

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAĞMUR SUYU TOPLAMA SİSTEMİ TASARIMI VE
YAĞMUR SUYUNUN KULLANIMI: SEKTÖREL
UYGULAMA ÖRNEĞİ**

**Hazırlayan
Mustafa GEBEN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim UYANIK**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2023
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAĞMUR SUYU TOPLAMA SİSTEMİ TASARIMI VE
YAĞMUR SUYUNUN KULLANIMI: SEKTÖREL
UYGULAMA ÖRNEĞİ**

**Hazırlayan
Mustafa GEBEN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim UYANIK**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2023
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mustafa GEBEN



‘Yağmur Suyu Toplama Sistemi Tasarımı ve Yağmur Suyunun Kullanımı: Sektörel Uygulama Örneği’ adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Mustafa GEBEN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi. İbrahim UYANIK

Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Oktay ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Bana çalıőmalarım süresince her türlü yardımını ve fedakârlığı sağlayan, sevgili ailem, yardımlarını esirgemeyen iş arkadaşım ve sınıf arkadaşım Çevre Mühendisi Nurhan YETGİN'e, tasarım ve bilgisini esirgemeyen Yağmur Suyu Toplama Tasarımcısı Isaac DeRowe'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa GEBEN

Ocak 2023, KAYSERİ

YAĞMUR SUYU TOPLAMA SİSTEMİ TASARIMI VE YAĞMUR SUYUNUN KULLANIMI: SEKTÖREL UYGULAMA ÖRNEĞİ

Mustafa GEBEN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2022
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Uyanık

ÖZET

Yağış yetersizliği, çevresel kirlilikler, yeşil alan yıkımları ve sıcak hava olayları kuraklığı beraberinde getirmektedir. Artan su tüketimi ve içilebilir su kaynaklarının yetersizliği, temiz su ihtiyacını karşılamak için harcanan maliyetin de artmasına sebep olmaktadır. Su hayatın her alanında kullanılmaktadır. Üretim, enerji, gıda, tekstil vb. alanlarda su tüketimi oldukça fazladır. Özellikle farklı üretim alanlarını barındıran Organize Sanayi Bölgelerinin su ihtiyacını karşılamak zorlaşmaktadır ve bu durum alternatif su kaynaklarına yönelimi hızlandırmaktadır. Bu kaynaklar arasında bulunan yağmur suyu, toplaması kolay ve düşük arıtma maliyeti içeren bir kaynaktır. Yağmur suyu çatıdan toplanacağı gibi zeminden de toplanabilmektedir.

Yapılan çalışmada Kayseri ilinde bulunan Organize Sanayi Bölgesinde seramik üretimi konusunda faaliyet gösteren işletme için yağmur suyu toplama sisteminin tasarlanması hedef alınmıştır. Galvaniz kaplı çatı üzerinden yağmur suyu toplama sistemi tasarlanmıştır ve toplanacak yağmur suyu için depolama hacmi belirlenmiştir. Galvaniz kaplı metal çatı üzerinden toplanan yağmur suyu ve kar suyunun kimyasal özellikleri ve bazı gösterge parametreleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Türk Standartları Enstitüsü (TSE) 266 ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile karşılaştırılmıştır. Yağmur suyu ve kar suyunun oldukça sert su olduğu ve pH değerleri uygun değerler arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca yağmur suyunun renk değeri kar suyundan yüksek çıkmıştır.

Çalışma kapsamında. 22.000 m² çatı alanına sahip bir işletme için, DIN 1989-1:2001-10 formülleri kullanılarak yıllık 6.514 m³ yağmur suyu toplanacağı hesaplanmıştır. Toplanan su; içme suyu, soğutma kulesi, yangın tesisat sistemi, proses suyu, buhar kazanı make-up suyu, araç yıkama, bahçe ve peyzaj sulaması için değerlendirilmiştir. Ortalama 12 aylık su tüketimi bilinen tesis için su tüketim alanları belirlenerek, aylık su tüketim hesaplamaları yapılmıştır. Yıllık ortalama 34.867,08 m³ su ihtiyacı olan işletme, yıllık 6.514 m³ yağmur suyu toplayarak su tüketimine yaklaşık %19 oranında katkı sağlayabileceği görülmüştür.

Arıtma sistemleri hakkında bilgi verilerek kullanılacak malzeme ve ekipmanların listesi çıkarılmıştır. İlk yatırım, işletme ve bakım maliyeti 1.226.725,69 TL'dir. Toplam su tüketimi için enflasyon artışları dikkate alınarak harcanacak maliyetin 1.233.173 TL olduğu bulunmuştur. Ana su şebekesine bağlanarak yardımcı kaynak olarak kullanılacak olan yağmur suyu toplama sistemi 6 yıldan kısa bir sürede geri ödeme süresini tamamlanacağı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yağmur suyu, Yağmur suyu Toplama Sistemi(YTS), Arıtma, Çatı, Depolama, Geri Ödeme Süresi

DESIGN OF RAINWATER COLLECTION SYSTEM AND USAGE OF RAINWATER: SECTORAL APPLICATION EXAMPLE

Mustafa GEBEN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, December 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İbrahim UYANIK

ABSTRACT

Lack of precipitation, environmental pollution, destruction of green areas and hot weather events bring along drought. Increasing water consumption and inadequacy of potable water resources cause an increase in the cost of meeting the need for clean water. Water is used in all areas of life. Water consumption of prod. Energy, food, .. Sector is quite high.. It is difficult to meet the water needs of Organized Industrial Zones, which contain different production areas, and this situation accelerates the orientation to alternative water resources. Among these resources, rainwater is a resource that is easy to collect and has low treatment costs. Rainwater can be collected from the roof as well as from the ground.

In the study, it was aimed to design a rainwater collection system for the enterprise operating in the field of ceramic production in the Organized Industrial Zone in the province of Kayseri... A rainwater collection system was designed over the galvanized roof and the storage volume was determined for the rainwater to be collected. The chemical properties and some indicator parameters of the rainwater and snow water collected over the galvanized metal roof were analyzed. Analysis results were compared with Turkish Standards Institute (TSE) 266 and World Health Organization (WHO). It has been observed that rainwater and melted snow are hard water and their pH values are between appropriate limits. In addition, the color value of rainwater was higher than melted snow.

It has been calculated that 6,514 m³ of rainwater will be collected annually by using the formulas of DIN 1989-1:2001-10 for a factory with a roof area of 22,000 m². The collected water was evaluated for drinking water, cooling tower, fire installation system, process water, steam boiler make-up water, vehicle washing, garden and landscape irrigation. Monthly water consumption calculations were made by determining the water consumption areas for the facility, whose average water consumption is known for 12 months. It has been observed that the factory which needs an average of 34,867.08 m³ of water annually, can contribute approximately %19 to water consumption by collecting 6,514 m³ of rain water annually.

A list of materials and equipment to be used was prepared by giving information about treatment systems. The initial investment, operation and maintenance cost is 1,226,725.69 TL. The cost to be spent for the total water consumption, considering the increasing inflation, was found to be 1,233,173 TL. It is calculated that the rainwater collection system, which will be connected to the main water network and used as an auxiliary source, will complete the payback period in less than 6 years.

Keywords: Rainwater, Rainwater Collection System (RCS), Treatment, Roof, Storage, Payback Period

İÇİNDEKİLER

YAĞMUR SUYU TOPLAMA SİSTEMİ TASARIMI VE YAĞMUR SUYUNUN KULLANIMI: SEKTÖREL UYGULAMA ÖRNEĞİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR	xiii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi
GRAFİKLER LİSTESİ.....	xviii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Yağmur suyu Hasat ve Depolama Yöntemleri.....	5
1.1.1. Sarnıç	6
1.1.2. Depo (Tank) Yöntemi	7
1.2. Yağmur Suyu Mikrobiyolojisi ve Kimyası	12
1.3. Çatı Teknik Yapısı ve Su Kalitesi	13
1.4. Yağmur Suyu Arıtımı	14
1.5. Arıtma Ekipmanları ve Dezenfeksiyon Yöntemleri.....	15
1.5.1. Yaprak Tutucu.....	15
1.5.2. Kum Tutucu	15
1.5.3. Aktif Karbon (AC).....	17
1.5.4. İyon Değişimi.....	18

1.5.5. UV Dezenfeksiyonu.....	20
1.5.6. Klorlama.....	22

2. BÖLÜM YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem	26
2.1.1. Çalışma Alanı	26
2.1.2. Deneysel Yöntem	29
2.2. Yağmur Suyu Toplama Sistemi Tasarımı	35
2.2.1. Toplama ve Taşıma	36
2.2.2. Taşıma ve Oluk Sistemi.....	39
2.2.3. Ön Arıtma.....	41
2.2.4. Depolama	42
2.2.5. Pompa Seçimi	43
2.3. Su Kullanım Miktarının Belirlenmesi.....	48
2.3.1. Bahçe ve Peyzaj Sulama	48
2.3.2. Soğutma Kulesi Su İhtiyacı Hesabı	48
2.3.3. İçme suyu İhtiyacı.....	49
2.3.4. Yangın Söndürme Sistemi Su İhtiyacı	50
2.3.5. Buhar Kazanı Make Up (Besleme) Suyu İhtiyacı	52
2.3.6. Araç Yıkama Su İhtiyacı	53
2.3.7. Proses Suyu İhtiyacı Hesabı	53

3. BÖLÜM BULGULAR

3.1. Yağmur Suyu ve Kar Suyu Analizi	54
3.2. Su Kullanım Miktarlarının Belirlenmesi.....	56
3.2.1. Bahçe ve Peyzaj Sulama	56
3.2.2. Soğutma Kulesi Su İhtiyacı.....	58
3.2.3. İçme Suyu İhtiyacı	60
3.2.4. Yangın Söndürme Sistemi.....	61
3.2.5. Buhar Kazanı Make Up (Besleme) Suyu	62

3.2.6. Araç Yıkama Su İhtiyacı	63
3.2.7. Proses Suyu İhtiyacı	63
3.2.8. Genel Su İhtiyacı	64
3.3. Yağmur Suyu Toplama Sistemi Tasarımı	66
3.3.1. Toplama Verimi	68
3.3.2. Oluk Sayısı ve Boru Çapı	69
3.3.3. Ön Arıtma (Yaprak Tutucu)	69
3.3.4. Faydalı Hacim ve Depolama Hesabı	72
3.3.5. Pompa ve Dağıtım	73
3.4. Yağmur Suyu Arıtımı ve Geri Ödeme Süresi	74
3.4.1. Malzeme ve Ekipman Fiyatı	75
3.4.2. Geri Ödeme Süresi	76

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma	79
4.2. Sonuçlar	79
KAYNAKÇA	81
ÖZGEÇMİŞ	85

