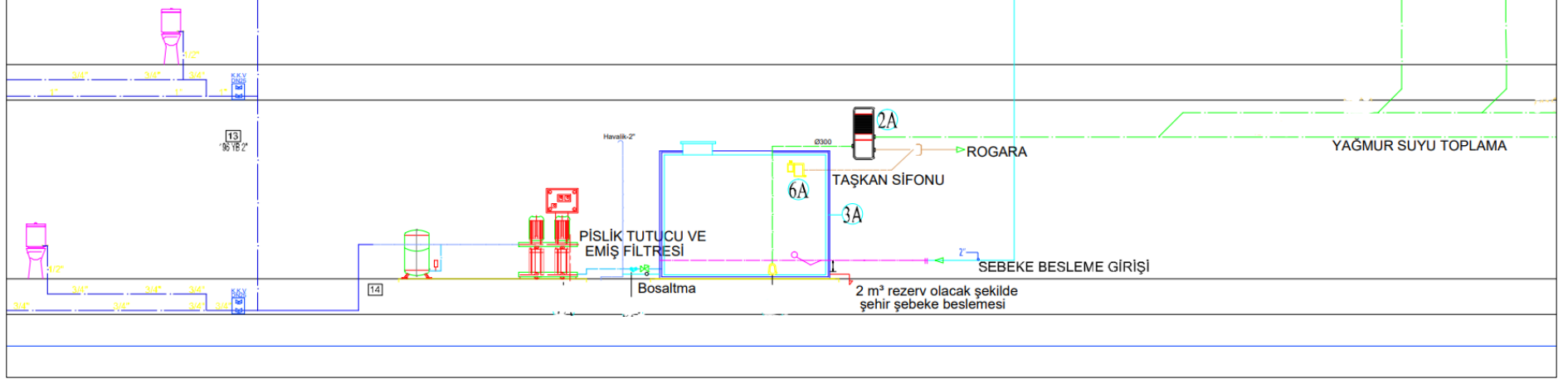
Pompa basınç çalışma aralığı	65.63	80.63 mSS
Pompa kapasitesi	2.31	m ³ /saat
Hidrofor tank kapasitesi	88	litre

Şekil C.2 : Hidrofor sistemi ve pompa hesabı İzmir Otel örneği.

EK D



Şekil D.3 : Otel YSH sistemi kolon şeması.



Şekil D.4 : Otel YSH sistemi yakın kesiti.

EK E

Çizelge E.3 : İzmir İlinde seçilen alanlarda YSH sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.

İZMİR YSH YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ							
Maliyet Kalemleri	Birim Bedeli	Metraj	OTEL	KONUT		SANAYİ TESİSİ	
			Toplam Bedel	Metraj	Toplam Bedel	Metraj	Toplam Bedel
BORU İHTİYACI							
DN15	₺17.00	50	₺850	-	-	-	-
DN20	₺34.00	300	₺10,200	300	₺10,200	50	₺1,700
DN25	₺50.00	300	₺15,000	300	₺15,000	100	₺5,000
DN32	₺67.00	100	₺6,700	300	₺20,100	50	₺3,350
PVC70	₺34.00	300	₺10,200	150	₺5,100	150	₺5,100
PVC100	₺50.00	300	₺15,000	-	-	-	-
PVC125	₺67.00	100	₺6,700	-	-	-	-
Kesme vanası	₺83.00	8	₺664	18	₺1,494	4	₺332
Kollektör	₺415.00	2	₺830	6	₺2,490	2	₺830
ARITMA							
Vortex Filtre 1000 m² kadar	₺13,300	1	₺13,300	-	-	-	-
Giriş akış düzenleyici	₺3,700.00	1	₺3,700.00	-	-	-	-
Taşkan Sifonu	₺5,000.00	1	₺5,000.00	-	-	-	-
Yüzey Emiş Filtresi	₺4,200.00	1	₺4,200.00	-	-	-	-
Vortex Filtre (3000 m² kadar)	₺28,100	-	-	1	₺28,100	1	₺28,100
Giriş akış düzenleyici	₺5,000	-	-	1	₺5,000	1	₺5,000
Taşkan Sifonu	₺6,200	-	-	1	₺6,200	1	₺6,200
Yüzey Emiş Filtresi	₺4,200	-	-	1	₺4,200	1	₺4,200

Çizelge E.1 (devam): İzmir İlinde seçilen alanlarda YSH sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.

