



COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Akıllı Şehir Rehberlik Uygulamaları Projesi

GRİ SU VE YAĞMUR SUYU TOPLAMA SİSTEMLERİ UYGULAMASI

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

Tüm hakları saklıdır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın izni olmadan bu belgenin hiçbir kısmı elektronik ya da mekanik yollarla (fotokopi, kayıtların ya da bilgilerin arşivlenmesi, vs.) çoğaltılamaz.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

GRI SU VE YAĞMUR SUYU TOPLAMA SİSTEMLERİ

UYGULAMASI

Bu kılavuz, akıllı şehir uygulamalarından olan “Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri Uygulaması” yapmak isteyen kurum ve kuruluşlara, projenin geliştirme ve uygulama aşamalarında destekleyici rehber doküman olması amacıyla hazırlanmıştır.

Kılavuzda uygulamaya yönelik bir vaka üzerinden aşamalı ve detaylı olarak açıklama yapılmıştır.

Rehberlik kılavuzu ile uygulamanın projelendirilmesine ve fizibilite çalışmalarının yapılmasına destek olunması hedeflenmektedir.

1. Uygulamanın Tanımı

Yağmur suyu toplama sistemleri evlerde, işletmelerde ve diğer yapıların çatılarında biriken yağmur sularının toplanmasını ve depolanmasını sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerin amacı, su tasarrufu yapmak ve doğal kaynakları korumak için yağmur sularını depolamak, kullanmak veya geri dönüştürmektir.

Gri su toplama sistemleri evlerde veya işletmelerde lavabo, banyo ve çamaşır makinesi gibi yerlerde oluşan atık suyun toplanarak, tekrar kullanım için uygun hale getirilmesini sağlayan sistemlerdir. Gri su, içme suyu kalitesine sahip olmayan ancak bitki sulaması, tuvaletlerin sifonları, bahçe sulama veya temizlik gibi amaçlar için kullanılabilen suya verilen isimdir.

1.1. Projenin Adı, Uygulama Yeri ve Süresi

- Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri projesinin hazırlık aşamasında ilk olarak projenin adı belirlenir.
- Proje adı belli olduktan sonra projenin uygulama alanı, büyüklüğü ve yapısı belirlenerek projenin ne kadar sürede biteceği planlanır.
- Proje uygulamaya alınmadan önce projenin tanıtıcı özeti olan Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamındaki Proje Fişi hazırlanır.

Örnek Vaka	
Proje Adı	Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri Uygulaması Projesi
Uygulama Alanı	1000 Ha yerleşim alanı – 200.000 kişi
Proje Süresi	-

Akıllı Şehir Proje Fişi, Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamında hazırlanmış olup doküman www.akillisehirler.gov.tr adresinde yayınlanan Akıllı Şehir Bilgi Paylaşım Portalı'ndan erişilebilmektedir.

1.2. Proje Teknik Bileşenleri

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemlerine ait teknik bileşenler şunlardan oluşmaktadır:

- Toplama sistemleri: Yağmur suyu veya gri suyun toplanması için kullanılan sistemlerdir. Sistem genellikle oluklar, borular, filtreler ve tanklar gibi bileşenleri içerir.
- Filtreleme sistemleri: Toplanan suyun kirlilik seviyesini azaltmak için kullanılan sistemlerdir. Sistem bileşenleri, kum filtreleri, çakıl filtreleri ve aktif karbon filtreler gibi farklı tiplerde olabilir.
- Depolama sistemleri: Toplanan suyun depolanması için kullanılan sistemlerdir. Sistem bileşenleri, yer altı tankları, yer üstü tankları veya beton sarnıçlar gibi farklı tiplerde olabilir.
- Arıtma sistemleri: Depolanan suyun kullanım amacına uygun hale getirilmesi için kullanılan sistemlerdir. Sistem bileşenleri, mikrobiyolojik arıtma sistemleri, UV ışık arıtma sistemleri ve ozonlama sistemleri gibi farklı tiplerde olabilir.
- Dağıtım sistemleri: Arıtılmış suyun kullanım alanlarına dağıtımını sağlayan sistemlerdir. Sistem bileşenleri, boru hatları, pompalar ve vanalar gibi farklı tiplerde olabilir.

Bu sistemlerden bazıları diğer akıllı şehir uygulamaları kapsamında da kullanılabilir. Teknik bileşenlere yönelik bütçe planlaması yapılırken bölgedeki diğer Akıllı Şehir uygulamaları ve teknik bileşenleri de dikkate alınmalı, mükerrer yatırımların yapılmamasına dikkat edilerek bütçe planlaması yapılmalıdır.

1.3. Proje Girdileri

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemlerine ait proje girdileri aşağıda sıralanmıştır:

- Su kaynağı analizi: Projede kullanılacak su kaynağı belirlenir ve kaynağın özellikleri (miktarı, kalitesi, vb.) analiz edilir.
- Bina ve site planları: Projede kullanılacak bina ve site planları incelenir ve su toplama, depolama, arıtma ve kullanım alanları belirlenir.
- Arıtma gereksinimleri: Projenin amacına bağlı olarak, gri suyun veya yağmur suyunun hangi arıtma işlemlerinden geçirilmesi gerektiği belirlenir.
- Pompa ve filtreleme ekipmanları: Su toplama ve dağıtım ekipmanları, filtreleme ve pompalama ekipmanları gibi donanımların belirlenmesi yapılır.
- Su kullanımı planı: Projede kullanılacak suyun hangi amaçlarla kullanılacağı (bahçe sulama, tuvalet sifonu vb.) belirlenir.

1.4. Beklenen Çıktılar

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemlerine ait beklenen çıktılar şu şekildedir:

- Su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımı, doğal kaynakların korunması ve tasarrufu sağlanarak sürdürülebilir bir çevre oluşturulması.
- Çevreye daha az zarar veren alternatif su kaynaklarının kullanımını artırması.
- Su tüketiminde azalma sağlanarak su faturalarından tasarruf edilmesi.
- Yağmur suyunun toplanarak yer altı sularını beslemesi ve böylece yer altı su seviyesinin artırılması.
- Toplanan gri suyun arıtılarak suyun tekrar kullanımına olanak sağlaması sayesinde su kaynaklarının korunması ve sınırlı su kaynaklarının daha verimli kullanımının sağlanması.
- Daha sağlıklı bir çevrenin oluşması ve suya olan talebin azaltılması sayesinde çevre kirliliğinin azaltılması.
- Yağmur suyu toplama sistemleri sayesinde sellerin önlenmesi veya azaltılması gibi çevresel yararların sağlanması.

1.5. Projenin performans göstergeleri

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri performans göstergeleri, projenin başarı seviyesini ölçmek için kullanılan ölçülebilir ve belirli hedeflerden oluşmaktadır. Bu performans göstergeleri, Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri projesinin amaçlarına ulaşip ulaşmadığını değerlendirmek, etkinliğini ve verimliliğini ölçmek için kullanılır.

Performans göstergeleri arasında:

- Yıllık su tüketim tasarrufu ($m^3/yıl$)
- Yıllık su tüketim maliyeti tasarrufu ($\$/yıl$)
- Yıllık daire başına düşen su tüketim tasarrufu ($m^3/yıl-daire$)
- Yıllık daire başına düşen su tüketim maliyeti tasarrufu ($\$/yıl-daire$)
- Yıllık net maliyet tasarrufu ($\$/yıl$)
- Sistemin geri ödeme süresi (yıl)

2. Proje Kapsamı ve Gerekçe

2.1. Proje Kapsamı

Proje, konut binalarında su verimliliğini artırmak için Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinin birlikte kullanımını incelemektedir. Yağmur suyunun toplanarak kullanılması işlemine "yağmur hasadı" denir. Toplanan yağmur suyu, kullanım amacına göre filtrelenip geri verilerek kullanılabilir. Bu kapsamda kullanılacak olan yağmur suyu bina çatıları, yol ve otoparklar gibi farklı yerlerden toplanabilir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin ulusal standardına göre gri su, tuvalet atığı ile temas etmemiş, arıtılmamış evsel atık suları (küvet, duş, banyo lavaboları ve çamaşır yıkamadan oluşan) olarak tanımlanmaktadır [3]. Ayrıca gri su mutfak lavaboları veya bulaşık sularını içermemektedir. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın "Turizmde Atık Su Yönetimi" projesindeki tanımında gri su, turizm tesislerinde odalarda oluşan duş ve lavabo sularını içermektedir, ancak mutfak ve çamaşırhane atık suları yüksek kirlilik içeriği nedeniyle gri su kapsamı dışında bırakılmıştır [4].

Projede, mutfak ve çamaşır yıkama atık suları yüksek bakteri oluşumu [5] nedeniyle gri su kapsamının dışında tutulmuştur. Bu nedenle, konutlarda sadece duş ve lavabo atık suları gri su olarak değerlendirilmiştir. Toplanan sular standartlara uygun olarak arıtıldıktan sonra, bu suyun klozetlerde kullanılabileceği şekilde hesaplamalar yapılmıştır.