KISALTMALAR

YTS	: Yağmur suyu Toplama Sistemi
YSH	: Yağmur suyu Hasadı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
GÖS	: Geri Ödeme Süresi
TWBD	: Teksas Su Geliştirme Kurulu
THM	: Trihalometanlar
DBP	: Dezenfeksiyon Yan Ürünler
AC	: Aktif Karbon
TC	: Toplam Koliform
UV	: Ultraviyole
MF	: Mikrofiltrasyon
AC	: Alternatif Akım
DIN	: Alman Standartları Enstitüsü
TDS	: Toplam Çözülmüş Katı Madde
AKM	: Askıda Katı Madde
EDTA	: Etilendiamin Tetra Asetik Asit
TAKS	: Taban Alanı Katsayısı
KAKS	: Taban Alanı Katsayısı
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzeme

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Çeşitli Depolama Türlerinin Olası Avantaj ve Dezavantajları [10]	9
Tablo 2. Yeraltı ve Yer Üstü Tanklarının Özelliklerinin Karşılaştırılması[10]	10
Tablo 3. Perde Faktörü	23
Tablo 4. Serbest klorla %99,9 (4-log) patojen giderimi için gerekli C.T değeri	23
Tablo 5. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Sektörel Dağılımı [22]	28
Tablo 6. Mevcut Yapıların Alanları	37
Tablo 7. Çatı Verim Katsayıları (DIN 1989-1:2001-10)	38
Tablo 8. Kayseri İli Aylık Yağış Miktarı [26]	38
Tablo 9. Boşaltma Katsayıları	40
Tablo 10. Boru Çapı Katsayıları	41
Tablo 11. Vana ve Bağlantı Aynı Direnç Kaybına Tekabül Eden Eşdeğer Düz Boru Boyları.....	45
Tablo 12. Bazı ara elemanlarda yük kaybı katsayıları[33]	47
Tablo 13. Bazı Boru Tipleri k_s Değerleri	47
Tablo 14. Ek-8/C Yangın Dolapları ve Hidrant Sistemi İçin İlâve Edilecek Su İhtiyaçları [38].....	50
Tablo 15. Ek-8/B Yağmurlama Sisteminde Tasarım Yoğunlukları.....	51
Aynı yönetmeliğin Ek-8C' de yer alan yangın dolabı debisi ve hidrant debisi için su ihtiyaçlarına ilişkin değerler Tablo 14 ve Tablo 15'de yer almaktadır.....	52
Tablo 16. Yağmur Suyu ve Kar Suyu Analiz Sonuçları	55
Tablo 17. Yağmur Suyu ve Kar suyu Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	56
Tablo 18. Emsale Tabi İnşaat Alanları.....	57
Tablo 19. Aylara Göre Peyzaj Sulama Hesap Tablosu	58
Tablo 20. Soğutma Kulesi Teknik Bilgiler	59
Tablo 21. Genel Su İhtiyaç Tablosu.....	65
Tablo 22. Aylık Depolanacak Yağmur Suyu Miktarı	68
Tablo 23. Yaprak Tutucu Sayısı	70
Tablo 24. Yaprak Filtre Teknik Özellikleri [43].....	71
Tablo 25. Yağmur Suyunun Bölümlere Göre Arıtılması.....	75

Tablo 26. Ekipman Maliyet Tablosu.....	76
Tablo 27. Malzeme Maliyet Tablosu	76
Tablo 28. Aylık Su Tüketim Bedeli	77
Tablo 29. Enflasyon Oranına Yıllara Göre Ödenecek Maliyet.....	77
Tablo 30. Kocaeli Sanayi Bölgesi 1 m ³ Su Satış Tutarı	78
Tablo 31. Bursa Sanayi Bölgesi 1 m ³ Su Satış Tutarı	78



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Sarnıcın Düşey Kesiti ve Planı [6].....	6
Şekil 2. Yer Altı Yağmur suyu Toplama Planı	7
Şekil 3. Yer Üstü Yağmur suyu Toplama Planı.....	8
Şekil 4. Yer Altı Yağmur suyu Depolama Tankı [8]	8
Şekil 5. Yer Üstü Yağmur suyu Depolama Tankı [9].....	8
Şekil 6. Multimedia Kum Filtresi ve Katmanları	17
Şekil 7. AC Kartuş Filtre Katmanları.....	18
Şekil 8. İyon Değiştirici Reçine Filtre Tasarım Örneği	19
Şekil 9. UV Lambaların 254 nm Dalgaboylu UV Işın Üretimi	21
Şekil 10. UV Işın Yoğunluğunun Su İçinde İlerlerken Azalışı.....	21
Şekil 11. Ultraviyole Dezenfeksiyon Düzeneği Örneği.....	22
Şekil 12. Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi [21].....	26
Şekil 13. Kayseri OSB	27
Şekil 14. Numune Alma Noktası	30
Şekil 15. Galvaniz Kaplı Metal Saç	30
Şekil 16. Numune Alım Noktası Oluk Sistemi	31
Şekil 17. pH metre Cihazı	31
Şekil 18. Renk Tayin Cihazı Fotoğrafı eklenecek	33
Şekil 20. Beşik Çatı Alan Hesabı.....	36
Şekil 21. Ön Arıtma Planı Örneği.....	42
Şekil 22. Pompa Seçimi Uzunluk Hesap Yerleri	44
Şekil 23. Moddy Diyagramı.....	46
Şekil 24. Soğutma Kulesi Boyutları.....	59
Şekil 25. Soğutma Kulesi Akış Şeması.....	59
Şekil 26. Genel Su İhtiyaç Akışı.....	64
Şekil 27. Yağmur suyu Toplama Sistemi Genel Akım Şeması	67
Şekil 28. Vorteks Akımlı Yaprak Tutucu Filtre.....	70
Şekil 29. Genel Vaziyet Planı ve Yaprak Tutucu Yerleşim Noktaları.....	71
Şekil 30. Prizmatik Modüler Depo Ölçüleri	73

Şekil 31. Prizmatik Modüler Depo Yerleşimi.....73



GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Sektörel Dağılım Grafiği [16]	28
Grafik 2. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Oluşumuna Göre Dağılım Grafiği [17].....	29
Grafik 3. Genel Su İhtiyaç Dağılım Yüzdesi	65
Grafik 4. Genel Su İhtiyaç Dağılım Grafiği.....	66



GİRİŞ

Su güvenliği, bugün dñyanın karşı karşıya olduğu en önemli sorunlardan biridir. Sosyo-ekonomik koşullardaki hızlı değişim, nüfus artışı, iklim değişikliği ve kentleşme, tüm yeni gelişmeler hem içilebilir hem de içilemez su talebini artırdığından, merkezi su temin sistemi üzerinde artan bir baskı oluşturmuştur.

Su talebindeki sürekli artış ve sınırlı su kaynakları, dünya çapında birçok bölgede şimdiden su kıtlığına yol açmıştır. Ayrıca iklim değişikliğine bağlı olarak kuraklık günlerinin artması Avustralya da dahil olmak üzere birçok ülkede görülmekte ve su kıtlığı küresel bir sorun haline gelmektedir. Dünyanın dört bir yanındaki uzmanlar, artan su talebini sürdürülebilir bir şekilde ele almak için kullanılabilir alternatif kaynaklar aranmaktadır. Yağmur Suyu Toplama (YSH), daha sonra çeşitli ticari, evsel ve endüstriyel amaçlar için kullanılabilen yağmur suyunu toplayan ve depolayan bir teknolojidir [1].

Yağmur suyu toplama süreci (YSH), yağmur suyunun geçirimsiz bir alandan, genellikle çatılardan toplanması, depolanması, arıtılması (bazen) ve kullanılmasına dayanır. Kısa yağmur mevsimi boyunca yağmur suyunu toplayan ve depolayan kesme taş rezervuarlar ve yer altı sarnıçları gibi RWH sistemleri eski zamanlardan beri kullanılmaktadır.

Geleneksel YSH sistemleri, literatürde kapsamlı bir şekilde incelenmekte olup, çoğunlukla su talebinin düşük olduğu konut binalarına odaklanmaktadır. Daha büyük binalar (örn. üniversiteler, şirketler, kamu binaları) farklı su tüketim profillerine ve genel olarak daha yüksek su taleplerine sahiptir. Bu bağlamda, su toplama alanı ve tank boyutlandırması, her binanın kendine özgü kullanım ve doluluk özelliklerine uygun olarak dikkatli bir şekilde tasarlanmalıdır [2].

Yağmur suyu toplama sistemi genellikle konut ihtiyacını karşılamak adına lavabo ve bahçe sulama amacı ile tasarlanmaktadır. Kırsal alanlarda küçük çatı alanına sahip alanlarda toplanan yağmur suyu, genellikle bahçe sulamada kullanılmaktadır. Yağmur suyu toplama için yüzey alanı önemlidir. Büyük ve temiz yüzey alanlarından toplanan yağmur suyu birkaç işlem ile kullanılabilir ve içilebilir hale gelmektedir.

Su kıtlığı içerisinde olan ülkeler için bu sistem ve uygulama, suya olan ihtiyaç yükünü hafifletebilir. Ülkemiz dört mevsimin yaşandığı bir yerdir. Özellikle Karadeniz Bölgesi en çok yağış alan bölgemizdir. Doğal kaynakların gücünü kullanmanın önemini anlamaya yeni başlandı ve bu konuda daha çok projeler günlük hayatta karşımıza çıkmaya başlamıştır. Bu kapsamda ülkemizde yayımlanan ve revize edilen Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nde 2000 m² ve üzeri yapılara yağmur suyu toplama sistemi kurulumu zorunlu hale getirilmiştir. Sürdürülebilir ve çevresel anlamda önemli bir adım olan bu uygulama ile ihtiyaç duyulan su yükünde rahatlamaya imkan verecektir.

Geniş çatı alanlarına sahip olan sanayi işletmeleri yağmur suyu toplama sisteminin kurulumu için iyi bir adaydır. İşletmenin üretim konusuna bağlı olarak su tüketimi oldukça fazladır. Bu çalışmada Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde bulunan, 22.000 m² toplam kapalı alana sahip ve seramik üretimi konusunda faaliyet gösteren işletme için yağmur suyu toplama sistemi tasarlanması hedef alınmıştır. Tasarım sürecinde izlenecek yollar, teknik çalışmalar, hesaplamalar, arıtma uygulamaları ve en önemli konu olan depolama hakkında hesaplama ve bilgiler verilmiştir.

Yağmur suyu kimyası biyolojisi ve fiziksel özellikleri bölgesel ve zamansal değişkenlik göstermektedir. Toplanacak suyun kimyasını daha iyi anlamak adına belirli bir çatı alanından yağmur suyu ve kar suyu toplanarak bazı kimyasal özellikleri analiz edilmiştir.