İZMİR YSH YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ							
Maliyet Kalemleri	Birim Bedeli	Metraj	OTEL	Metraj	KONUT	Metraj	SANAYİ TESİSİ
			Toplam Bedel		Toplam Bedel		Toplam Bedel
DEPOLAMA							
10 m³ kapasiteli su deposu	₺26.081	1	₺26.081	-	-	-	-
25 m³ kapasiteli su deposu	₺54,221	-	-	1	₺54,221	-	-
40 m³ kapasiteli su deposu	₺74,624	-	-	-	-	1	₺74,624
POMPA SİSTEMİ							
Pislik tutucu	₺830	1	₺830	1	₺830	1	₺830
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 10 m³/h - 90 mSS	₺30,240	1	₺30,240	1	₺30,240	1	₺30,240
Hidrofor Genleşme Tankı	₺6,840	1	₺6,840	1	₺6,840	1	₺6,840
MONTAJLAMA							
DN15	₺9.00	50	₺450	-	-	-	-
DN20	₺17.00	300	₺5,100	300	₺5,100	50	₺850
DN25	₺25.00	300	₺7,500	300	₺7,500	100	₺2,500
DN32	₺34.00	100	₺3,400	300	₺10,200	50	₺1,700
PVC70	₺17.00	300	₺5,100	150	₺2,550	150	₺2,550
PVC100	₺25.00	300	₺7,500	-	-	-	-
PVC125	₺34.00	100	₺3,400	-	-	-	-
Kesme vanası	₺42.00	8	₺336	18	₺756	4	₺168
Kollektör	₺208.00	2	₺416	6	₺1,248	2	₺416
Hidrofor tank	₺8,300	1	₺8,300	1	₺8,300	1	₺8,300
TOPLAM YATIRIM MALİYETİ			₺197.837,02	₺225.669,06		₺197.837,02	
İŞLETME MALİYETİ			₺3.000,00	₺3.000,00		₺3.000,00	

Çizelge E.4 : Antalya İlinde seçilen alanlarda YSH sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.

ANTALYA YSH YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ TABLOSU							
Maliyet Kalemleri	Birim Bedeli	OTEL		ALIŞVERİŞ MERKEZİ		HASTANE	
		Metraj	Toplam Bedel	Metraj	Toplam Bedel	Metraj	Toplam Bedel
BORU İHTİYACI							
DN20	₺8.50	1000	₺8,500.00	600	₺5,100.00	1200	₺10,200.00
DN25	₺15.00	5000	₺75,000.00	400	₺6,000.00	1200	₺18,000.00
DN32	₺26.00	250	₺6,500.00	100	₺2,600.00	600	₺15,600.00
PVC70	₺43.50	100	₺4,350.00	600	₺26,100.00	600	₺26,100.00
Kesme vanası	₺85.00	36	₺3,060.00	24	₺2,040.00	80	₺6,800.00
Kollektör	₺275.00	2	₺550.00	2	₺550.00	2	₺550.00
ARITMA							
Vortex Filtre (3000 m ² kadar)	₺17,707.00	2	₺35,414.00	6	₺106,246.44	3	₺53,123.22
Giriş akış düzenleyici	₺3,158.18	1	₺3,158.18	1	₺3,158.18	1	₺3,158.18
Taşkan Sifonu	₺3,906.66	1	₺3,906.66	1	₺3,906.66	1	₺3,906.66
Yüzey Emiş Filtresi	₺2,647.03	1	₺2,647.03	1	₺2,647.03	1	₺2,647.03
DEPOLAMA							
50 m ³ kapasiteli su deposu	₺54.630,00	1	₺54.630,00	1	₺54.630,00	2	₺109.260,00