Projede, yağmur suyu ve gri su sistemlerinin birlikte çalışması öngörülmüştür. Ancak, bu iki su kaynağının ayrı depolarda toplanacağı ve kontrollü bir şekilde depolar arasında su transferi yapılacağı önerilmiştir. Planlanan sistem senaryoları ve toplama/kullanım alanları Tablo 1'de belirtilmiştir. Toplanan suların yüksek kaliteli suya ihtiyaç duyulmayan yerlerde, örneğin tuvalet sifonları, göletler, araba yıkama ve bahçe sulama gibi alanlarda kullanılması hedeflenmektedir.

Projenin yönetmelikler kapsamındaki 2 amacı aşağıdaki gibidir:

- Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri ile su tüketimini azaltarak su verimliliğini artırmak,
- Yağmur suyu toplama sistemi ile yönetmelik gereksinimlerini sağlamaktır.

Tablo 1. Yağmur Suyu ve Gri Su Sistemleri Toplama ve Kullanım Alanlarına göre Senaryolar

Senaryo	Toplama Alanları	Kullanım Alanları
Yağmur suyu sistemi (S1)	Yapı çatılarından	Bahçe sulama, göletler, araba yıkama
Gri su sistemi (S2)	Konutların duş ve banyo lavabolarından*	Tuvalet sifonları
Yağmur suyu + gri su sistemi (S3)	Yapı çatılarından, konutların duş ve banyo lavabolarından*	Tuvalet sifonları, bahçe sulama, göletler, araba yıkama

* Mutfak lavaboları hariç tutulmuştur.

Örnek Vaka

Proje kapsamında 3 farklı senaryo karşılaştırılmıştır:

- Senaryo 1 – Yağmur suyu sistemi kurulumu: Konut binaların çatı alanlarından yağmur suyunun toplanarak, peyzaj sulama ve araç yıkama için kullanılması öngörülmüştür.
- Senaryo 2 – Gri su sistemi kurulumu: Konut binalarındaki banyo lavaboları (mutfak hariç), duş ve küvetlerden toplanan gri suyun, sadece konutların tuvalet rezervuarlarında kullanılması öngörülmüştür.
- Senaryo 3 – Yağmur suyu ve gri su toplama sisteminin entegre kurulumu: Konutların çatısından yağmur suyu (Senaryo 1 toplama kapsamı) ve banyo lavaboları, duş ve küvetlerden gri su (Senaryo 2 kapsamı) toplanmasıdır. Su toplama miktarı Senaryo 1 ve 2'nin toplamıdır. Ayrı olarak, bu iki sistemin (veya bu iki senaryonun) topladığı suyun entegre şekilde kullanımı Senaryo 3 olarak sunulmaktadır. Böylece, kış mevsiminde (peyzaj su ihtiyacının düşük olduğu dönem) yağmur suyu sisteminin tuvalet rezervuarlarında, yaz mevsiminde (peyzaj su ihtiyacının yüksek olduğu ve yağışın az olduğu dönemde) gri suyun peyzaj sulamada kullanımı mümkün olmaktadır.

Bu sistemlerin işleyişi, insan ve çevre sağlığı için son derece önemlidir. Bu nedenle, kalite kontrol sistemlerinin geliştirilmesi sırasında aşağıdaki konuların dikkate alınması tavsiye edilmektedir [7]:

- Etkin bir izleme programının oluşturulması,
- Etkin bir bakım ve süreç kontrol programının geliştirilmesi,
- Sistemlerin işletimi sağlaması için yetkili personellerin belirlenmesi,
- Örnekleme ve laboratuvar analizi programlarının oluşturulması (Haftalık, günlük ve saatlik numunelerin incelenmesi gibi; Hilton İstanbul Oteli gri su sistemi karakterizasyon programı örnek olabilir.),
- Operatörler için detaylı olarak hazırlanmış işletme el kitaplarının kullanılması gerekmektedir.

2.2. Proje Gerekçesi

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği RG-23/1/2021-31373 sayılı ek ile Yağmur Suyu Toplama Sistemi:

“2000 m²den büyük parsellerde yapılacak yapılarda mekanik tesisat projesine; çatı yüzeyi yağmur sularının, tabii zemin altında tesis edilecek yağmursuyu toplama tankında toplanması, gerekmesi halinde filtre edilerek yeniden kullanılması amacıyla yağmursuyu toplama sistemi projesi de eklenir. İlgili idarelerce daha küçük parsellere ilişkin de zorunluluk getirilebilir. Yağmursuyu toplama tankı, parselin yan, arka veya parsel sınırına 3 m. den fazla yaklaşmamak kaydı ile ön bahçe zemini altında konumlandırılır. Toplama tankı tahliye hattı varsa yağmursuyu şebekesine bağlanır, atık su şebekesine bağlanamaz.”

maddesi kapsamında şartına bağlı olarak zorunlu hale getirilmiştir.

Atık suların arıtıldıktan sonra sulama suyu olarak kullanılmasıyla ilgili yasal düzenlemeler arasında "Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği" ve "Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği" ve ekleri bulunmaktadır. Sulama suyu kriterleri ise "Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği" eklerinde yer alan "Ek 7- Arıtılmış Atık Suların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri"nde tanımlanmaktadır. Ayrıca, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 23 Haziran 2017 tarihli ve 30105 sayılı Resmî Gazete'de "Yağmur Suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik" yayınlanmıştır. Bu yönetmelik, yağmur suyu toplama, depolama ve deşarj sistemlerinin kurulması ve kullanımıyla ilgili kriterleri belirlemektedir.

2.3. Mevcut Durum

Mevcut Durum bölümü için bu projeyi uygulayacak kurum ve kuruluşlara mevcut durum hakkında yol göstermek, nasıl çalışmalar yapmaları gerektiği hakkında yön göstermek ve konu hakkında fikir sahibi olmalarına yardımcı olmak amacıyla hazırlanmıştır. Bu dokümanın 2023 yılında hazırlandığı unutulmamalıdır.

Proje Konusu ile İlgili Dünyada Mevcut Durumun Tespiti

- Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemlerine yönelik dünyadaki güncel trendler incelenir.
- Bu trenlere bağlı güncel teknoloji, yazılım, otomasyon, ekipman, yapı, ürün vs. incelenir.

Su kaynaklarına olan talebin artmasıyla birlikte, mevcut kaynakların etkin yönetimi gerekliliği artmıştır. T.C. Kalkınma Bakanlığı tarafından yayınlanan 11. Kalkınma Planı kapsamındaki "Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği" raporuna göre, Türkiye, 1500 m³ ile kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı açısından kıtlık yaşayan ülkeler kategorisindedir ve net su potansiyeli 112 milyar m³ olarak belirlenmiştir. 2010 yılında 43 milyar m³ su tüketimine sahip olan Türkiye'nin 2023 yılında toplam su tüketimi, ülkenin tüm net potansiyeline denk gelecek şekilde 112 milyar m³ olarak tahmin edilmektedir [1][2]. Bu nedenle, evsel su tüketiminin bu miktarın %16'sına sahip olacağı, dolayısıyla tüketilen suyun tekrar geri kazandırılması ve etkin yönetimi için Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinin çalışması gerekmektedir.

Proje Konusu ile İlgili Türkiye'de Mevcut Durumun Tespiti

- Türkiye'deki mevcut Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemlerine yönelik alt ve üst yapı uygulamaları incelenir.
- Proje için gerek duyulan alanlarda hizmet alınabilecek firmalar belirlenir.

Daha Önce Yapılan Çalışmaların Başarı-Başarısızlık Durumlarının Tespiti

- Bu uygulamaları gerçekleştiren kurum ve firmalarla bilgi-tecrübe-fikir alış veriş yapılr.
- Başarılı süreçler arasında kıyaslama yapılarak bölge için en uygun teknoloji, yapı, ekipman, otomasyon, yöntem ve ürün belirlenir.
- Süreç içerisindeki karşılaşılan olumlu ve olumsuz durumlara dair bilgi notları hazırlanır ve bilgi havuzuna eklenir.

Literatür Araştırması

Literatür araştırması kısmı, bu projeyi uygulayacak kurum ve kuruluşlara mevcut durum hakkında bilgi vermek ve konu hakkında fikir sahibi olmalarına yardımcı olmak amacıyla hazırlanmıştır. Bu dokümanın 2023 yılında hazırlandığı unutulmamalıdır.

Belirli bir çalışma kapsamında, yağmur suyu toplama ve gri su sistemlerinin bir arada kullanıldığı tesis örnekleri mevcuttur. Örneğin, Sabiha Gökçen Havalimanı'ndaki HABOM Havacılık Bakım Onarım Merkezi'nde yaklaşık 372 bin m² kapalı alana sahip bir tesis için 130 m³/gün kapasiteli gri su filtreleme sistemi ve 8000 m³ kapasiteli bir depo kullanılmıştır. Bu tesis, LEED Gold sertifikasına sahiptir. Benzer şekilde, Bayrampaşa'daki Ora Kentsel Eğlence Merkezi'nde de 360 bin m² kapalı alana sahip bir tesis

için su kullanımında öncelik sırası olarak yağmur suyu, gri su ve şebeke suyu öngörülmüştür. Bu tesis için 8,5 m³/gün kapasiteli bir gri su depolama sistemi ve 400 m³ kapasiteli bir yağmur suyu depolama sistemi kullanılmıştır [6].