Tasarım ve hesaplamaların hayata geçirilmesi halinde ilk yatırım ve işletme maliyetinin geri ödeme süresini belirlemek adına maliyet analiz çıkarılmıştır. Yapılan bu çalışmanın ilerleyen dönemlerde projelere yardımcı kaynak olması hedeflenmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Su, doğal olarak elde edilebilen sonsuz ve özgür bir kaynak olarak kabul edilir. Artan nüfus nedeniyle işlenmiş kaynak suyuna olan talep daha da artmaktadır. Suyun sürdürülebilir kullanımı, arz ve talep arasında bir denge sağlayabilir. Yağmur suyu hasadı (YSH), hem konutlarda hem de ticari binalarda içilebilir ve içilemez amaçlar için kolayca kullanılabilen en geleneksel ve sürdürülebilir bir yöntemdir [3].

Yağmur suyu hasadı (YSH), etkili bir su yönetimi yöntemi olarak kabul edilmiştir. YSH; tuvalet sifonu, çamaşır makineleri, araba yıkamaları ve sulama bahçeleri gibi son kullanımlar için içme dışı su temini de dahil olmak üzere faydalar sağlayabilir. Bu uygulama ile, bir binanın temiz su talebi ve su faturaları maliyeti azaltılabilir [4].

Yağmur suyu hasadı (YSH) teknikleri yağış oranlarının yüksek olduğu, merkezi sistemlerin yetersiz olduğu veya su kaynakları üzerindeki baskının duyunluk kapasitesini aştığı bölgelerde popülerliği artan uygulamalar arasında yer almaktadır. Ulusal ölçekte su bolluğuna rağmen, Latin Amerika'daki bazı bölgeler, su altyapısına yatırım yapılmaması ve suyla ilgili çatışmalar nedeniyle “ekonomik su kıtlığı” ile karşı karşıyadır. İklim değişikliği nedeniyle arz kapasitesi büyük ölçüde azalırsa bu durum daha da kötüleşebilir. YSH, hem aşırı yüzey akışını hem de içme suyu tüketimini azaltmanın etkili bir yolu olarak tanıtılır, böylece sel riskini azaltır, acil durum veya arıza durumunda su sağlar, toplulukları yönetme yetkisi verir. YSH potansiyelini tanımlamak için yerel hidroloji ve sistemden beklenen amaç ve verimlilik dikkate alınmalıdır. Tasarımda tutma sürelerini tanımlamak için yüksek çözünürlüklü yağış verileri ve yoğunluk-süre-frekans eğrileri, akış kontrolü için tercih edilir. Su mevcudiyeti ve talep arasındaki ilişki, su temini amaçlarıyla daha ilgilidir. Yıllık yağışa dayalı olarak yağmur suyu tanklarını boyutlandırmak için tasarım önerilmiştir.

Kurak mevsimlerde su talebine dayalı Talep Tarafı Yaklaşımı en çok kullanılan yöntemlerden biri olmasına rağmen sistemde beklenen verimliliğin değerlendirilmesi genellikle ihmal edilmekte ve bu yaklaşımlar sadece bir ön değerlendirme için geçerli olmaktadır.

Bu model YSH tanklarını simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürekli girdi ve çıktı takibine dayalı olarak tankta depolanan su hacmini hesaplar. Herhangi bir zaman adımına ve değişken talebe uyarlanabilme çok yönlülüğü, modelin önemli bir avantajıdır. Ayrıca, sistemin beklenen performansının basitleştirilmiş tasarım eğrilerini elde etmek ve bu tür teknikleri kullanmanın faydalarını temsil etmek için yaygın olarak kullanılır [5].

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki büyük hastaneler için sürekli YSH sistemlerinin simülasyonlarından elde edilen sonuçları sunmuş ve tasarım parametreleri ve talep davranışına bağlı olarak şebeke suyu tüketiminin yaklaşık %20-30 oranında azaltılabileceğini bulmuştur.

Malezya'daki ticari binalardaki küçük ve büyük ölçekli YSH sistemlerinin içilemeyen su kullanımı için hidrolik ve ekonomik performanslarını değerlendirmiştir. Sonuçlar, yağmur suyu tankı boyutuna bağlı olarak, küçük ve büyük ticari binalar için YSH sistemlerinin maksimum elde edilebilir güvenilirliklerinin sırasıyla %93 ve %100 olduğunu göstermiştir. Ek olarak, ekonomik analizleri, su fiyatı senaryolarına bağlı olarak, daha büyük sistemler için optimum geri ödeme süresinin (GÖS), daha küçük sistemlerden (6.5-10 yıl) daha kısa olduğunu (3.0-4.5 yıl) göstermiştir. Büyük ticari YSH sistemlerinin küçük sistemlerden daha faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Avrupa'daki en büyük bina içi geri dönüşüm planlarından biri olan Londra'daki Millenium Dome'da geri kazanılmış suyun kullanımını göstermiştir. Gri su, yağmur suyu ve yerinde arıtılmış yeraltı suyunun bir kombinasyonu kullanılarak tuvaletler ve pisuvar sifonu için tasarlanan kullanım günde 500 m³'e kadar çıkmıştır. Yağmur suyunun toplam su talebine katkısı %19 olup, en önemli su kaynağının %71 değeri ile yeraltı suyu olduğu görülmüştür. Yağmur suyunun düşük katkısı, Dome'un büyük bir çatı alanından (100.000 m²) toplanan yağmur suyunun depolama tesislerinin kullanımıyla ilgili bir sorundan kaynaklanmaktadır. Bu kadar büyük bir çatı yüzeyi

alanı, yağışlı mevsimlerde büyük miktarlarda yağmur suyu akışı oluşturabilmesine rağmen, depolama üniteleri için gereken alan, esas olarak yüksek sermaye maliyeti nedeniyle kısıtlayıcı bir faktördür. Bu nedenle, YSH sistemi, 1 mm/gün yağış tahmin edilerek maksimum 100 m³/gün debi kullanacak şekilde tasarlanmıştır. YSH sistemine ek olarak, Dome'da kullanılan geri dönüşüm süreçlerinin teknik fizibilitesi değerlendirilerek potansiyel su tasarrufu sağlanmıştır. Ancak, Dome'daki YSH sistem performansı hakkında ayrıntılı bilgi mevcut olmaması nedeniyle ekonomik uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini engellemiştir.

Birleşik Krallık'ta bireysel evlerden farklı su kullanım alternatiflerine yönelik ticari binalara kadar çeşitli ölçekte YSH sistemleri çalışmaktadır. 2000 m²'lik geniş bir çatıya sahip bir süpermarkette kurulu bir prototip YSH sistemini araştırmıştır. Sonuçlar, sistemin GÖS'sinin 12 yıl olduğunu ve toplama verimliliğinin %57.4 olduğu görülmüştür.

Su tasarrufu verimliliği (STV) ve GÖS'si ile ilgili olarak, bir ofis binasına kurulan ticari ölçekli bir YSH sisteminin tekno-ekonomik uygulanabilirliğini araştırmıştır. Analiz, 111 kişinin bulunduğu gerçek bir bina için ampirik izleme verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YSH sisteminin STV'si tank boyutuna bağlı olarak %87'ye kadar çıkmıştır ve sistemin GÖS'si 6-11 yıl olduğu görülmüştür. Sonuçlar, büyük bir ticari binada ticari ölçekli bir YSH sisteminin daha umut verici sonuçlar verebileceğini ortaya koymuştur [4].

1.1. Yağmur suyu Hasat ve Depolama Yöntemleri

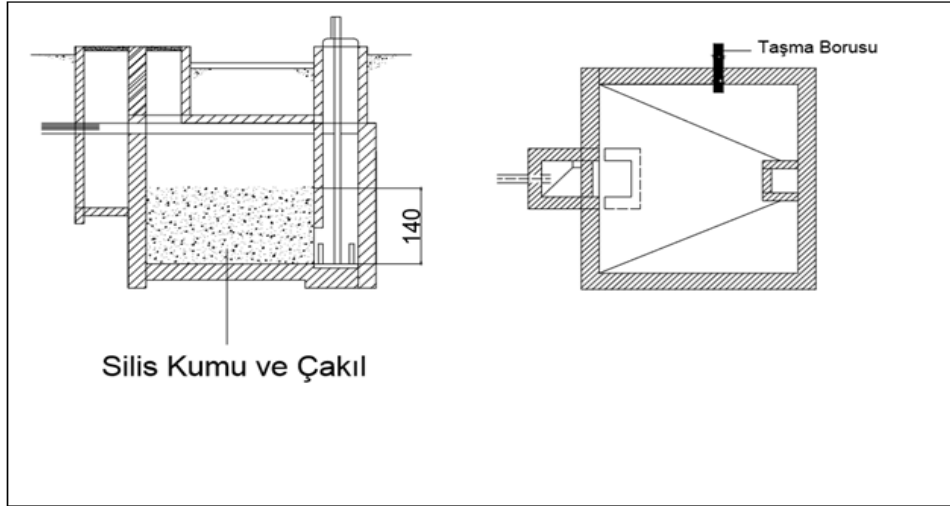
Yağmur suyu toplama sistemlerinde toprak altı ve toprak üstü olmak üzere, sarnıç yöntemi ve depo (tank) yöntemi olmak üzere iki ana yöntemden bahsedilebilmektedir. İki yöntemin de sistem bazında avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte, sistem tasarımında hangi yöntemin seçileceğine, yağış rejimi, depolama büyüklüğü, kullanılan malzeme ve maliyetleri, uygun iş gücünün bulunup bulunmaması gibi etkenler göz önünde bulundurularak ön hesaplamalarla karar verilmelidir.

1.1.1. Sarnıç

Sarnıç, yağmur suyunu çatı, kayalık vb. alanlardan toplamak için yapılmış ve su ihtiyacını karşılamayı hedefleyen yapılardır. Geçmiş milattan önceki yıllara dayanan sarnıçlar günümüzde hala kullanılmaktadır. Yapılan en eski sarnıçlara bakıldığında sarnıçta yağmur suyunu toplamak ve depolamak için suyolları ve kanalların yapıldığı görülmüştür. Ülkemizde özellikle İstanbul'da pek çok sarnıç bulunmaktadır. Yapılan sarnıçlar Bizans döneminde ve Osmanlı döneminde aktif olarak kullanılmıştır. İhtiyaç olmayan sarnıçlar ise depoya çevrilmiştir.