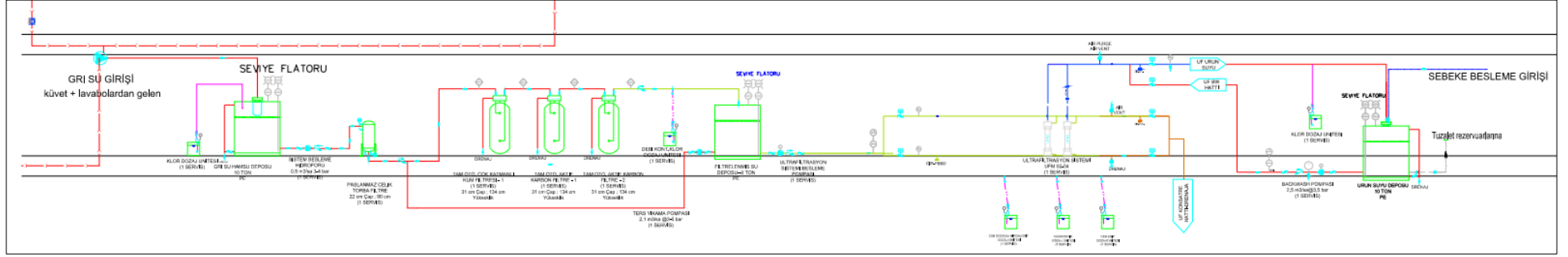
Çizelge E.2 (devam) : Antalya İlinde seçilen alanlarda YSH sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.

ANTALYA YSH YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ TABLOSU							
Maliyet Kalemleri	Birim Bedeli	OTEL Metraj	Toplam Bedel	ALIŞVERİŞ MERKEZİ Metraj	Toplam Bedel	HASTANE Metraj	Toplam Bedel
POMPA SİSTEMİ							
Pislik tutucu	₺650.00	1	₺650.00	1	₺650.00	1	₺650.00
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 30 m ³ /h - 90 mSS	₺63,510.54	1	₺63,510.54	2	₺63,510.54	2	₺39,100.00
Hidrofor Genleşme Tankı	₺11,172.30	1	₺11,172.30	1	₺11,172.30	1	₺1,970.00
MONTAJLAMA							
DN20	₺4.25	1000	₺4,250.00	600	₺2,550.00	1200 m	₺5,100.00
DN25	₺7.50	5000	₺37,500.00	400	₺3,000.00	1200 m	₺9,000.00
DN32	₺13.00	250	₺3,250.00	100	₺1,300.00	600 m	₺7,800.00
PVC70	₺21.75	100	₺2,175.00	600	₺13,050.00	600 m	₺13,050.00
Kesme vanası	₺42.50	36	₺1,530.00	24	₺1,020.00	80	₺3,400.00
Kollektör	₺137.50	2	₺275.00	2	₺275.00	2	₺275.00
Hidrofor tank	₺6,160.00	1	₺6,160.00	1	₺6,160.00	1	₺6,160.00
TOPLAM YATIRIM MALİYETİ			₺803.558,71		₺633.675,75		₺1.005.462,93
İŞLETME MALİYETİ			₺2.150,00		₺2.150,00		₺2.150,00

EK F



Şekil F.3 : Otel GSK kolon şeması.



Şekil F.4 : Otel GSK sistemi yakın kesiti.

EK G

EPDK tarafından onaylanan ve 1 Ekim 2023 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Vergi, Fon ve Pay Hariç Tarifeler							
Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcısı Tüketiciler							
	Tek Zamanlı		Gündüz	Puant	Gece		
	kr/ kWh		kr/ kWh	kr/ kWh	kr/ kWh		
	312.4942		316.4941	507.6545	162.2084		
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları							
Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan Tüketiciler							
	Kapasite		Aktif Enerji + Dağıtım				Reaktif Enerji
	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece	
	kr/ Ay/ kW	kr/ Ay/ kW	kr/ kWh	kr/ kWh	kr/ kWh	kr/ kWh	
Orta Gerilim							
Çift Terimli							
Sanayi	1,260.1335	2,520.2670	336.3739	340.2373	524.9342	191.1683	123.7525
Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	2,028.8050	4,057.6100	334.6526	337.6733	510.6963	200.0061	123.7525
Mesken	1,978.5240	3,957.0480	177.8048	180.3471	272.9421	106.3007	
Tarımsal Faaliyetler	1,957.9274	3,915.8548	214.7493	216.7245	329.4713	126.6290	123.7525
Aydınlatma	2,016.5997	4,033.1994	309.4841				
Tek Terimli							
Sanayi			351.0279	355.0280	546.1884	200.7423	123.7525
Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer			351.5518	354.5725	527.5955	216.9044	123.7525
Mesken			188.4994	191.0418	283.6355	116.9944	
Tarımsal Faaliyetler			225.9687	227.9441	340.6910	137.8473	123.7525
Aydınlatma			325.5981				
Alçak Gerilim							
Tek Terimli							
Sanayi			370.1826	373.9831	555.7035	227.3169	123.7525
Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün ve altı)			279.0395	373.6791	546.7018	236.0116	123.7525
Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer (30 kWh/gün üstü)			370.6589	373.6791	546.7018	236.0116	123.7525
Mesken (8 kWh/gün ve altı)			134.1070	201.6583	294.2528	127.6108	
Mesken (8 kWh/gün üstü)			199.1154	201.6583	294.2528	127.6108	
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler			64.4111				
Tarımsal Faaliyetler			237.4675	242.6401	352.1904	149.3461	123.7525
Aydınlatma			343.6934				
Genel Aydınlatma			473.1539				