Bu alanda rehber niteliğinde olan belgeler aşağıda sıralanmıştır:

- Bileşen 2: Turizmde Çevre Dostu Atık Su Yönetim Modelinin Oluşturulması – Fizibilite Raporu: TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü tarafından Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi Projesi kapsamında yayınlanmıştır [7].
- Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Uygulamalarına İlişkin Rehber Doküman [8]
- Turizmde Çevre Dostu Atık Su Yönetimi Rehberi [9]

Yağmur Suyu Kullanımına İlişkin Yasa ve Yönetmelikler

Almanya: "DIN 1989" standardı, birçok ülkede yağmur suyu toplama sistemleriyle ilgili standartları belirlemekte öncülük etmiştir. Bu standart, yağmur suyu planlaması, tesisatı, uygulaması ve bakımı, yağmur suyu filtreleme, yağmur suyu rezervuarları ve ilave bileşenler gibi konuları kapsamaktadır. Almanya'da bu konuyla ilgili teşvikler uygulanmaktadır. Yüksek su fiyatları nedeniyle, konutlar ve işyerleri dahil olmak üzere 1,5 milyondan fazla yağmur suyu toplama sistemi kurulmuştur. Sistemin kurulduğu bölgeye bağlı olarak, 1,200 euroya kadar indirimler uygulanmaktadır [28].

İngiltere: İngiltere'de, yağmur suyu kullanımıyla ilgili "BS8515: 2009 Yağmur Suyu Toplama Sistemleri, Uygulama Standardı" adında bir standart yayınlanmıştır. Bu standart, yağmur suyunun kullanım suyuna entegre edilmesi için tasarım, tesisat ve bakım konularında bilgi sağlamaktadır. Sistemin uygulandığı ilk yıl %100 vergi indirimi sağlanmaktadır [28].

Japonya: Japonya'da, 30,000 m²'den daha büyük binalarda gri su arıtma sistemlerinin veya yağmur suyu toplama sistemlerinin kullanılması Bayındırlık Bakanlığı tarafından yasal zorunluluk haline getirilmiştir [28].

Hindistan: Yeni Delhi'de 100 m²'den büyük çatı alanına sahip tüm yeni binalarda ve 1000 m²'den büyük inşaat alanına sahip yeni binalarda, Gujarat'ta tüm resmi binalarda, Indore'da 250 m² inşaat alanına sahip tüm yeni binalarda, Hyderabad'da 300 m²'den fazla alana sahip tüm yeni binalarda, Chennai'de 3 katlı tüm yeni binalarda, Mumbai'de 1.000 m² parsel alanına sahip tüm binalarda ve Rajasthan'da 500 m²'den büyük parsel alanına sahip altyapısı olan kentsel alanlarda yağmur suyu kullanımı yasal olarak zorunlu hale getirilmiştir [28].

Avustralya: Sydney ve New South Wales'te, BASIX (Bina ve Sürdürülebilirlik Endeksi) yönetmeliğine göre, su tüketiminin azaltılması amacıyla yağmur suyu deposunun konut dışında veya konut içinde

(tuvalet veya çamaşır makineleri gibi) kullanılması gerekmektedir. Bu doğrultuda Avustralya'da bazı teşvikler yapılmıştır. "National Rainwater and Greywater Initiative" programı çerçevesinde, Ocak 2009'dan itibaren her aileye, evlerinde kullanacakları yağmur suyu deposu veya gri su arıtma sistemleri için devlet teşviki sunulmaktadır. Bu teşvikler, 2.000-3.999 litrelik yağmur tankları için 400 dolar, 4.000 litre veya daha büyük tanklar için 500 dolar, kalıcı olarak kurulan gri su arıtma sistemleri için ise 500 dolardır. Ayrıca, Queens Land'da konutlarda yağmur suyu sistemi kurulumunda hkmet tarafından 1.500 dolara kadar indirim yapılmaktadır [28].

ABD: Illinois'de, 1 Ocak 2010 tarihinden itibaren yağmur suyu toplama ve dağıtım sistemlerine ilişkin minimum standartlar (SB 2549) Illinois Plumbing License Law tarafından yasa ile zorunlu hale getirilmiştir. Yağmur suyunun toplanması ve kullanılması konusunda henüz çok fazla yasa veya yönetmelik belirlenmemiş olsa da, farklı eyaletlerde farklı yasalara sahip olduğu bilinmektedir. Bu kapsamda ABD'de yapılan teşvikler bulunmaktadır. 1970'lerden bu yana kullanılan bu sistemler için, finansal teşvikler henüz sınırlı olsa da her eyaletin farklı finansal teşvikler belirlediği bilinmektedir. Texas'ta, 1993 yılından itibaren yağmur suyu sistemlerinin kullanıldığı binalarda endüstriyel ve ticari tesislerde emlak kredisi yardımı sağlanmaktadır. Ayrıca, 2001 yılında yağmur suyu kullanılan binalarda vergi indirimleri uygulanmıştır. Austin'de, 2008 yılında konutlarda yağmur suyu sistemlerinin kurulumu için 500 dolarlık bir destek verilmekte olup, kamu binalarında veya kar amacı gütmeyen kuruluşlarda ise 5.000 dolarlık bir bölümü karşılanmaktadır. Austin Ticari Teşvik Programı ise ticari uygulamalar için 40.000 dolara kadar indirim sağlayabilmektedir. Virginia eyaletinde ise sistem maliyetinin yarısını geçmemek şartıyla 2.000 dolara kadar vergi indirimi yapılabilir [28].

Türkiye'de Yağmur Suyu Kullanım Teknolojilerine İlişkin rnekler

2017'de, Yağmur Suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri hakkında Yönetmelik yayınlanmıştır. 2021'de ise Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'ne şu madde eklenmiştir: "2000 m²'den büyük parsellerde yapılacak yapıların mekanik tesisat projelerinin; çatı yüzeyinden toplanacak yağmur sularının gerekmesi halinde filtre edilerek bir tankta toplanması ve bina tuvalet sifonlarında kullanılması amacıyla yağmur suyu toplama sistemi içermesi zorunludur." [29]

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, "Su Kaynaklarında İklım Değişikliğine Uyum Projesi" kapsamında, yağmur suyu hasadı, gri suyun kullanımı ve su fiyatlandırması konularında çalışmalar yapmaktadır. Bu proje, 30 büyükşehir belediyesini içermektedir. WWF - Türkiye, Büyük Menderes Havzası'nda "Yağmur Suyu Hasadı" projesiyle suyun verimli kullanımı için sürdürülebilir bir model oluşturmayı amaçlamaktadır [29].

İT Ayazağa Kampüsü'ndeki Konukevi ve Sosyal Meknlar n'nde 2015'ten beri yağmur suyu hasadı yöntemi uygulanmaktadır. Üniversitenin belirli yerlerine kurulan yağmur suyu bahçeleri ile zemine

uygulanan geçirimli betondan süzülerek doğal yöntemlerle arıtılan ve gölette toplanan yağmur suyu, çevre sulamasında ve kampüsün temizliğinde kullanılmaktadır. İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından yürütülen Âşık Veysel Rekreasyon Alanı'nda (Şekil 1), Ordu Büyükşehir Belediyesi bünyesinde olan bir kafede (Şekil 2) ve Gölbaşı Belediyesi'nde, yağmur suyu hasadı uygulama örnekleri bulunmaktadır [29].

Kocaeli Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan bir tesiste, Türkiye'nin ilk LEED Gold sertifikasına sahip tesisi olarak bilinmekte ve "Yeşil Bina Konsepti" içinde su korunumuyla ilgili birçok teknoloji geliştirilmiştir. Tesiste çatıdan toplanan yağmur suyu, yangın sulama sistemlerinde kullanılmak üzere depolanmakta ve aynı zamanda yumuşatılarak bina içerisinde kullanım suyu olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yağmur suyu dış mekân peyzaj sulamalarında da kullanılmaktadır. Bununla birlikte, binanın içerisinde uygulanan çeşitli su tasarrufu stratejileriyle %50'ye varan bir su tasarrufu sağlanmaktadır [28].

Diyarbakır Güneş Evi, çatılardan toplanan yağmur suyunun su deposuna yönlendirilmesi ve evsel atık suyun arıtılmasıyla elde edilen suyun kullanımını sağlamaktadır. Bu su, karbon filtrelerden geçirilerek bahçe sulamasında ve tuvalet rezervuarlarında kullanılmaktadır [28].