Sarnıçlar genellikle yere gömülü olarak ve su sızdırmayacak biçimde yapılmaktadır. Sarnıca verilen yağmur suyunun kumdan (filtre) süzülmesi gerekmekte olup, bu amaçla genellikle silis kumu kullanılmaktadır. Sarnıç yönteminde kurgulanan sarnıcın altta bulunan 1/3'lük kısmı çakıl, üst tarafı ise ince kumla meydana getirilmiş yaklaşık olarak 1m yüksekliğinde bir kum filtresi ile tasarlanması idealdir [6].

Şekil 1'de sarnıç tasarımına ait düşey kesiti ve planı sunulmuştur.



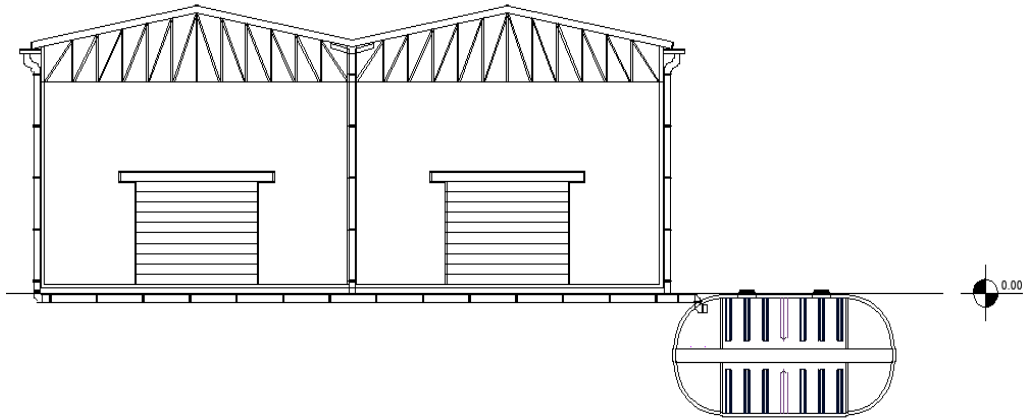
Şekil 1. Sarnıcın Düşey Kesiti ve Planı [6]

1.1.2. Depo (Tank) Yöntemi

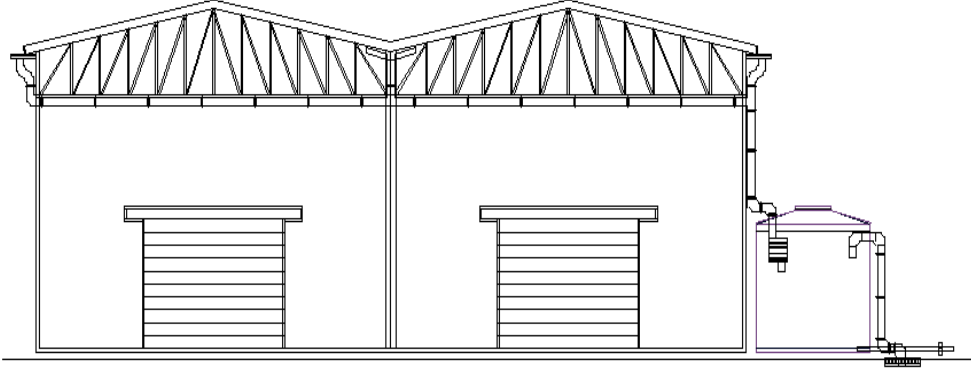
Bu depolama yönteminde ise, hasat edilen yağmur suyu genelde yer üstüne ya da görülmesi istenmediği durumlarda yer altına harici bir tankın yerleştirilmesi ve toplanan suyun bu tanklarda depolanmasına dayanmaktadır.

Toprak üstü depoların kurulumunda; deponun kurulacağı alan zamanla tamamen veya bölgesel çöküntüler oluşmaması açısından düzgün ve sert, depoya zarar verebilecek taş, metal gibi delici ve zarar verici materyallerden arındırılmış olmalıdır. Depo bir zemin üzerinden kullanılacaksa, zeminin yüzeyi delikli olmamalı, düz olmalıdır.

Tankın yeri büyüklüğüne, biçimine, mevcut alana, iklim ve toprak koşullarına bağlıdır. Yer altına, kısmen yer altına veya üstüne monte edilebilen tank, tercihen boru hattı ve pompa gereksinimlerini en aza indirmek için en kısa mesafeye yerleştirilmelidir. Yeraltında önerilen bir depolama tankı doğrudan güneş ışığından korunma ve suyun serin tutulması gibi avantajlara sahipken özellikle sert ve kayalık toprakta veya sahanın yeraltı suyu seviyesinin yüksek olması durumunda, kurulum ve inşaat maliyetinde artışlar yaşanabilmektedir. Ek olarak yeraltı tanklarının bakımı ve onarımının daha zor olacağı göz önünde bulundurulmalıdır [7].



Şekil 2. Yer Altı Yağmur Suyu Toplama Planı



Şekil 3. Yer Üstü Yağmur Suyu Toplama Planı



Şekil 4. Yer Altı Yağmur Suyu Depolama Tankı [8]



Şekil 5. Yer Üstü Yağmur Suyu Depolama Tankı [9]

Aşağıda bazı depolama yöntemleri sunulmuştur. Bunlar;

- Yağmur suyu tankları
- Yeraltı depolama tankları
- Yer üstü depolama tankları
- Yüzey depoları (örn. Barajlar veya sulak alanlar)
- Yeraltı suyu (örneğin akifer)

Bu depolama sistemlerinin avantaj ve dezavantajlarının özeti Tablo 1'de verilmiştir.

Kentsel su yeniden kullanım planlarında kullanılan depolar, arıtma treninde yer alan diğer süreçlere ek olarak çeşitli seviyelerde arıtma sağlayabilir. Örneğin, bir akiferde depolama, mevcut mikroorganizmaların sayısını azaltabilir. Barajlar veya tanklar gibi diğer su depoları, çökeltme yoluyla askıda katı ve partikülleri azaltabilir.

Tablo 1. Çeşitli Depolama Türlerinin Olası Avantaj ve Dezavantajları [10]

Depolama Seçeneği	Avantajlar	Dezavantajlar
Açık depolar	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük sermaye ve bakım maliyeti • Potansiyel su kalitesi iyileştirmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Kamu güvenliği • Yüksek buharlaşma • Kontaminasyon • Sivrisinek üreme potansiyeli • Daha yüksek ötrofikasyon potansiyeli • Dalgalı su seviyeleriyle ilgili estetik sorunlar
Yerüstü tankları	<ul style="list-style-type: none"> • Potansiyel su kalitesi iyileştirmesi • Buharlaşma yok 	<ul style="list-style-type: none"> • Estetik sorunlar • Alan gereksinimleri

	<ul style="list-style-type: none"> • Sınırlı kamu güvenliği sorunları 	
Yeraltı tankları	<ul style="list-style-type: none"> • Orta derecede sermaye ve bakım maliyeti • Buharlaşma yok • Kamu güvenliği sorunu yok 	<ul style="list-style-type: none"> • Daha yüksek sermaye maliyeti • Daha yüksek bakım maliyetleri
Akifer	<ul style="list-style-type: none"> • Küçük alan gereklidir (su kalitesi arıtımı için sulak alan gerekmedikçe) • Uygun maliyetli • Buharlaşma yok • Tuzlu suyun akifere girmesini önler 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerekli uygun jeoloji • Yüksek bakım maliyetleri • Ön işleme tabi tutulmadıkça yeraltı sularını kirletme potansiyeli • Kurtarma verimliliği

Tablo 2. Yeraltı ve Yer Üstü Tanklarının Özelliklerinin Karşılaştırılması[10]

Faktörler	Yer üstü tankları	Yer altı tankları
Kurulum Maliyeti	Kazı ve dolguya çok az ihtiyaç duyulduğu veya hiç gerekmediği için yer altı tanklarından daha ucuzdur	Yer altı tankları için kazı ek bir maliyettir. Kurulum daha karmaşık olabilir. Yeraltı suyunun derinliğine bağlı olarak, tankların zemine bağlanması veya demirlenmesi gerekebilir.
Kurulum için gerekli uzmanlık	Yağmur varilleri gibi küçük ve basit saklama kapları ev sahibi tarafından kurulabilir. Büyük ve karmaşık tanklar profesyonel yardım gerektirecektir.	Yeraltı tank kurulumları için yüzdürme azaltma tasarımı için profesyonel mühendislik yardımına ihtiyacınız var.
Erişim	Gerektiğinde kontrol etmek ve onarmak için tankın her tarafına ve üstüne kolay erişim için tasarlanabilir.	Sadece üst bağlantı noktalarına kolayca erişilebilir. Yanları ve alt yeraltında çok sızdırıyor ve

		denetleme tank durumu tespit etmek zordur.
Isıya ve soğuğa duyarlılık	Su ve boruların donmasına karşı hassastır. Su seviyesi ne kadar düşük olursa, tankın su sıcaklığı sıcak veya soğuk olsun, dış ortam sıcaklıklarına o kadar benzer olur.	Alt zemin elemanları hem donma hem de aşırı ısıdan tamponlanır. Bölgeniz için donma derinliğini bilin ve bu derinlikteki boruları boşaltın ve/veya yalıtın, böylece sızıntı olmaz.
Su taşıma seçenekleri	Yeterli hidrolik yük basıncı varsa suyu hortum veya sulama sisteminden geçirmek için yerçekimi akışını kullanabilir veya suyu bir pompa kullanarak dağıtabilir. Tankın yüksekliği ne kadar yüksek olursa kullanım amacının üzerinde, daha fazla yerçekimi basıncı mevcuttur.	Su kullanımı gömülü tanktan daha alçakta bulunmadığı sürece suyu taşımak için bir pompa kullanılmalıdır.
Estetik	Halkın görüşüne göre tanklar hala alışılmadık bir durum. Bunların oldukça görünür alanlara yerleştirilmesine itirazlar olabilir. Estetiği iyileştirmek için yer üstü tanklarının taranması gerekebilir.	Tank görünmez, bu nedenle bağlantı görünürlüğü dışında estetik bir sorun yoktur.
Alan kullanımı	Tanklar, başka amaçlar için kullanılacak avlularda yer kaplar, bu nedenle gölgeleme, gizlilik ekranı, görsel ekranlar, rüzgâr azaltma, ısı ve soğuğu azaltma ve dekoratif bir unsur olarak çeşitli işlevlere hizmet etmek için yer üstü tanklarından en iyi şekilde yararlanın.	Çok az yüzey alanı kaplar. Konum seçenekleri, kazı ekipmanı ve kurulum ekipmanını önerilen tank alanına alma kabiliyetinden etkilenir. Gömülü bir tankın üzerine ne koyabileceğinize dair kısıtlamalar olabilir.