Şekil G.2 : İzmir İli 01.10.2023 tarihinden itibaren uygulanan elektrik birim fiyat listesi.

EK H**Çizelge H.2 : GSK sistemleri kapasitesine göre bakım-onarım masrafı.**

Kapasite (m³/gün)	Bakım ve Sarf malzemeleri Maliyetleri- (Avro)	Servis Bedelleri- (Avro)	TOPLAM (Avro)	TOPLAM (TL)
10	600	300	900	26000
20	1000	400	1400	40500
40	1500	500	2000	58000

EK I**Çizelge I.3 : İzmir İlinde seçilen alanlarda GSK sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.**

İZMİR GSK YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ TABLOSU							
Maliyet Kalemleri	Birim Bedeli	OTEL		KONUT		SANAYİ TESİSİ	
		Metraj	Toplam Bedel	Metraj	Toplam Bedel	Metraj	Toplam Bedel
BORU İHTİYACI							
DN15	₺17.00	198	₺3,366	-	-		₺0
DN20	₺34.00	-	-	232	₺7,888	50	₺1,700
DN25	₺50.00	198	₺9,900	232	₺11,600	100	₺5,000
DN32	₺67.00	100	₺6,700	120	₺8,040	50	₺3,350
PVC70	₺34.00	198	₺6,732	232	₺7,888	150	₺5,100
PVC100	₺50.00	198	₺9,900	232	₺11,600	200	₺10,000
PVC125	₺67.00	100	₺6,700	120	₺8,040	200	₺13,400
Kesme vanası	₺83.00	33	₺2,739	58	₺4,814	4	₺332
Kollektör	₺415.00	2	₺830	2	₺830	2	₺830
POMPA SİSTEMİ							
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 10 m³/h - 90 mSS	₺30,240.00	1	₺30,240.00	1	₺30,240.00	1	₺30,240.00
Hidrofor Genleşme Tankı	₺6,840.00	1	₺6,840.00	1	₺6,840.00	1	₺6,840.00

Çizelge I.1 (devam) : İzmir İlinde seçilen alanlarda GSK sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.

İZMİR GSK YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ TABLOSU

Maliyet Kalemleri	Birim Bedeli	OTEL		KONUT		SANAYİ TESİSİ	
		Metraj	Toplam Bedel	Metraj	Toplam Bedel	Metraj	Toplam Bedel
MONTAJLAMA							
DN15	₺9.00	198	₺1,782	-	-	0	₺0
DN20	₺17.00	-	-	232	₺3,944	50	₺850
DN25	₺25.00	198	₺4,950	232	₺5,800	100	₺2,500
DN32	₺34.00	100	₺3,400	120	₺4,080	50	₺1,700
PVC70	₺17.00	198	₺3,366	232	₺3,944	150	₺2,550
PVC100	₺25.00	198	₺4,950	232	₺5,800	200	₺5,000
PVC125	₺34.00	100	₺3,400	120	₺4,080	200	₺6,800
Kesme vanası	₺42.00	33	₺1,386	58	₺2,436	4	₺168
Kollektör	₺208.00	2	₺416	2	₺416	2	₺416
Hidrofor sistemi (Manometre, basınç şalteri, çekvalf ve tüm montaj malzemeleri dahil)	₺8,000.00	1	₺8,000.00	1	₺8,000.00	1	₺8,000.00
ARITMA							
10 m³ grisu arıtma sistemi	₺507,000	1	₺507,000.00	-	-	-	₺507,000.00
20 m³ grisu arıtma sistemi	₺717,260.00	-	-	1	₺717,260.00	1	-
TOPLAM YATIRIM MALİYETİ			₺622,597.00	₺853,540.00		₺611,513.50	
ELEKTRİK İŞLETME MALİYETİ			₺14,142.76	₺13,401.11		₺18,762,23	
BAKIM-ONARIM MALİYETİ			₺26,000.00	₺40,500.00		₺26,000.00	