Şekil 1. Âşık Veysel Rekreasyon Alanı [29]



Şekil 2. Ordu Belediyesi RHW uygulama [29]

2.4. İhtiyaç Analizi

Projeye duyulan ihtiyacı ortaya koyan verilerin incelenmesi

Türkiye'deki su kaynaklarının yalnızca %39'u kullanılmaktadır. Kentsel tüketim için kullanılan su kaynakları ise yaklaşık %16'dır ve %8 olan dünya ortalamasının üzerindedir. Plansız şehirleşme ve iklim değişikliği gibi faktörler, su kaynakları üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle, su verimliliği önemi her geçen gün artmaktadır.

Proje ile ilgili beklentiler ve paydaşlara sağlanan faydalar ile çözüm getirilen problem ve sıkıntıların tespiti

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri projesinde bazı temel beklentiler ve faydalar şunlar olabilir:

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri projesi, doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayarak su tasarrufuna ve çevre korumaya katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Bu proje sayesinde, yağmur suyu ve gri su kaynaklarından suyun yeniden kullanımı artırılarak içme suyu kaynaklarından tasarruf edilebilir. Ayrıca, yeraltı suyu seviyesinin artması, sel riskinin azaltılması, çevre kirliliğinin azaltılması gibi çevresel faydalar sağlanabilir. Projenin ekonomik faydaları ise, su faturalarındaki azalma, bina değerlerinin artması ve su kaynaklarının daha verimli kullanılması nedeniyle su tedarikindeki güvenliğin artması şeklinde olabilir. Ayrıca, Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri, yeşil bina sertifikalarının alınmasına yardımcı olur. Bu sertifikalar, yapıların çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olarak tasarlandığını gösterir.

Yukarıda özetlenen beklentiler göz önünde bulundurulduğunda Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri projesi için hedefler tespit edilmiştir:

- a) Sürdürülebilir su kaynakları yönetimi: Sürdürülebilir su kaynakları yönetimi hedefleri doğrultusunda su tasarrufu sağlamak ve doğal su kaynaklarının tüketimini azaltarak çevreyi korumaktadır.
- b) Su arzının artırılması: Su arzını artırarak su kaynaklarının daha verimli kullanımına katkı sağlamaktadır.
- c) Su kalitesinin artırılması: Atık suyun arıtılması ve yeniden kullanılması sayesinde su kalitesinin artırılmasına yardımcı olmaktadır.
- d) Maliyet tasarrufu: Su tüketiminde tasarruf sağlayarak su faturalarını azaltmakta ve aynı zamanda arıtılmış su kullanımından kaynaklanan maliyetleri de azaltmaktadır.
- e) Çevre koruması: Doğal su kaynaklarının tüketimini azaltarak çevreyi korumakta ve aynı zamanda atık suyun doğaya verdiği zararları da azaltmaktadır.
- f) Yeşil binaların desteklenmesi: Yeşil binaların yapımını teşvik etmektedir. Bu da çevre dostu binaların artmasına ve sürdürülebilir bir yaşam tarzının yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır.

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri projesinin paydaşlara sağladığı faydaların yanı sıra, projenin çözüm getirdiği problem ve sıkıntılar da bulunmaktadır.

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri projesi çevresel, ekonomik ve sosyal açılardan birçok problemi ve sıkıntıyı çözmeye yöneliktir.

Çevresel açıdan, bu sistemler kentsel alanda yaygın olan yağış suyu birikintilerinin oluşmasını önler ve bu suların yüzey akışı yoluyla çevre kirliliğine neden olmasını engeller. Ayrıca, toplanan yağmur suyu ve gri suyun yeniden kullanımı sayesinde, su kaynaklarının tüketimi azaltılır ve atık suyun doğrudan doğaya salınması engellenerek su kirliliği önlenir.

Ekonomik açıdan, bu sistemlerin kurulması maliyetli olsa da uzun vadede su tasarrufu sağlar ve su faturalarının düşmesine yardımcı olur. Ayrıca, su kaynaklarının azalması nedeniyle artan su fiyatları da düşük su tüketimi ile kontrol altına alınabilir.

Sosyal açıdan, bu sistemler yerel halkın katılımı ve işbirliğini teşvik eder ve aynı zamanda su kaynaklarının daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına yardımcı olur. Ayrıca, sistemlerin kurulduğu bölgede yaşayan insanların yaşam kalitesini artırmaya yardımcı olur ve doğal afetler gibi acil durumlarda su kaynaklarının elde edilmesinde yardımcı olabilir.

Projenin başarılı olmasını sağlayacak güçlü yönlerin ve başarısızlığa neden olabilecek zayıf yönlerin tespiti

- Güçlü Yönler

- Sürdürülebilir su kaynakları kullanımına katkı sağlar. Bu sistemler, yenilenebilir su kaynaklarının kullanımını artırarak, şebeke suyu kullanımını azaltır, su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltır ve sürdürülebilir bir su yönetimi sağlar.
- Su kaynaklarının korumasını ve kullanımını optimize edilmesini sağlar.
- Gri su toplama sistemleri, atık suyun önemli bir bölümünün geri dönüştürülmesine olanak tanıyarak daha temiz su elde edilmesini sağlar.
- Yağmur suyu toplama sistemleri, yağış rejimlerindeki değişiklikler nedeniyle oluşan su kıtlığına yanıt vermek için tasarlanmıştır. Bu sistemler, yağmur suyunu depolama ve geri dönüştürme yoluyla iklim değişikliğiyle başa çıkmaya yardımcı olur.
- Çevreye zararlı atık suyu azaltarak çevre dostu bir yöntem izler. Bu sistemler ayrıca, suyun atık su kirliliği nedeniyle kullanılamaz hale gelmesini önleyerek çevreyi koruma açısından da önemlidir.
- Yağmur suyu toplama sistemleri, binaların etrafında yeşil alanların oluşturulmasına yardımcı olur. Bu sistemler sayesinde, yağmur suları kullanılarak bitki yetiştirilebilir ve böylece çevresel olarak daha sürdürülebilir bir çevre yaratılabilir.
- Şebeke suyu kullanımını azaltarak, enerji tasarrufu sağlar.
- Zayıf Yönler
 - İlk yatırım maliyeti
 - Bakım ve işletme gereksinimleri
 - Uygulamanın dikkatli işçilik gerektirmesi

2.5. Talep Analizi

Proje ile üretilecek ürünlere ve/veya sunulacak hizmetlere yönelik mevcut talebin tespiti

- Nüfus, tüketim alışkanlıkları, dikkate alınarak talep miktarları belirlenir.

Talebin gelecekteki gelişim potansiyeli ve talep için gelecek öngörülerin tespiti

- Geleceğe yönelik nüfus, ekonomi ve teknoloji öngörülerini dikkate alınarak hesaplamalar yapılır.

2021 Ocak ayında yapılan bir düzenleme ile belirli büyüklükteki yapılar için yağmur suyu toplama sistemi zorunlu hale getirildiği için, bu tür sistemlere olan talebin artması beklenmektedir. Bunun yanında, su kaynaklarının azalması ve küresel iklim değişikliğinin etkisiyle, su tüketimini azaltmak için ulusal hedefler ve stratejik planlar geliştirilmektedir. Bu yönde hedeflerin ve aksiyonların kısa ve uzun vadede artması olası görülmektedir.

3. Teknik Analiz ve Alternatif Teknolojilerin Değerlendirilmesi

Fiziki/Mekânsal Büyüklük

- Fiziki/mekânsal büyüklük projenin gerçekleşeceği şehir, mahalle, bölge, yaşam alanına bağlıdır.

Örnek Vaka

Teknik analiz ve alternatif teknolojilerin değerlendirilmesi kapsamında 1000 hektarlık bir alanda 200.000 kişinin yaşayacağı varsayılan proje için yapılan hesaplamalarda kullanılan kabuller Tablo 2 ve Tablo 3 ile verilmektedir. Proje kapsamında, tüm konut binalarında ikamet edecek tahmini kişi sayısı ve daire sayıları kullanılmıştır.