1.2. Yağmur Suyu Mikrobiyolojisi ve Kimyası

Dünya çapında iki milyardan fazla insanın içme suyuna erişimi sınırlıdır (GLAAS/WHO, 2019). Birçok araştırmacı, yağmur suyunun düşük kirletici seviyeleri nedeniyle dikkat çektiği, bu da yalnızca düşük maliyetli ve düşük enerjili arıtma süreçleri gerektirdiği anlamına gelen yeni alternatif su kaynakları bulmaya yöneltmektedir. Yağmur suyu, önemli bir kirlilik parametresi içermeyen bir su kaynağı olarak kabul edilse de, birçok çalışma yağmur suyu toplama sistemlerinde (YTS) su kalitesinin tutarsız olduğunu göstermiştir. Kirleticiler arasında, herbisitler, pestisitler, klorürler gibi çözünür kirleticiler ve ıslak ve kuru birikim nedeniyle toz ve döküntülerden kaynaklanan partikül maddeler ana kirleticiler olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, birçok araştırmacı hasat edilen yağmur suyunda mikrobiyal su kalitesinin düşük olduğunu gözlemlemiştir. Uzun bir kurak dönemden sonraki bir yağış olayı, bu kirleticilerin çok yüksek konsantrasyonunu YSH sistemine taşıyabilir. Partikül madde, filtrasyon ve boru sistemini tıkayabilir ve hasat edilen yağmur suyunda mikrobiyal büyümeye yardımcı olabilir.

Bir çalışmada, suyun 60 °C veya daha yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıyla mikrobiyal su kalitesinin iyileştirilebileceğini göstermiştir. Klorlamanın veya aktif karbon filtre kullanımının hasat edilen yağmur suyunda içme suyu kalite standartlarına ulaşabileceğini göstermiştir. Bu yöntemler istenen mikrobiyal su kalitesini elde etmede etkili olsa da, partikül madde varlığı dezenfeksiyon veya uzaklaştırma işlemini etkileyecektir. Bu nedenle, YSH sistemleri, askıda madde çökmesini kolaylaştıracak şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca, kirleticinin yüksek konsantrasyonlarda alıcıya ulaşmasını önlemek için sisteme giren çözünür kirleticiler tutulmalıdır [11].

Yağmur suyu içerisinde bazı ağır metallerin konsantrasyonları yönergeleri aşabilse de, pek çok çalışma, arıtılmamış hasat edilmiş yağmur suyunun fiziksel ve kimyasal niteliklerinin Dünya Sağlık Örgütü ve diğerleri tarafından belirlenen içme suyu yönergelerine uygun olduğunu bulmuştur.

Buna karşılık, işlenmemiş yağmur suyunun mikrobiyal kalitesinin sürekli olarak yönergeleri aştığı görülmüştür. Toplam koliformların (TC) genellikle taze hasat edilmiş yağmur suyunda ve sarnıçta depolanan yağmur suyunda bulunduğu gözlemlenmiştir.

Hasat edilen yağmur suyunda *Aeromonas hydrophila*, *Campylobacter jejuni*, *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, *Legionella pneumophila* ve *Salmonella spp* gibi patojenler tespit edilmiştir. Bu nedenle, birçok yağmur suyu toplama kılavuzu (örn., TWDB 2005) içilebilir kullanımdan önce klorlama veya ultraviyole (UV) ışınlama ile filtrasyon ve dezenfeksiyon gibi arıtma önermektedir.

1.3. Çatı Teknik Yapısı ve Su Kalitesi

Çatı kaplama malzemesi, pH, bulanıklık, toplam organik karbon (TOC) konsantrasyonu ve mikroorganizmaların varlığı ve bolluğu dahil olmak üzere hasat edilmiş yağmur suyu kalitesini etkiler. American Rainwater Catchment Systems Association üyelerinin anketinden, ankete katılan bireysel yağmur suyu hasatçıları tarafından kullanılan çatı toplama malzemelerinin dağılımının şu şekilde olduğunu bildirmiştir: % 48 shingle (asfalt ve bitüm içerikli çatı malzemesi), %38 metal ve %5 kil / beton kiremit. Tam ölçekli sistemlerden yapılan diğer çalışmalar da metal ve kiremit çatıları ortak havza malzemeleri olarak rapor etmektedir. Ankete katılan bireysel yağmur suyu hasatçılarının %25'inin hasat edilmiş yağmur suyunu içme amaçlı kullandıklarını ve içilebilir yağmur suyu hasat makinelerinin %75'inin UV ile dezenfekte ve %11'inin kesikli klorlama ile dezenfekte ettiğini bulmuştur.

Yeşil çatılar, daha düşük iç ortam sıcaklıklarını koruma potansiyelleri nedeniyle sıcak iklimlerde çekici olabilecek alternatif bir çatı kaplama malzemesidir. Çatı kaplama malzemesi hasat edilen yağmur suyu kalitesini etkilediğinden, yağmur suyu arıtmanın etkinliğini de etkilemesi muhtemeldir.

Tam ölçekli konut yağmur suyu toplama sistemlerinde UV dezenfeksiyonunun etkinliğini değerlendirmiş olup klor ile dezenfeksiyon işleminde THM oluşumu riskinin olabileceği rapor edilmiştir.

Yağmur suyunun toplu klorlanması uygulandığında (klorun rezervuarda dozlandığı yerde), kloru ve bununla ilişkili rahatsız edici kokuyu gidermek için genellikle aşağı akıma bir aktif karbon (AC) filtre yerleştirilir (TWDB 2005). Ek olarak, filtrasyon, mikroorganizmalar dahil partikülleri ortadan kaldırarak su kalitesini iyileştirir. Bir nanofiber membran ve bir AC filtreden oluşan bir arıtma sisteminin, hasat edilen

yağmur suyundan indikatör bakterileri çıkardığını buldu; ancak virüsler ve fırsatçı patojenler arıtmadan sonra da devam etti, bu da filtrelemenin içilebilir su eldesi için yağmur suyu arıtımının tek başına yetersiz olduğunu göstermektedir. AC filtreleri organik bileşikler adsorbe ederken aynı zamanda bakteri rezervuarları olarak da hizmet edebilirler. Bu nedenle, hasat edilen yağmur suyu kalitesi üzerindeki AC filtrelemenin yararları ve sakıncalarının değerlendirilmesi gerekir [12].

Geri dönüştürülmüş yağmur suyunun kalitesini etkileyebilecek bu faktörler arasında çatı malzemeleri ve hava durumu modelleri yağmur suyu kalitesinde belirleyici rol oynar. Austin, Texas'ta çatı kaplama malzemelerinin (asfalt fiberglas kiremit(asphalt fiberglass shingle), metal, beton kiremit, yeşil ve soğuk) çatıdan hasat edilen yağmur suyunun kalitesini nasıl etkilediğini araştırdı. Çalışma sonucunda, kiremit ve yeşil çatıların geri dönüştürülmüş yağmur suyunda en yüksek çözünmüş organik karbon konsantrasyonunu sağladığını ve bunun da klorlama işleminden sonra daha fazla arıtma gerektirdiğini gösterdi. Güney Kore, Seul'de hasat edilen yağmur suyu kalitesini dört çatı tipi (ahşap kiremit, beton kiremit, kil kiremit ve galvanizli çelik) arasında karşılaştırdı ve sonuçlar, galvanizli çeliğin ultraviyole ışık ve yüksek sıcaklık nedeniyle çatı yağmur suyu hasadı için uygun olduğunu gösterdi. Rüzgar hızlarının ve rüzgar yönünün mikrobiyal bileşimi etkileyebileceğini ve bu da hasat edilen yağmur suyu kalitesini daha da etkileyebileceğini göstermiştir [13].

1.4. Yağmur Suyu Arıtımı

Mevcut araştırmalar, çatılardan ve yollardan toplanan yağmur suyunun biyolojik olarak parçalanabilirlik açısından zayıf olduğunu, bu nedenle fiziksel ve kimyasal arıtmanın benimsenmesi gerektiğini, arıtma işleminin atık suyun kalitesine ve kullanım amacına göre belirlendiğini göstermiştir. Şu anda, yağmur suyu arıtımı için klorlama, güneş enerjisi teknolojisi ile UV arıtma, pastörizasyon ve membran ayırma gibi çeşitli yöntemler önerilmiştir. Yağmur suyunun çatıda toplanıp klorlama sonrası içme suyu olarak kullanılması tüketimi ve maliyeti azaltabilir ancak dağınık evsel kullanım için sakıncalıdır ve ultraviyole dezenfeksiyon gibi sadece dezenfeksiyon aracı olarak kullanılabilir. Partikülleri uzaklaştırmak için filtrasyon ve diğer teknolojiler birlikte kullanılmalıdır. Membran prosesleri, su arıtma alanında yaygın olarak bilinen, az yer

kaplayan, yüksek arıtma verimliliğine ve büyük miktarda nüfuz eden su kapasitesine sahip, dağıtılmış yağmur suyu toplama sistemlerinin uygulanmasında güçlü avantajlar gösteren tekniklerdir. Membran teknolojisi, su kalitesi yeniden kullanım standardına ulaşmak için yağmur suyunun arıtılmasını en üst düzeye çıkarabilir. Ayrıca merkezi olmayan ve kullanışlı özellikleri, evsel yağmur suyunun arıtılmasını kolaylaştırır.

Membran teknolojisi bazı alanlarda önemli etkilerle kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin, 2000 yılında düzenlenen Sidney Olimpiyat Oyunları sırasında, yağmur suyunda asılı kirleticileri ve patojenleri uzaklaştırmak için bir ön arıtma olarak polipropilen içi boşluklu fiber mikrofiltrasyon (MF) membranı kullanan ve daha sonra yağmur suyu geri dönüşüm sisteminde ters ozmoz (TO) tekniği ile tuzdan arındırma yapmak için membran teknolojisi benimsenmiştir. Daha sonrasında atık su klorlanmış ve tuvaletleri yıkamak için kullanılmıştır [14].

1.5. Arıtma Ekipmanları ve Dezenfeksiyon Yöntemleri

1.5.1. Yaprak Tutucu

Çatı üzerine rüzgar nedeniyle yaprak ve iri maddeler taşınmaktadır. Katı ve iri maddeler boru ve mekanik ekipmanları tıkayarak maliyete neden olmaktadır. Bu problemi önlemek adına yaprak tutucu kullanılmaktadır. Yaprak tutucular, geniş çatı alanlarına uygulanabilen sistemler arasındadır. Filtre, yapı dışında 1000 mm çaplı beton bir kuyuya ya da doğrudan toprağa yerleştirilebilir. Kuyu içerisinde olan yaprak tutucu için rögar yapılmaktadır. Filtre kartuşunun dik eğimi, filtrenin sürekli olarak kendi kendini yıkayabilme hareketini garantilemektedir [15].