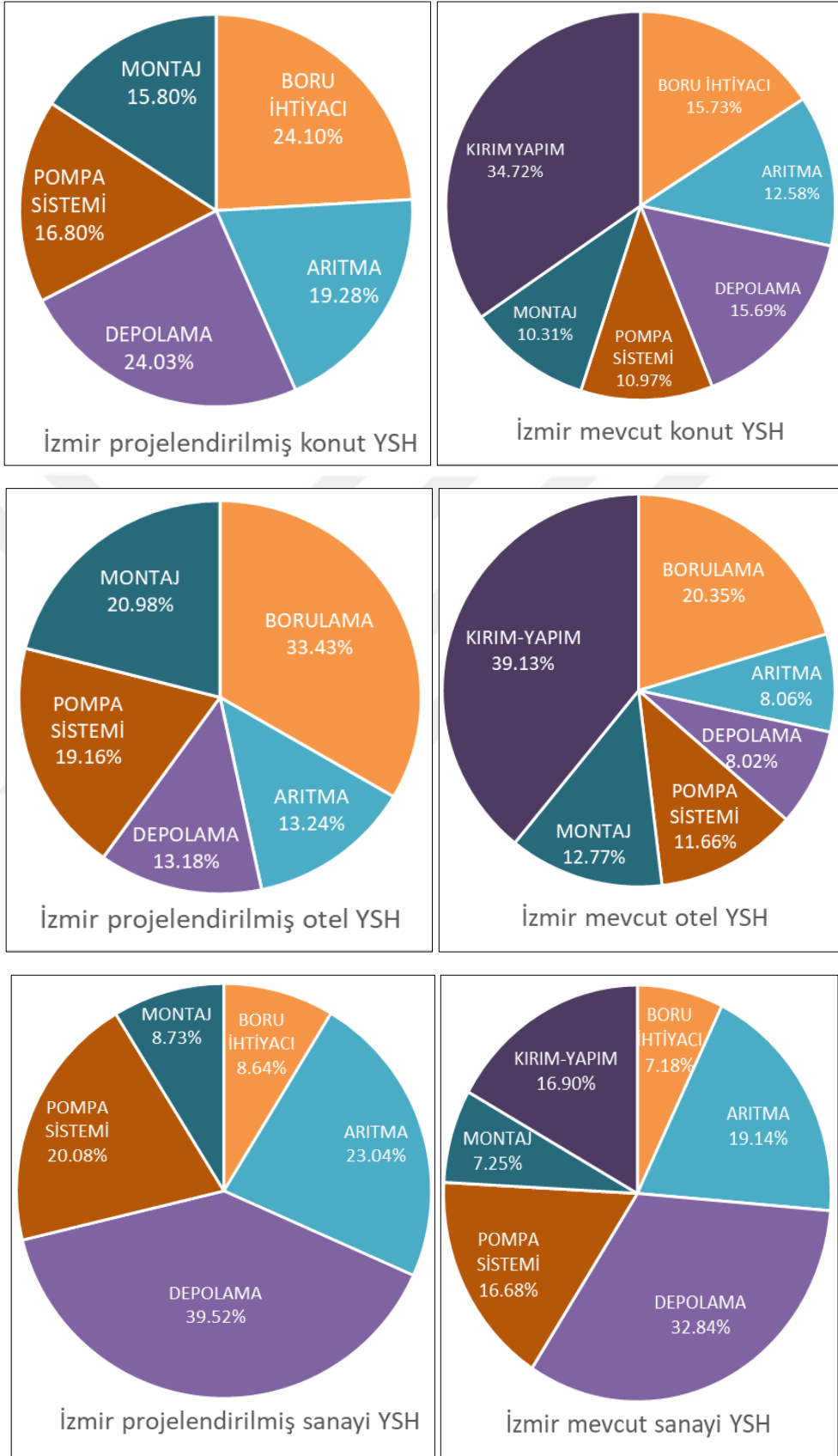
Çizelge I.4 : Antalya İlinde seçilen alanlarda GSK sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.