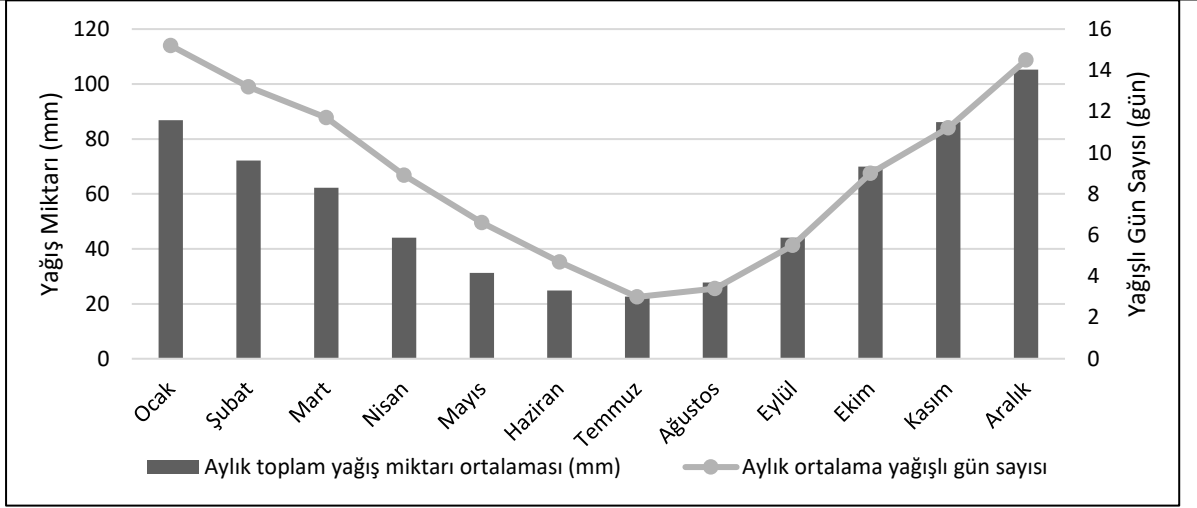
Tablo 2. Gri Su Kabulleri

Tahmini kişi sayısı (adet)	200.000
Tahmini daire sayısı (adet)	65.000
Tahmini günlük toplanan gri su miktarı (m ³ /gün)	5.222,20
Takviye sistem yükü (elektrik) [kW/(m ³ /sa)]	1,00

Tablo 3. Yağmur Suyu Sistemi Kabulleri

Tahmini toplam çatı alanı (m ²)	989.922
Çatı katsayısı	0,80
Filtre verimliliği*	0,90
Takviye sistem yükü [kW/(m ³ /sa)]	1,00
* Yağmur suyu kanalizasyon sistemlerinin etüt, planlama ve projelendirilmesine ilişkin usul ve esaslar [10]	

Proje alanından toplanacak yağmur suyunun miktarı tahmin edilirken 1929-2019 yılları arasında toplanan aylık yağış miktarları ve aylık yağışlı gün sayıları kullanılmıştır (bkz. Şekil 3) [11] .



Şekil 3. İstanbul Aylık Ortalama Yağış Bilgileri (Ölçüm Periyodu: 1929-2019) [12]

Yağmur suyu toplama sistemlerinde depo boyutlandırması, ardışık yağış alan günlerde de toplanabilecek yağmur suyunu hesaba katmak için günlük toplanabilecek su miktarından daha yüksek seçilmelidir. İstanbul'da yapılan bir çalışmada, ardışık yağış miktarları göz önünde bulundurularak depo boyutu için maksimum 90 mm ve efektif [13] 41 mm kullanılması önerilmiştir [14]. Buna göre, örnek vakada varsayılan 989.922 m² çatı alanından toplanabilecek yağmur suyu için, önerilen toplam depo boyutu en fazla 89.100 m³, efektif olarak da 40.500 m³ olmalıdır.

EPA 2012 Suyun Yeniden Kullanımı Kılavuzu'na göre, bahçe sulama, tuvalet rezervuarları, araç yıkama gibi belirli kullanımlar için önerilen arıtma işlemleri; birincil (çöktürme) ve ikincil (biyolojik oksidasyon ve dezenfeksiyon) arıtma işlemlerinin yanı sıra filtreleme ve gelişmiş dezenfeksiyondan (kimyasal koagülasyon, biyolojik veya kimyasal besin giderimi, filtreleme ve gelişmiş dezenfeksiyon) geçmesidir. Ayrıca, yeniden kazanılmış suyun kullanıldığı alandan bağımsız olarak, patojenlerin arıtılması (patojen inaktivite) gereklidir [15]. Turizmde Çevre Dostu Atık Su Yönetimi Rehberi'nde, farklı filtreleme yöntemlerinin teknik, çevresel, sosyal ve mali açılarından karşılaştırılması için alternatif arıtma teknolojileri yer almaktadır [9].

Kapasitenin Belirlenmesi

- Projenin gerçekleştirileceği bölgede yıllık ortalama yağış miktarı ve yağış sezonunun uzunluğu gibi veriler proje kapasitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Yukarıdaki örnek vakadan yola çıkılarak gerekli hesaplamalar yapılabilir.
- Bölgede yaşayan nüfusun büyüklüğü ve su tüketim alışkanlıkları, proje kapasitesinin belirlenmesinde etkili olabilir.

- Bölgenin topoğrafik yapısı, yağmur suyunun toplanması ve depolanması için uygun alanların belirlenmesinde etkilidir. Topoğrafik yapının, suyun hareketi ve birikim alanları üzerinde etkisi vardır.
- Bölgenin arazi kullanımı, yağmur suyu toplama alanlarının belirlenmesinde ve proje kapasitesinin belirlenmesinde önemlidir. Örneğin, çiftlikler, tarım alanları ve yeşil alanlar, su toplama alanlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynayabilir.

Yapısal Proje Gereksinimleri

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri uygulaması için yapısal proje gereksinimleri aşağıda verilmiştir:

- Projede toplanacak olan yağmur suyu ve gri suyun depolanması için yeterli büyüklükte su depolama alanlarının tasarlanması. Yukarıdaki örnek vakadan yola çıkılarak gerekli hesaplamalar yapılabilir.
- Su dağıtım sistemleri: Su depolama alanlarından toplanan suyun, kullanılacak alanlara dağıtımı için uygun dağıtım sistemlerinin oluşturulması. Bu dağıtım sistemleri içerisinde, filtreleme ve temizleme sistemleri de yer almalıdır.
- Yağmur suyunun toplanması için uygun alanların belirlenmesi ve bu alanların uygun şekilde tasarlanması.
- Gri suyun toplanması için uygun alanların belirlenmesi ve bu alanların uygun şekilde tasarlanması.
- Su dağıtımı için boru hatları kullanılacaksa, bu hatların proje boyunca kullanılacak su miktarını karşılayacak kapasitede olması gerekmektedir. Boru hatlarının malzeme seçiminin, yerel bölge koşulları, suyun özellikleri ve kullanım alanlarına uygun şekilde yapılması.
- Su arıtma sistemi: Projede kullanılacak olan gri suyun ve yağmur suyunun arıtılması için uygun arıtma sistemlerinin tasarlanması. Bu sistemlerin verimli ve sürdürülebilir olması önemlidir.
- Su dağıtım sistemleri ve su arıtma sistemleri gibi yapısal bileşenlerin güç kaynaklarına erişiminin sağlanması. Bu güç kaynaklarının yedekli ve sürekli çalışabilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

Yazılım ve Donanım Gereksinimleri

Proje kapsamında ihtiyaca göre kurulacak çeşitli sistemlerin yazılım ve donanım gereksinimleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

Yazılım gereksinimleri:

- Veri toplama ve yönetim yazılımları

- Hidrolojik modelleme yazılımları
- Coğrafi bilgi sistemleri (GIS) yazılımları
- Veri analizi ve raporlama yazılımları
- Yönetim ve kontrol yazılımları

Donanım gereksinimleri:

- Sensörler: Su seviye, su sıcaklığı, pH, çözülmüş oksijen, vb.
- Pompa sistemleri
- Yağmur suyu toplama tankları
- Su arıtma ve filtreleme ekipmanları
- İletim hatları ve veri toplama cihazları
- Kontrol cihazları ve sensörler için veri kaydedicileri

Alternatif teknolojiler nelerdir? Karşılaştırma yapınız.

- Yeşil çatılar: Bu sistemler, binaların çatılarında su tutan ve suyu bitki örtüsü aracılığıyla buharlaştıran bir çatı kaplaması kullanır. Bu şekilde, yağmur suyu toplanır ve kullanılabilir su kaynaklarına dönüştürülür.
- Yağmur bahçeleri: Bu sistemler, bahçelerin tasarımını yağmur suyunu toplamaya ve yönlendirmeye uygun hale getirir. Yağmur bahçeleri, yer altı suyu şarjı için toprağı filtreleyerek de suyun kalitesini artırır.
- Yağmur fıçıları: Bu sistemler, basit bir yağmur suyu toplama çözümdür. Yağmur fıçıları, evlerin veya binaların bahçesinde bulunan bir su deposudur ve yağmur suyunu toplamak için kullanılır. Bu su daha sonra bahçe sulamak veya araç yıkamak için kullanılabilir.
- Kentsel kanalizasyon ayırma: Bu sistemler, kentsel alanlarda yağmur suyunu ve atık suyu ayıran bir drenaj sistemi kullanır. Bu şekilde, yağmur suyu toplanabilir ve geri dönüştürülebilir.
- Su filtreleri: Bu sistemler, gri suyun temizlenmesinde kullanılır. Su filtreleri, gri suyu arıtmak ve daha sonra kullanılabilir suya dönüştürmek için bir dizi filtre kullanır. Bu sistemler, evler veya binalar için kullanılabilir.

Yağmur suyu toplama sistemleri

Yağmur suyunun toplanması için çeşitli sistemler mevcuttur. Bu sistemler arasında, yapıya en uygun olanı seçilerek yağmur suyunun toplanması ve depolanması sağlanabilir [27].