1.5.2. Kum Tutucu

Mevsimsel ve çevresel koşullar nedeniyle çatı üzerinde toz ve daha iri tanecikli askıda katı maddelerin oluşması muhtemeldir. Yağmur suyu akışı ile maddelerin taşınımı gerçekleşmektedir.

Yağmur suyu kullanımı durumunda; içme suyu veya bazı teknik proses suyu ihtiyaçlarında partikül maddeler valf, boyler ve çalışma aralığı hassas olan makinelerde

istenmeyen arızalara sebep olmaktadır. Oluşacak sorunların önlenmesi için kum tutucu kullanılarak yağmur suyu içerisindeki partikül maddelerin giderimi gerçekleştirilebilir.

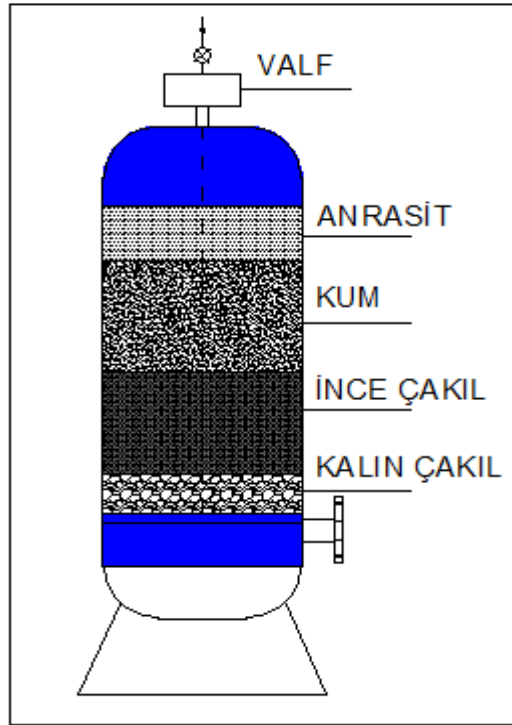
Kum tutucu endüstriyel ve evsel su arıtımı alanlarında fazlası ile tercih edilen bir uygulamadır. Kum tutucu belirli tanecik boyutlarına sahip kum, çakıl, kömür, antrasit gibi malzemelerin belirli bir düzen halinde basınç tankına yerleştirilerek yapılan filtreleme işlemidir (Şekil 6). Kum filtreleri 10 ila 25 mikron arasındaki partikül maddeleri filtreleyebilmektedir ve malzemenin cinsi ve katman durumunda bağlı değişiklik göstermekte olup 5 mikron boyutuna kadar olan partiküllerinde giderimin sağlamaktadır. Katmanlar halinde olan kum filtreleri multimedya kum filtreleri olarak adlandırılmaktadır. Partiküller katmalar arası geçiş esnasında üst yüzeyde birikmektedir. Oluşan birikmeler geri yıkama yapılarak uzaklaştırılmaktadır.

Kum tutucu tasarımda tanecik boyutu, işletme basıncı, yükleme hızı, katman yüksekliği, kartuş boyutu gibi önemli faktörler bulunmaktadır.

Kum filtrelerinin avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Çeşitli yüzen parçacıkların çıkarılması,
- Bazı bakteri ve protozoaların azaltılmasını sağlar,
- Düşük bakım ve işletme kolaylığı.

Kum filtrelerinin dezavantajları arasında ince toz taneciklerinin çıkarılması zor olabilir ve birikmelerden dolayı basınç düşüşü olacaktır. Bu yüzden belirli aralıklarla geri yıkamaya ihtiyaç duyulmaktadır [16].

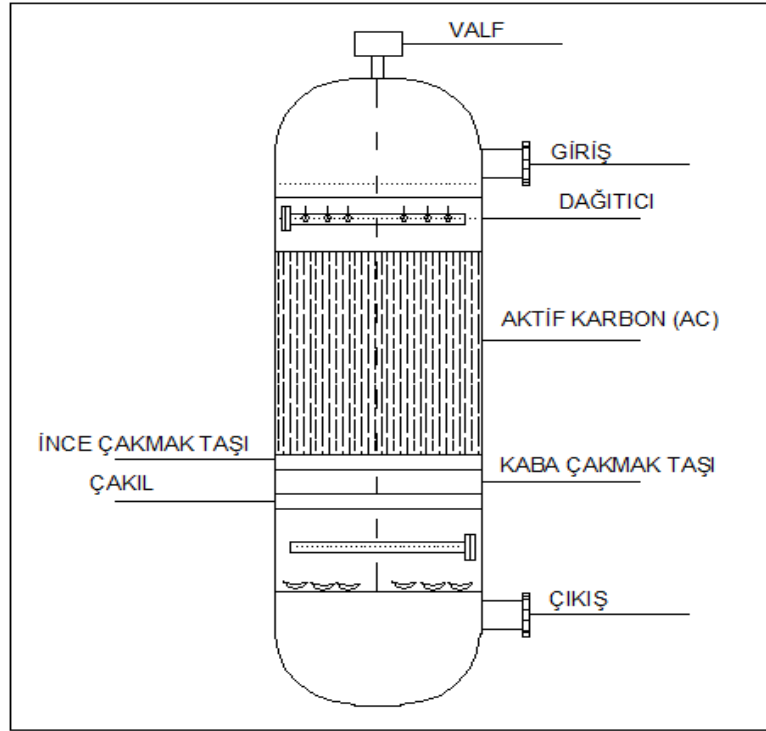


Şekil 6. Multimedya Kum Filtresi ve Katmanları

1.5.3. Aktif Karbon (AC)

Odun, Hindistan cevizi kabuğu, kömür gibi bazı malzemelerin oksijen olmayan ortamda yüksek sıcaklık ile ısıtılması sonucu Aktif Karbon elde edilir. Aktif karbonun yapısı çok sayıda ve çok küçük gözenekler içerir, bu sayede geniş bir yüzey alanı elde edilir. 1 cm³ aktif karbon parçacıkları içindeki gözeneklerin toplam yüzey alanı 1000 m² kadardır [16].

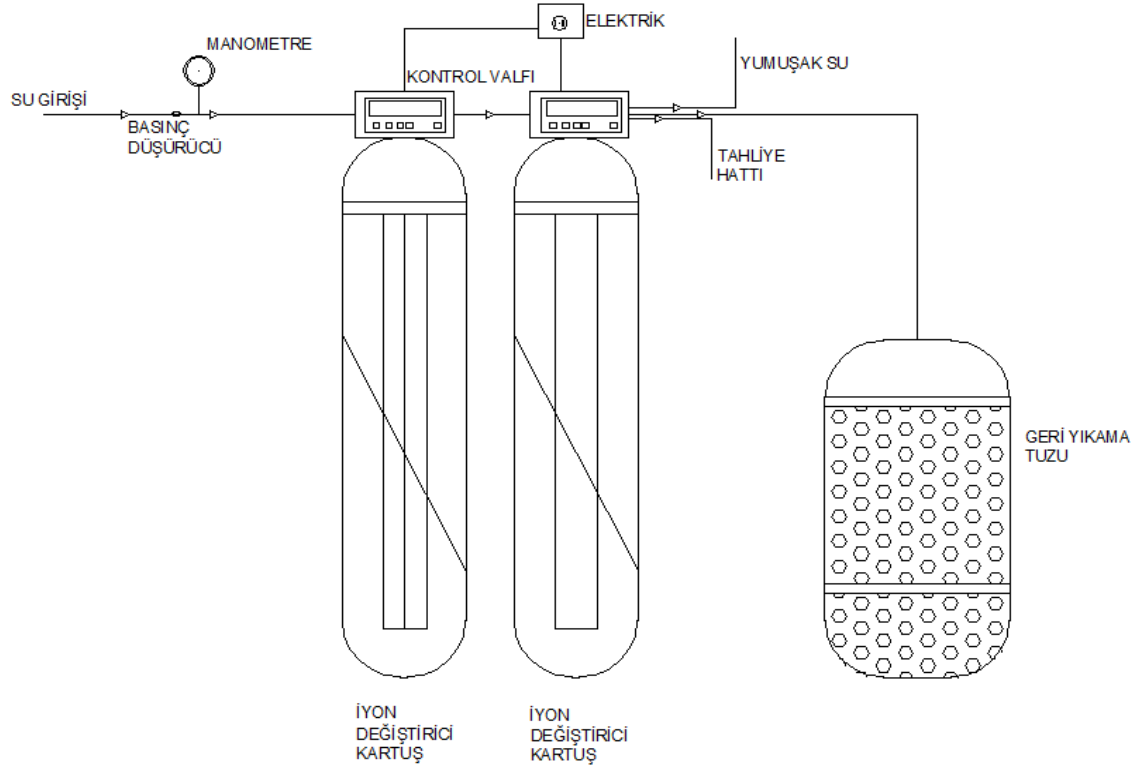
Su içerisinde bulunan organik bileşiklerin uzaklaştırılması, renk giderimi ve kısmi klorlama yapan aktif karbon, granül veya toz şekilde olup adsorpsiyon mekanizmasının kullanılarak kirlilik giderimine olanak sağlamaktadır. İçme suyundaki fulvik asit, humik asit ve sudaki klorun asitler ile reaksiyona girmesini ve trihalometanların oluşmasını önlemektedir. Aktif karbon geniş yüzey alanlarına sahiptir. Geniş yüzey alanı kirliticileri adsorbe ederek arıtma sağlamaktadır. Kartuş filtre AC katman şeklinde tasarlanmaktadır ve katmanlar aktif karbon, çakmak taşı ve çakıldan oluşmaktadır. Kartuş Aktif Karbon filtreye ait tasarım Şekil 7'de yer almaktadır.



Şekil 7. AC Kartuş Filtre Katmanları

1.5.4. İyon Değişimi

Mg (Magnezyum) ve Ca (Kalsiyum) ve mineralleri sularda sertliğe sebep olmaktadır. Sertlik, insan sağlığı, tesisata ve özellikle sıcak su kazanlarına bazı problemlere sebep olmaktadır. Bundan dolayı sertliğin sudan uzaklaştırılması gerekmektedir. Sulardan sertliğin giderilmesi için katyonik reçine minerali içeren yumuşatma sistemleri mevcuttur. Reçine içerisinde bulunan Sodyum iyonları Kalsiyum ve Magnezyum iyonları ile yer değiştirerek sudaki sertlik giderme işlemi sağlar. Yumuşatma sisteminin kullanımı sonrası reçine bünyesinde sertlik mineralleri birikmektedir. Temizleme işleme yani sodyumun yenilenmesi için tuz (NaCl) kullanılır ve rejenerasyon işlemi yapılır. Mg ve Ca iyonları ise, rejenerasyon işlemi sırasında su ile uzaklaştırılmaktadır. Şekil 8'de iyon değişimi prensibi ile çalışan yumuşatma sistemi tasarım örneği bulunmaktadır.