ANTALYA GSK YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ							
Maliyet Kalemleri	Birim Bedeli	OTEL Metraj	Toplam Bedel	ALIŞVERİŞ MERKEZİ Metraj	Toplam Bedel	HASTANE Metraj	Toplam Bedel
BORU İHTİYACI							
DN20	₺25.00	750	₺18,750.00	120	₺3,000.00	800	₺20,000.00
DN25	₺35.00	750	₺26,250.00	120	₺4,200.00	800	₺28,000.00
DN32	₺40.00	500	₺20,000.00	80	₺3,200.00	80	₺3,200.00
DN40	₺50.00	200	₺10,000.00	-	-	-	-
PVC70	₺20.00	2543	₺50,864.00	120	₺2,400.00	800	₺16,000.00
PVC100	₺30.00	2543	₺76,296.00	120	₺3,600.00	800	₺24,000.00
PVC125	₺40.00	250	₺10,000.00	80	₺3,200.00	80	₺3,200.00
PVC150	₺55.00	250	₺13,750.00	-	-	-	-
Kesme vanası	₺40.00	30	₺1,200.00	6	₺240.00	200	₺8,000.00
Kollektör	₺250.00	2	₺500.00	2	₺500.00	4	₺1,000.00
POMPA SİSTEMİ							
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 10 m ³ /h - 90 mSS	₺19,058.64	-	-	1	₺19,058.64	-	-
Hidrofor Genleşme Tankı	₺4,326.53	-	-	1	₺4,326.53	-	-
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 30 m ³ /h - 90 mSS	₺63,510.54	2	₺127,021.08	-	-	2	₺127,021.08
Hidrofor Genleşme Tankı	₺11,172.30	2	₺22,344.60	-	-	2	₺22,344.60

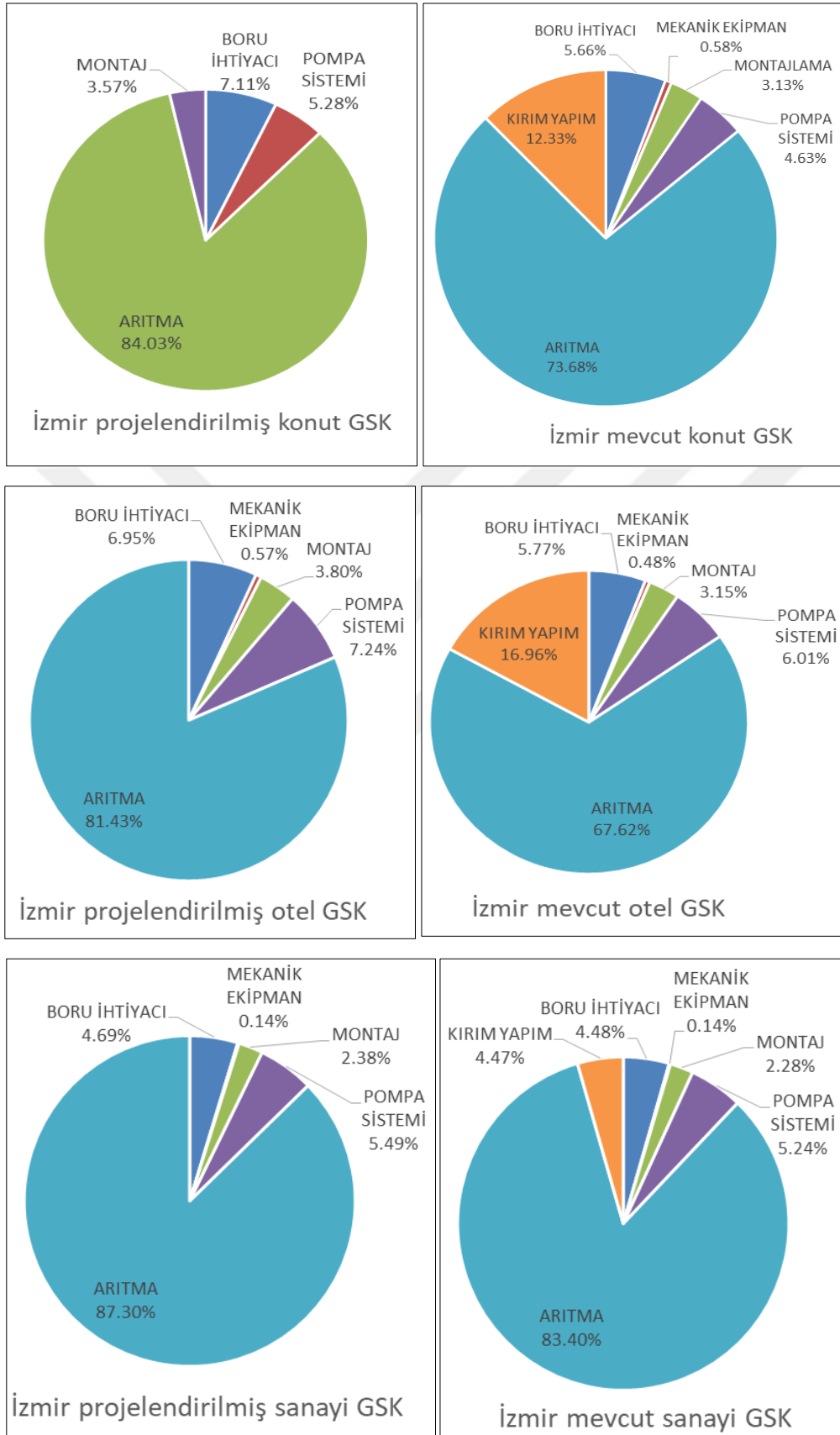
Çizelge I.2 (devam) : Antalya İlinde seçilen alanlarda GSK sistemine ait ilk yatırım ve işletme maliyetleri tablosu.