Tablo 4. Yağmur Suyu Toplama Sistemleri

Yağmur suyu toplama sistemleri	Çalışma stili	Kurulum Alanı	Avantaj ve Dezavantajları
Su varilleri	Drenaj borularından ya da doğal yağıştan suyun bir varilde toplanması	Konut bahçeleri	Uygulama ve yapım maliyeti çok düşüktür. Fakat kapasitesi düşük olduğu için taşmalar yaşanabilir.
Sarnıç	Su binaların çatılarından veya zeminden toplanıp oluklardan iletilerek yağmur suyu deposunda biriktirilir ve son olarak arıtılıp bina içine verilir.	Tüm yapılar	Yeraltına yapıldığı için su güneş ışınlarından korunup su serin tutulur fakat onarım işlerinde zorluklar yaşanabilir.
Depo (tank)	Su, yer üstünde ya da yer altında bulunan tanklara iletilerek bu alanda toplanıp depolanır.	Tüm yapılar	Yeraltına yapıldığı için su güneş ışınlarından korunup su serin tutulur fakat onarım işlerinde zorluklar yaşanabilir.
Drenaj	Yer altında yağmur suyunun toplanmasını sağlarken sel baskınlarında suyun kontrolünü sağlar.	Tüm alanlar	Yer altında minimum kazı ve maliyet ile birlikte yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir.
Aquatecture	Yapıdaki açıklıklar üzerine gelen yağmur damlalarını biriktirip binanın gri su sistemine yönlendirmesi ile çalışmaktadır.	Yapı dış yüzeyleri Cephe	Yapıya entegre olmasının kolay olması kurulumunu kolaylaştırmaktadır. Maliyet değerinin biraz yüksektir.

Waterfull	Toplanan su filtrelenerek haznesinde depolanmaktadır.	Açık alanlar	Küçük bir sistemle su verimliliği sağlanabilmektedir. Fakat su toplama kapasitesi azdır.
------------------	-------------------------------------------------------	--------------	------------------------------------------------------------------------------------------

Teknoloji seçiminin dayandığı kriterler nelerdir?

- 1) Teknoloji yeni mi.
- 2) Teknoloji yerli mi (Seçilen teknolojinin yerli olması Ülke politikaları çerçevesinde önemli olduğu unutulmamalıdır.)
- 3) Teknoloji yerli değilse yerleştirilebilir mi
- 4) Uyumluluk
- 5) Maliyet
- 6) Kolay bakım ve işletme
- 7) İklim koşulları
- 8) Su kaynağı
- 9) Su kalitesi
- 10) Su gereksinimi

Teknik tasarım süreçlerini (süreç tasarımı, makine-donanım, inşaat işleri, arazi düzenleme, yerleşim düzeni vb.) açıklayınız.

1. Tasarım öncesi

- Proje sahibinin ihtiyaçlarının tamamlanması
- Projenin su verimliliği hedeflerinin belirlenmesi
- Uygulama bütçesinin belirlenmesi
- Tasarım senaryolarının tanımlanması ve ön-tasarımın yapılması

2. Tasarım

- Tasarım seçeneklerinin analizleri ile su ve maliyet tasarruflarının değerlendirilmesi
- Tasarım kararlarının tanımlanması
- Nihai tasarımın geliştirilmesi

- Şartnameler ve ihale dokümanlarının hazırlanması

3. Uygulama/İnşaat

- Kaba inşaatın tamamlanması
- Uygulama öncesi hazırlık çalışmaları
- Gri su ve yağmur suyu sisteminin uygulanması

4. Devreye alma

- Sistemlerin arıtma ve filtreleme testlerinin tamamlanması
- Su kalitesi ve güvenilirliğinin test edilmesi
- Sızdırmazlık kontrolleri ve testleri

4. Finansal Analiz

Finansal analiz kapsamında kullanılmış olan diğer kabuller aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 16.05.2023 tarihli konut başına 0-15 (15 dahil) m³/ay a kadar kullanım tarifesine göre birim su fiyatı 14,61 TL/m³ olarak kabul edilmiştir [16].
- 30.03.2023 tarihli elektrik tarife tablosuna göre vergiler dahil birim elektrik fiyatı 2,21 TL/kWh olarak kabul edilmiştir [17].
- Gri su sistemi ilk yatırım maliyeti daire başına 180 \$ olarak kabul edilmiştir. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi'nde bildirisinde 500 daire ve üstü binalar için belirtilen 242 \$/daire kabulü üzerinden ölçek büyüklüğü ve teknolojinin gelişimi nedeniyle azaltımı öngörülmüştür [18]. Bu kabulün tasarım ve planlama aşamasında düşmesi beklenmektedir.
- Yağmur suyu toplama sistemi ilk yatırım maliyeti daire başına 60 \$ olarak kabul edilmiştir. Bu varsayımın hesaplanmasında, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi'nde belirtilen 200 TL/m³ ilk yatırım maliyeti kabulü (yayınlandığı tarihte belirtilen TL/\$ kuru ile değerlendirilerek) ve belirlenen depo hacmi kullanılmıştır [19].

Örnek Vaka

1000 hektarlık bir alanda 200.000 kişinin yaşayacağı varsayılan proje için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen maliyet analizi Tablo 5 ile verilmektedir.

Tablo 5. Maliyet Analizi

		Senaryo 1: Yağmur Suyu Sistemi	Senaryo 2: Gri Su Sistemi	Senaryo 3: Yağmur Suyu + Gri Su Hibrit Kullanım
Yıllık su tüketimi tasarrufu	m ³ /yıl	487.500	1.963.000	2.905.500
Yıllık su tüketim maliyeti tasarrufu	\$/yıl	\$447.800	\$1.808.300	\$2.669.550
Yıllık daire başına düşen su tüketimi tasarrufu	m ³ /yıl- daire	7,5	30,2	44,7
Yıllık daire başına düşen su tüketim maliyeti tasarrufu	\$/yıl-daire	\$6,92	\$27,82	\$41,07
Yıllık işletme maliyeti	\$/yıl	\$4.708	\$43.441	\$244.345
Yıllık net tasarruf	\$/yıl	\$443.092	\$1.764.859	\$2.425.205
İlk yatırım maliyeti (TL)	\$	\$2.637.080	\$7.844.519	\$1.046.105
Basit geri ödeme süresi (yıl)	Yıl	5,9	4,4	0,4

5. Ekonomik Analiz

Yapılan çalışmalar kapsamında, belirlenen senaryoların hane başına sağlayacakları su tasarrufları miktar ve maddi olarak Tablo 6 ile verilmektedir.

Tablo 6. Hane Başına Düşen Su Tasarrufu Miktarı

Performans indikatörleri		Yağmur Suyu Sistemi	Gri Su Sistemi	Su Sistemi	Yağmur Suyu + Gri Su Hibrit Kullanım
Yıllık daire başına düşen su tüketimi tasarrufu	m ³ /yıl- daire	7,5	30,2		44,7
Yıllık daire başına düşen su tüketim maliyeti tasarrufu	\$/yıl-daire	\$6,92	\$27,82		\$41,07

6. Sosyal Etkinin Analizi

Yağmur Suyu ve Gri Su Geri Kazanım Sistemlerinin kullanımında sosyal kabulün bir engel olarak öne çıktığı görülmektedir. Oteng-Peprah, Acheampong & DeVries, projenin başarısının, teknik kriterleri karşılamadan ötesinde, toplum tarafından benimsenmemelerine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Kullanıcının benimsemediği bir çözüm, güvensiz olarak algılanarak kullanıcılar arasında bu etiketle anlatılabilir. Geri kazanılmış su kullanımı için yapılan sosyal araştırmalar, genel olarak doğrudan insan temasından uzakta kullanıldığında bu yöntemin daha kolay benimsendiğini göstermektedir. Arıtılmış suyun çeşmelerde bulunması şüphe uyandırırken, sulama daha kolay kabul edilmektedir. Ayrıca, gri suyun kaynağı da önemlidir: kullanıcılar kendi hanelerinde ürettikleri gri suyu daha güvenilir bulurken, kaynağı bilinmeyen toplu gri su sistemlerinden beslenmesini tercih etmemektedirler. Su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde ve eğitim düzeyi yüksek topluluklarda kabul oranlarının daha yüksek olduğu gözlenmektedir [20].

Avustralya ve ABD gibi ülkelerde, bazı projeler aracılığıyla gri suyun içilebilir veya çeşme suyu olarak kullanılmasını engelleyen imza ve basın kampanyaları yapılmıştır. İncelenen vakalarda, mühendislik hesaplarına rağmen gri suyun "lağım" ile ilişkilendirildiği ve her durumda kirli olarak algılandığı görülmektedir. 2004 yılında yapılan bir ankete dayanan araştırmalar da bu algıyı desteklemektedir [21].