Şekil 8. İyon Değiştirici Reçine Filtre Tasarım Örneği

İyon değişimi yöntemi ile iletkenlik giderimi yapılmaktadır. Su içerisinde bulunan katyon ve anyonların tutulması gerekmektedir. Giderim için iki yöntem kullanılır. Ayrı kolonlarda katyonik Reçine ve anyonik Reçineden su geçirilerek saflaştırma sağlanır. Bu yöntemin avantajı; ayrı kolonlardaki reçinelerin ters yıkama yapılarak tutmuş oldukları mineralleri, reçine üzerinden uzaklaştırma yapabilmesidir. Diğer yöntem ise Mixbed Reçine kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde tek kolon içerisinde karışık olarak bulunan anyonik ve katyonik reçineden su geçirilerek arıtma işlemi yapılır. Avantajı tek kolon kullanıldığı için kapladığı alan daha azdır. Dezavantajı ise ters yıkama yapılamadığı için kapasitesi dolduğunda yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir.

Sert(kireçli) suyun zararları aşağıda sıralanmıştır.

- Rezistansların kireç tutması,

- Sert su ısınma süresini arttıracığı için enerji kaybına neden olur,
- Temas ettiği yüzeyde sararmalar ve kalıcı lekeler bırakır,
- Temizlik malzemesi ve sabun tüketimini artırır.
- Güneş enerji kolektörlerine zarar verir,
- Tesisata zarar verir
- Soğutma kulelerine zarar verir,
- Kazanlarda kirece ve fazla kimyasal tüketimine neden olur,

Boiler tanklarına, kondensatörler, eşanjörlere zarar verir ve chiller, ünitelerine zarar görmesine neden olur [16].

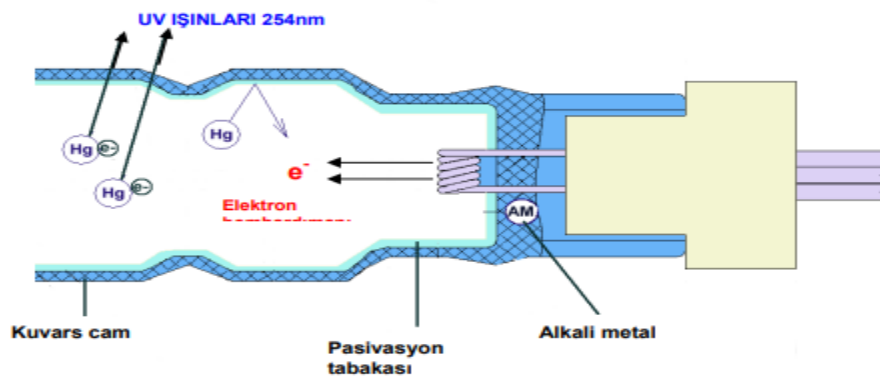
1.5.5. UV Dezenfeksiyonu

Yağmur suyu içerisinde buluna askıda katı maddeler, iyonlar, organik ve inorganik maddelerin dışında en büyük sorunlardan biride patojen mikroorganizma varlığıdır. Patojenik mikroorganizmalar akut, kronik hastalıklar ve ölümlere yol açmaktadır. İçme suyu kullanımı durumlarında su içerisinde mikroorganizmaların giderimi için fiziksel ve kimyasal yöntemler bulunmaktadır. Fiziksel yöntemler arasında yer alan UV dezenfeksiyon yöntemi son zamanlarda tercih edilen yöntemler arasında yer almaktadır.

Mikroorganizmaların DNA'sı üzerinde en fazla tahribata yol açan UV ışınları 240 ila 280 nm aralığındaki UV-C ışınlarıdır.

Dezenfeksiyon işlemi için kullanılan cihazlarında, UV lambalar "cıva buharlı" tiptedir. Kuvars malzemedan yapılmış cam tüp şeklindeki UV lambanın içinde özel inert bir gaz ve katı formda cıva mevcuttur. Lambanın her iki ucunda elektrotlar bulunur ve özel tasarım enerji kaynakları (elektronik balast) ile beslenir. Öncelikle inert gaz ısıtılır,

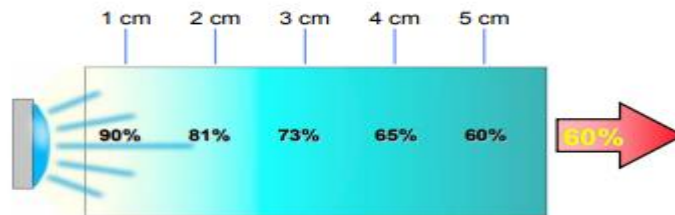
civanın buharlaşması ve iyonlaşarak tüp içine dağılması sağlanır. Ardından elektrotlar elektron yaymaya başlar. Potansiyel fark ile (volt) ile elektronlar tüp içinde bir elektrottan diğerine ve akış yönü sürekli değiştirilerek (AC frekans) yüksek hız ve yoğunlukta hareket etmeye başlar (elektron bombardımanı). Elektronlar civa iyonları ile çarpışarak enerji seviyelerini yükseltir. Cıva iyonları aldıkları enerjiyi 254 nm dalgaboylu UV-C ışınları yayarak deşarj ederler. Şekil 9’da 254 nm UV ışınlarının nasıl oluştuğu görülmektedir.



Şekil 9. UV Lambaların 254 nm Dalgaboylu UV Işın Üretimi

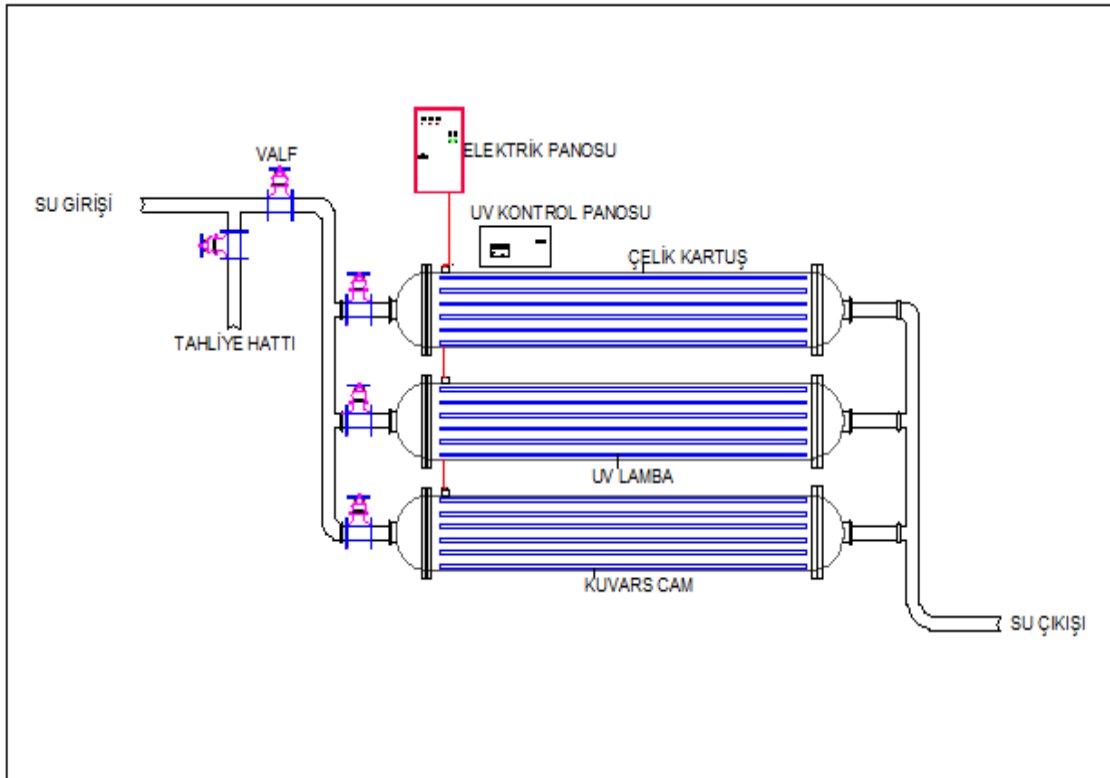
Bir UV cihazının sağlayabileceği UV dozu temelde ışın yoğunluğu ve temas süresi parametrelerine bağlıdır. UV dezenfeksiyon gücü için ana ölçü olan “UV dozu” yukarıda açıklanan iki parametre ile hesaplanır.

UV cihazında UV-C ışın kaynağı UV lambadır ve lambadan yayılan ışının yoğunluğu koruyucu kuvars cama kadar sabit kabul edilebilir. Ama ışınların su içine girdikten sonra ne kadar ilerleyebileceği ve ilerlerken gücünden ne oranda kaybedeceği suyun UV-T(1cm) değerine bağlıdır [17].



Şekil 10. UV Işın Yoğunluğunun Su İçinde İlerlerken Azalışı

Şekil 11’de UV tasarım örneği yer almaktadır. Kuvars cam ve UV lamba üzerinde giydirilmiş çelik kartuş malzemeden oluşan düzenekte elektrik ve UV kontrol panoları yer almaktadır.



Şekil 11. Ultraviyole Dezenfeksiyon Düzenegi Örneği

1.5.6. Klorlama

Klorlama, atıksu arıtımı ve içme suyu arıtımında kullanılan en yaygın dezenfeksiyon yöntemlerinden biridir. Dezenfeksiyon suda bulunan patojen mikroorganizmaları zararsız hale getiren uygulamadır. Klorlama kimyasal dezenfeksiyon yöntemi olup maliyeti daha cazip, temini kolay olup katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç farklı özellikte kullanılabilir.

Klorun suya etkisi ile oluşan formların (serbest klor) suda bulunan mikroorganizmalara tam etki edebilmesi için dozlama ve temas süresinin iyi ayarlanması gerekmektedir. Klorun kullanımı esnasında, dağıtım bölgesindeki bakiye klor miktarın 0,2 ila 0,5 mg/l aralığında olacak şekilde dozlama yapılması uygundur. Temas süresi için tavsiye

edilen değer en az 30 dakikadır. Tablo 3 ve 4’de klorlama prosesinin tasarımında kullanılan perde faktörü ve C.T (mg-dk/l) değerleri verilmiştir [18].