ANTALYA GSK YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ							
Maliyet Kalemleri	Birim Bedeli	OTEL Metraj	Toplam Bedel	ALİŞVERİŞ MERKEZİ Metraj	Toplam Bedel	HASTANE Metraj	Toplam Bedel
MONTAJLAMA							
DN20	₺12.50	750	₺9,375.00	120	₺1,500.00	800	₺10,000.00
DN25	₺17.50	750	₺13,125.00	120	₺2,100.00	800	₺14,000.00
DN32	₺20.00	500	₺20,800.00	80	₺1,600.00	80	₺1,600.00
DN40	₺22.00	200	₺11,440.00	-	-	-	-
PVC70	₺10.00	2543	₺1,200.00	120	₺1,200.00	800	₺8,000.00
PVC100	₺15.00	2543	₺1,800.00	120	₺1,800.00	800	₺12,000.00
PVC125	₺20.00	250	₺5,000.00	80	₺1,600.00	80	₺1,600.00
PVC150	₺25.00	250	₺6,250.00	-	-	-	-
Kesme vanası	₺20.00	30	₺600.00	6	₺120.00	200	₺4,000.00
Kollektör	₺125.00	2	₺250.00	2	₺250.00	4	₺500.00
Hidrofor sistemi (Manometre, basınç şalteri, çekvalf ve tüm montaj malzemeleri dahil)	₺6,160.00	2	₺12,320.00	1	₺6,160.00	2	₺12,320.00
ARITMA							
10 m³ grisu arıtma sistemi	₺319,375.00	-	-	1	₺319,375.00	-	-
20 m³ grisu arıtma sistemi	₺451,687.50	-	-	-	-	3	₺1,355,062.50
40 m³ grisu arıtma sistemi	₺584,000.00	2	₺1,168,000.00	-	-	-	-
KIRIM-YAPIM							
Kırım Bedeli	₺500.00	3815 m²	₺1,907,500.00	90 m²	₺75,510.00	1200 m²	₺600.000.00
TOPLAM YATIRIM MALİYETİ			₺3,534,635.68		₺424,430.17		₺2,271,848.18
ELEKTRİK İŞLETME MALİYETİ			₺90,095.29		₺17,333.83		₺69,053.10
BAKIM-ONARIM MALİYETİ			₺73,000.00		₺16,425.00		₺76,650.00

EK J



Şekil J.3 : İzmir YSH Sistemlerinin Yatırım Maliyeti Kalemlerinin Dağılımı.



Şekil J.4 : İzmir GSK Sistemlerinin Yatırım Maliyeti Kalemlerinin Dağılımı.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Elif Ayyüce KILINÇ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Mart 2021 tarihinden beri İo Çevre Çözümlerinde su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine dair konularda proje mühendisi olarak görev aldı.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Kılınç, E.A., Tanık, A., Hanedar, A., ve Görgün, E. 2023. Climate change adaptation exertions on the use of alternative water resources in Antalya, Türkiye, *Frontiers in Environmental Science*, 10:1080092.