Ürdün ve Lübnan'da yapılan bir projenin ön araştırması, su sorunu yaşıyan kurak bölgelerde yağmur suyu toplama ve su geri dönüşümü sistemlerinin yerleşimin tarihinde geleneksel olarak kullanıldığına işaret etmektedir. Bu çalışma, su kaynağı kısıtlı bölgelerde haftanın her günü su sağlanamayan alanları ele almaktadır. Gri su planlarının bir sosyal yönetim planıyla ele alınmasını önermektedir ve bu planın adil su tedarikini hedeflemesi gerektiğine vurgu yapmaktadır. Ayrıca, camiler gibi kamusal kullanım alanları, bu planların örneklenmesi için uygun yerler olarak önerilmektedir [22].

Su geri dönüşümü projelerinde, teknik boyutun yanı sıra sosyal planlama da dikkate alınmalıdır. Bu planlama, teknik konuları ve arıtma standartlarını içeren bir farkındalık çalışması şeklinde olmalıdır. Dönüştürülen suyun kaynağına bağlı olarak farklı kullanımlarının olduğu ve sıhhi standartlara uygun olduğu açıklanmalı ve kullanıcıların olası önyargılarının önüne geçmek için bilgilendirme yapılmalıdır. Su kaynaklarına yönelik gelecekteki tedarik sorunları, su geri dönüşümünün geleneksel yaklaşımlarda kullanımının önemini vurgulayarak benimsenmesine yardımcı olabilir. Son olarak, kamu yapıları su geri dönüşümü konusunda öncülük yapabilme potansiyeline sahiptir.

7. Çevresel Etkinin Analizi

Doğal kaynakların hızla tükenmesi, küresel ısınma, artan hava kirliliği ve su kaynaklarının azalması, çevre dostu bina tasarımının önemini artırmaktadır. Yağmur suyunun toplanması ve gri suyun ikincil su olarak kullanılması, bina tasarımında giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Yağmur suyu geri kazanım sistemleri, iklim değişikliği uyum stratejileri arasında yer alır. Bu sistemler, su stresini azaltmak ve çevresel kirliliği azaltmak için kullanılan suların farklı alanlarda

değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin çevresel etkisi incelendiğinde, pompa elektrik tüketimi ve yağmur suyu geri kazanım sistemi içinde kullanılan aktif karbonlu filtreler gibi olumsuz parametreler de mevcuttur. Bazı yaşam döngüsü analizi çalışmaları, binalarda yağmur suyu toplama sistemlerinin uygulanmasının çevreye olumsuz etkileri olabileceğini göstermektedir [23]. Bu nedenle, bu sistemlerin tasarımı yapılırken detaylı yaşam döngüsü analizleri yapılması gerekmektedir.

Başka bir çalışmada, yağmur suyu hasat sistemi ve belediye su tedarik sistemi içindeki alt bileşenlerin yaşam döngüsü envanterleri oluşturuldu ve bu sistemlerin ve alt sistem parçalarının yaşam döngüsü çevresel etki analizleri yüzdesel olarak karşılaştırılmıştır. Yaşam döngüsü etki analizlerinde, asitleşme, enerji tüketimi, ötrofikasyon, fosil yakıt kullanımı, içilebilir su kullanımı, küresel ısınma, insan sağlığı kriteri, metal tüketimi ve ozon incelmesi kategorileri dikkate alınmıştır. Bu çalışmaya göre, yağmur suyu hasat sistemlerinin enerji tüketimi, fosil yakıt kullanımı, küresel ısınma vb. 6 etki kategorisinde belediye su tedarik sistemlerine göre daha iyi performans gösterdiği saptanmıştır [24].

Gri su geri kazanım sistemleri sayesinde bina atık suları kimyasal, fiziksel ve biyolojik işlemlerden geçirilerek kullanıma hazır içilemeyen su haline getirilir. Bina hane su tüketiminin %25'i tuvalet kullanımından kaynaklanırken, hane atık suyunun %50-80'i gri su olarak sınıflandırılabilir [25]. Gri su geri kazanım sistemleri sayesinde içilemeyen su tüketimi önemli ölçüde azaltılabilir.

Bir başka araştırmada, ticari ve konut binalarında kullanılan 4 farklı sistem olarak gri su kazanım sistemi, ana şebeke su sistemi, yağmur suyu hasat sistemi ve hibrit yağmur-gri su sistemi yaşam döngüsü analizi yapılarak incelenmiştir. Bu sistemlerin çevresel etkileri; asitleşme, ötrofikasyon, kullanım suyu ekotoksitesitesi, küresel ısınma, insan zehirlenmesi, fotokimyasal ozon oluşumu ve su stres indeksi olmak üzere 7 farklı kategoride değerlendirilmiştir [26]. Analize göre, ticari ve konut binalarında hibrit yağmur-gri su sistemi çevresel açıdan en iyi performansı göstermektedir ve bu yöntemin kullanımı önerilmektedir.

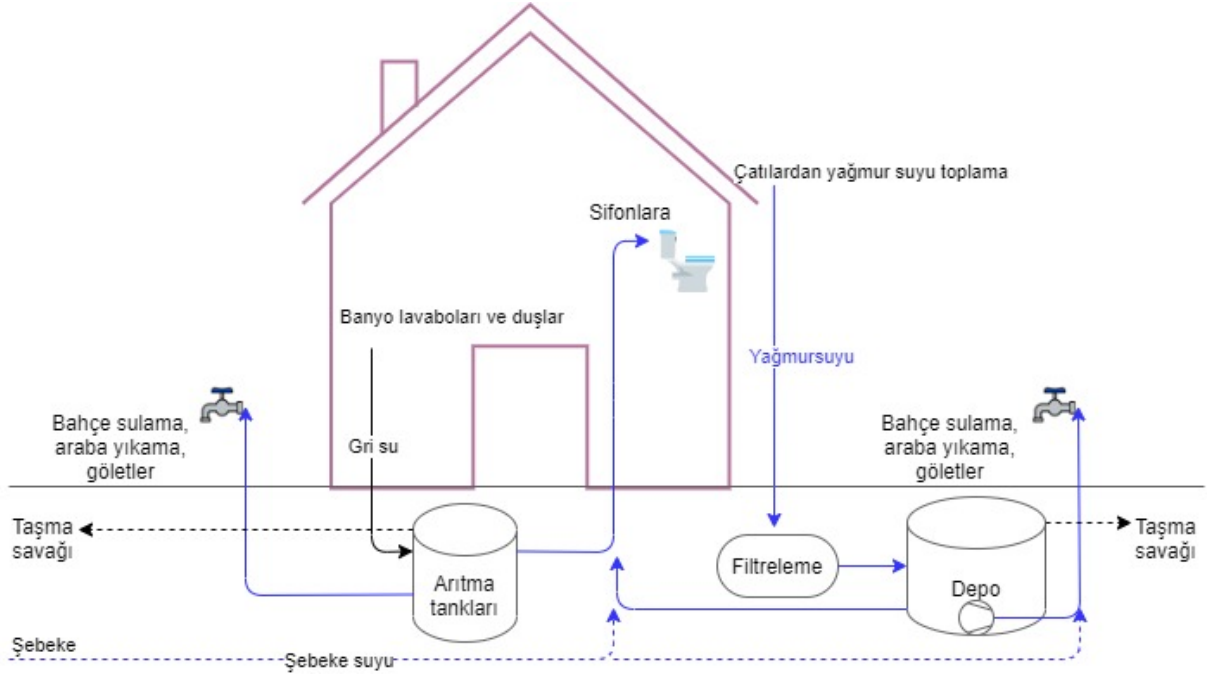
8. Risk Analizi

Gri Su ve Yağmur Suyu Toplama Sistemleri gibi su verimliliğini sağlayan projelerde, ilk yatırım maliyetleri enflasyon kaynaklı artış, teknolojiye gelişmelerden kaynaklı düşüş veya detay tasarımdaki ölçek farklılıklarından dolayı düşüş/artış gösterebilir. Ayrıca, su ve elektrik birim fiyatları da küresel fiyatlar ve döviz kuru değişiklikleri nedeniyle dalgalanabilir. Ancak, bu değişiklikler, projenin performansını belirli bir ölçüde etkilese de, projenin sürdürülebilirliği hakkındaki değerlendirmeleri ciddi şekilde etkilemesi beklenmez.

9. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu proje, özellikli ve yenilikçi uygulamalardan biri olduğu için ulusal yapı ve yerleşim envanterine katkısı ve iklim değişikliğine uzun vadeli etkileri önemsenmelidir.

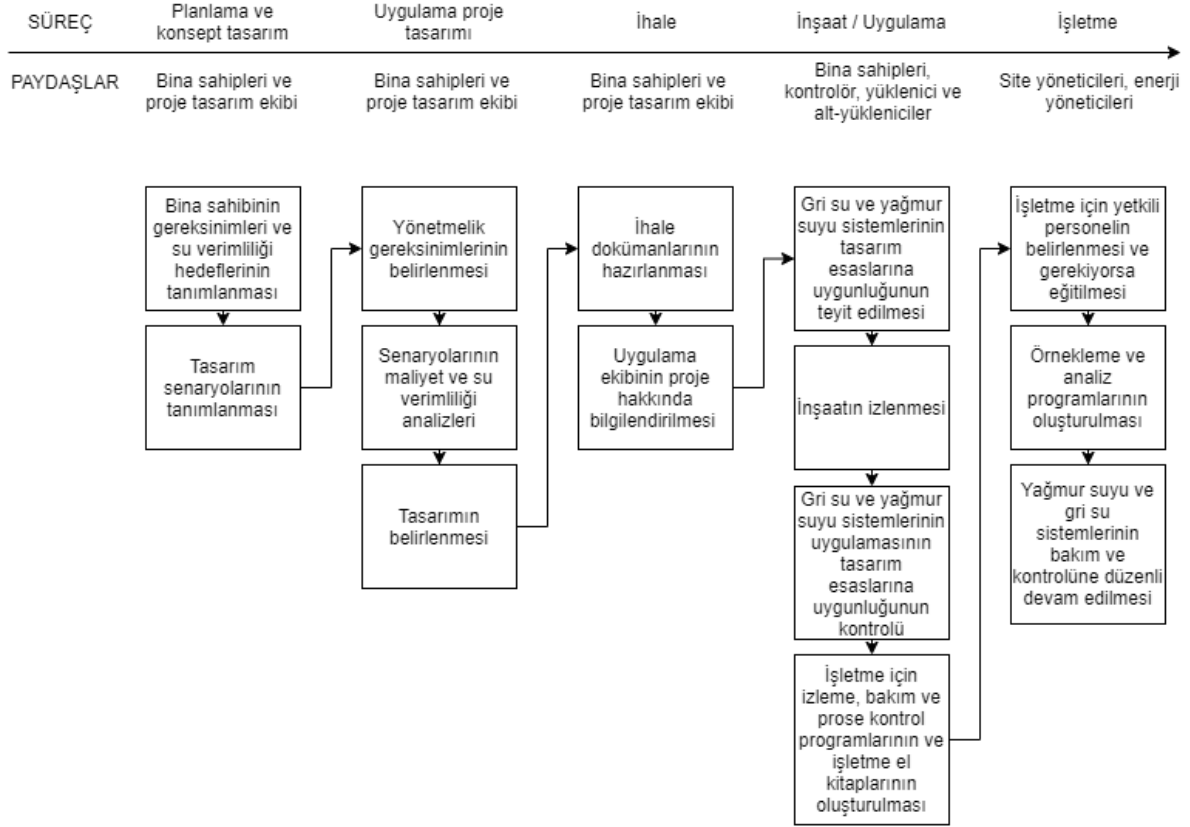
Sonuç olarak, Senaryo 3'te tasarlanan entegre sistem, finansal, çevresel ve ekonomik açılardan daha büyük katkı sağlamaktadır. Geri ödeme süresi en düşük olan ve en faydalı seçeneğin Senaryo 3'teki entegre tasarım olduğu öngörülmektedir. Şekil 4'de, bu senaryonun şematik bir gösterimi verilmiştir.



Şekil 4. Yağmur Suyu ve Gri Su Sistemlerinin Şematik Gösterimi [12]

10. Yol Haritası

Şekil 5'te ilgili paydaşlarla birlikte, yağmur suyu ve gri su sistemlerinin planlama ve işletme aşamalarında önerilen konular sunulmaktadır. Bu öneriler, süreçler boyunca dikkate alınması gereken konuları içermektedir.



Şekil 5. Yağmur Suyu ve Gri Su Sistemleri için Önerilen Yol Haritası [12]

11. Kaynakça

- [1] Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu. Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği. T.C. Kalkınma Bakanlığı.
- [2] Özcan, E. (2014). Türkiye’de Atıksu Yönetimi. Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi ve Turizmde Atıksu Yönetimi Eğitimi. Kocaeli.
- [3] <https://www.iapmo.org/publications/read-uniform-codes-online/>
- [4] Turizmde Atıksu Yönetimi. 16 05, 2023 tarihinde <https://tay.csb.gov.tr/tanimlar-i-4686> adresinden alındı.
- [5] Karahan, A. Gri Suyun Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- [6] GÖRGÜN, G. (2010). Binalarda Yağmur Suyu ve Gri Suyun Kombine Kullanılmasına ait İki Örnek Proje. TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, s. 37-45.
- [7] Tübitak MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü. (2014). Bileşen 2: Turizmde Çevre Dostu Atıksu Yönetim Modelinin Oluşturulması – Fizibilite Raporu. Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi Projesi.

- [8] Kitiş, M., Şahinkaya, E., Köseoğlu, H., Öztürk, E., & Öztaş, T. (2019). Kullanılmış Suların Yeniden Kullanıma İlişkin Rehber Doküman. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- [9] HOCAOĞLU, S., ATAÇOĞLU, I., ERZİ, İ., GÜNEŞ, K., BAŞTÜRK, İ., TALAZAN, P., & ERGENEKON, Ş. (2014). Turizmde Çevre Dostu Atıksu Yönetimi Rehberi . Gebze: Tübitak MAM ÇE.
- [10] Resmi Gazete. Yağmursuyu kanalizasyon sistemlerinin etüt, planlama ve projelendirilmesine ilişkin usul ve esaslar. 16 05, 2023 tarihinde <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170623-8-1.pdf> adresinden alındı.
- [11] Resmi İstatistikler.(T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü) 16 05, 2023 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ISTANBUL> adresinden alındı.
- [12] TÜBİTAK-TÜSSİDE. (Nisan 2021). Esenler Belediyesi Akıllı Şehir Uygulamaları Fizibilite Projesi. Akıllı Sulama ve Yağmur Suyu Uygulaması Ön Fizibilite Raporu.
- [13] Yağmur suyu toplama özellikle sulama ihtiyacının yüksek olduğu yaz aylarında önemlidir. Bu çalışma kapsamında 5 yıllık yağış verileri incelenmiştir. Mevsimde en yüksek ardışık yağışlı gün sayısı 5 gün, en yüksek yağış miktarı 90 mm bulunmuştur. 5 yılın 3 günden fazla ardışık yağışlı günlerinin toplamı ise ortalama 41 mm olmuştur. Bu nedenle efektif (en kullanışlı) kapasitenin belirlenmesinde 41 mm değerine göre hesap yapılması önerilmiştir.
- [14] Tübitak MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü. (2014). Bileşen 2: Turizmde Çevre Dostu Atıksu Yönetim Modelinin Oluşturulması – Fizibilite Raporu. Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi Projesi.
- [15] Su Birim Fiyatları. (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi) 16 05, 2023 tarihinde <https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/musteri-hizmetleri/su-birim-fiyatları> adresinden alındı.
- [16] <https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/musteri-hizmetleri/su-birim-fiyatları1>
- [17] <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tabloları>
- [18] Karahan, A. Gri Suyun Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- [19] Silkin, H., & Aras, M. (2017). Toplu Konutta Yağmur Suyu Hasadı Ve Gri Suyun Kullanılması Uygulaması. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi'nde (TİKDEK 2017). İstanbul.
- [20] Energean Oil & Gas. (2014). Environmental And Social Impact Assessment (ESIA): Environmental Risk Management And Monitoring Plan.

- [21] Yoonus, H., & Al-Ghamdi, S. (2020). Environmental performance of building integrated grey water reuse systems based on Life-Cycle Assessment: A systematic and bibliographic analysis. *Science of The Total Environment*.
- [22] Oteng-Peprah, M., Acheampong, M., & deVries, N. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water, Air & Soil Pollution*.
- [23] Vialle, C., Busset, G., Tanfin, L., Montrejaud-Vignoles, M., Huau, M., & Sablayrolles, C. (2015). Environmental analysis of a domestic rainwater harvesting system: A case study in France. *Resources, Conservation and Recycling*, 102, 178-184.
- [24] Santosh, G., J. J., Ingwersen, W., & Sojka, S. (2017). Life cycle assessment of a commercial rainwater harvesting system compared with a municipal water supply system. *Journal of Cleaner Production*, 151, 74-86.
- [25] Yoonus, H., & Al-Ghamdi, S. (2020). Environmental performance of building integrated grey water reuse systems based on Life-Cycle Assessment: A systematic and bibliographic analysis. *Science of The Total Environment*.
- [26] Leong, J., Balan, P., Chong, M., & Poh, P. (2019). Life-cycle assessment and life-cycle cost analysis of decentralised rainwater harvesting, greywater recycling and hybrid rainwater-greywater systems. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1211-1224.
- [27] Tavşan, F., Bahar, Z., Tavşan, C.(2022). Sürdürülebilirlik Kapsamında Yağmur Suyu Toplama Sistemli Pavilyonlar, *Kent Akademisi Dergisi*, 15(2):877-896. <https://doi.org/10.35674/kent.936162>
- [28] Şahin, N. & Manioğlu, G. Binalarda Yağmur Suyunun Kullanılması. X. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ. İzmir.
- [29] Selimoğlu, P., & Yamaçlı, R. (2022). Sürdürülebilir Yağmur Suyu Hasadı Üzerine Yapısal Bir İnceleme. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları Ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 5(2), 210-231. <https://doi.org/10.51764/Smutgd.1121620>