Tablo 3. Perde Faktörü

Faktör	Tanım
0,1	<ul style="list-style-type: none"> • Perdesiz, karışım esaslı, çok düşük uzunluk/genişlik oranı yüksek giriş ve çıkış akış hızı, • Tek giriş çıkış hatlı kapalı dairesel ya da dikdörtgen şeklindeki tank • Girişin tavanda çıkışın ise tabanda(ya direk aşağıya doğru ya da giriş hattıyla aynı tarafta) olduğu dairesel ya da dikdörtgen şeklindeki tank ,
0,3	<ul style="list-style-type: none"> • Bir veya birden fazla perdesiz giriş ve çıkışların olduğu ve içerisinde perde bulunmayan tank, • Girişin tavanda çıkışın ise karşı duvarın tabanında olduğu dairesel ya da dikdörtgen şeklindeki tank
0,5	<ul style="list-style-type: none"> • Perdeli giriş ve çıkışa sahip içerisinde birkaç perde bulunan tank
0,7	<ul style="list-style-type: none"> • Giriş perdesi delikli içerisinde kıvrımlı veya delikli perdelerin olduğu, çıkışı savaklı veya delikli savaklı tank,
1	<ul style="list-style-type: none"> • Çok yüksek uzunluk/genişlik oranı(boru akışı) delikli giriş, çıkış ve içerisinde perdesi bulunan tank

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

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

Yağmur suyunun fiziksel, kimyasal özellikleri bölgesel değişkenlik göstermektedir. Ciddi kirlilik teşkil etmeyen yağmur suyunun arıtımı için yeterli kaynak bulunmamaktadır. Genel çalışmalara bakıldığında depolanan yağmur suyunda zamanla mikrobiyal artıştan dolayı klorlama yapılmaktadır.

Yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere su kalitesi üzerine araştırmalar ve pilot ölçekli tasarımların yanı sıra uygulama ve hayata geçirilen çalışmalar olmuştur. Kentsel ve kırsal ölçekli yapılan tasarımların olmasının yanı sıra sanayi uygulamalarının eksik olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmaların genellikle yıkama ve lavabo ihtiyacı için kullanıldığı ve diğer su ihtiyaçlarına dahil edilmediği anlaşılmıştır. Geniş çatı alanlarına sahip sanayi yapılarında toplanan yağmur suyu farklı uygulamalarda kullanılabilir.

Ülkemizde geçerli olan ve 30113 Sayılı Resmi Gazete ve 03.07.2017 Tarihinde (Değişiklik:09.10.2021 Tarih ve 31623 R.G. Sayılı) yayımlanan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği kapsamında, kapalı alanı 2000 m² ve üzerinde olan yeni inşa edilecek yapılara yağmur suyu toplama sistemi kurulumu zorunlu hale getirilmiştir. Bu da sürdürülebilir ve su ihtiyaç yükünü azaltacak önemli bir adım olmuştur. Toplanan yağmur suyunun mekanik projeye dahil edilmesi ile su kazanımı sağlanarak çevresel yönden olumlu gelişmeler hedeflenmiştir.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Bu çalışmada, galvaniz kaplı metal çatı üzerinden toplanan yağmur suyu ve kar suyunun analizi yapılarak bazı kimyasal özelliklerini bağlı olarak uygun arıtma tipi belirlenerek yaklaşık maliyet hesabı yapılmıştır.

Analiz kapsamında renk, pH TDS, kalsiyum, magnezyum, sertlik, kalsiyum sertliği, magnezyum sertliği, AKM, iletkenlik, organik madde ve çözünmüş oksijen değerleri tekrarlı olarak analiz edilerek belirlenmiştir.

DIN 1989-1:2001-10 Yağmur suyu Toplama Sistemi tasarım standardı formülleri kullanılarak çatı alanı bilinen yapı için yıllık toplanacak yağmur suyu miktarı bulunmuştur.

Sistem içerisinde yağmur suyunun kullanım alanları belirlenerek her bir alan için su ihtiyaçları belirlenmiştir. Soğutma kulesi, kazan besleme suyu, içme suyu, peyzaj sulama, yangın tesisat sistemi ve araç yıkama için ayrı formüllerle belirli tablolar ve katsayılar kullanılarak hesaplanmıştır. 12 aylık su tüketimi bilinen firma için yukarıdaki hesaplanan ihtiyaçlar sonrası kalan suyun proses suyu olarak kullanıldığı bulunmuştur. Ayrıca arıtma ekipmanlarının ihtiyaç alanları belirlenerek teknik alanları hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. Yöntem

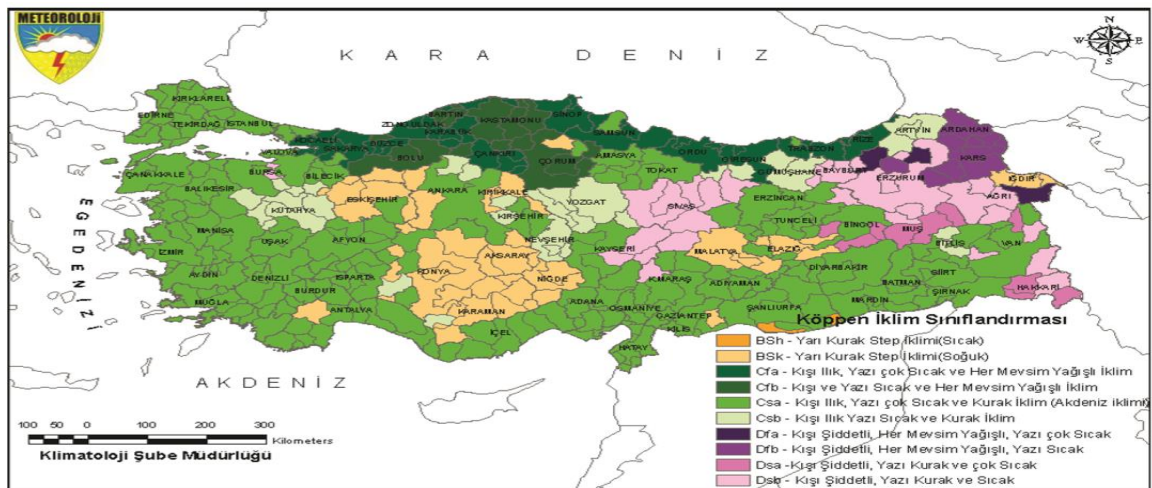
2.1.1. Çalışma Alanı

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Sektörel dağılım baz alınarak ihtiyaç duyulan su tespiti ve kalitesi incelenmiştir. Yağmur suyu toplama, depolama, dağıtım ve arıtma yöntemleri araştırılarak maliyet analizi yapılmıştır.

Kayseri’de yaz ayları sıcak ve kurak karasal nitelikli kışları ise kar yağışlı ve soğuk geçmektedir. Lakin Kayseri iklimi, yükseltiye göre değişiklikler gösterir. Buna bağlı yükseltisi olmayan çukurda kalan bölgelerde iklim daha yumuşakken, yaylalardan dağlık kesimlere doğru gidildikçe sertleşir.

Kayseri ilinde dağ ve tepelik alanlarda da bozkır bitki örtüsü hakimdir. Yüksek alanlarda yer yer iyi orman örtüsü bulunsa da topraklar genellikle çalılıklar ile kaplıdır [19].

İlde yaz aylarında sıcaklık bazen 38 °C’ye kadar yükselir. Bu ayların ortalama sıcaklığı ise yaklaşık, 23 °C’dir. En soğuk günler ise Aralık, Ocak ve Şubat aylarında olup sıcaklığın bazen -36° C’a kadar düştüğü görülmektedir. Kış ortalaması ise -2 °C ile -6 °C arasındadır. [20].



Şekil 12. Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi [21]

Şekil 12’de Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Kayseri ili Csa sınıfında yer almaktadır. Bu sınıflandırma ile kışı ılık yazı sıcak ve kurak iklimin hakim olduğu belirlenmiştir.

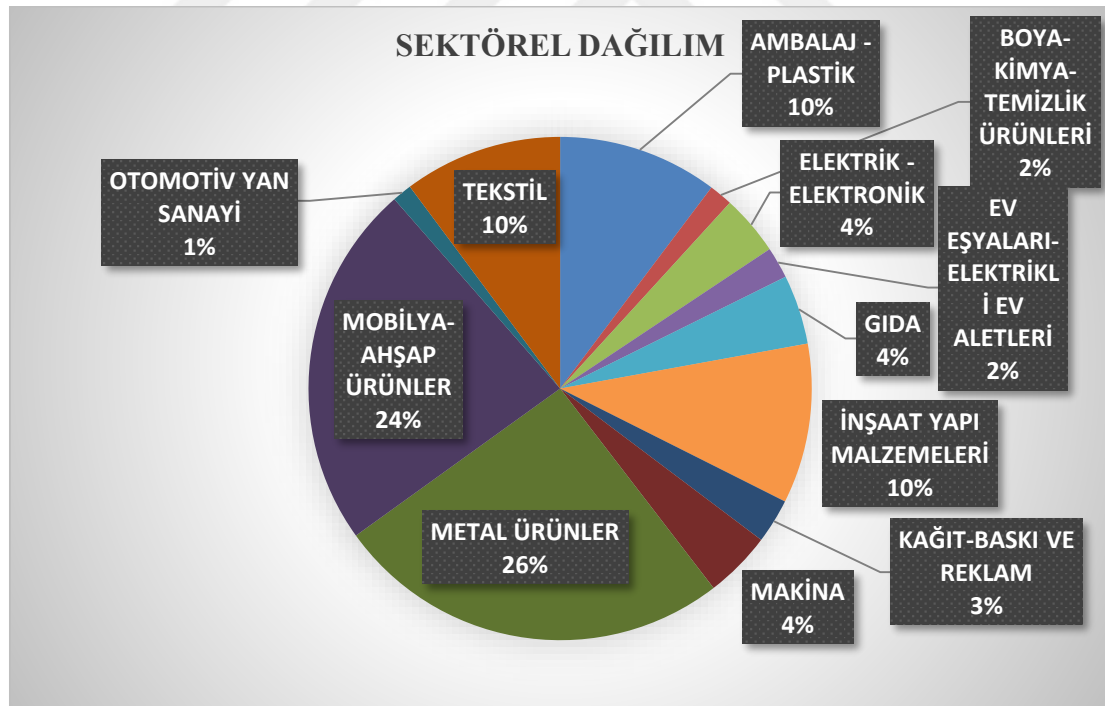
Çalışmanın yapılacağı alan Kayseri Organize Sanayi Bölgesi’dir. Bölgede yol, su, kanalizasyon, doğalgaz, elektrik alt yapı hizmetleri ile sağlık hizmetleri de Bölge Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmektedir[20]. Bölge düz bir alanda olup güney cephesinde yükselti mevcuttur. Şekil 13’te Organize Bölgesine ait Google Earth görüntüsü ve kuş bakışı görseli yer almaktadır.



Şekil 13. Kayseri OSB

Tablo 5. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Sektörel Dağılımı [22]

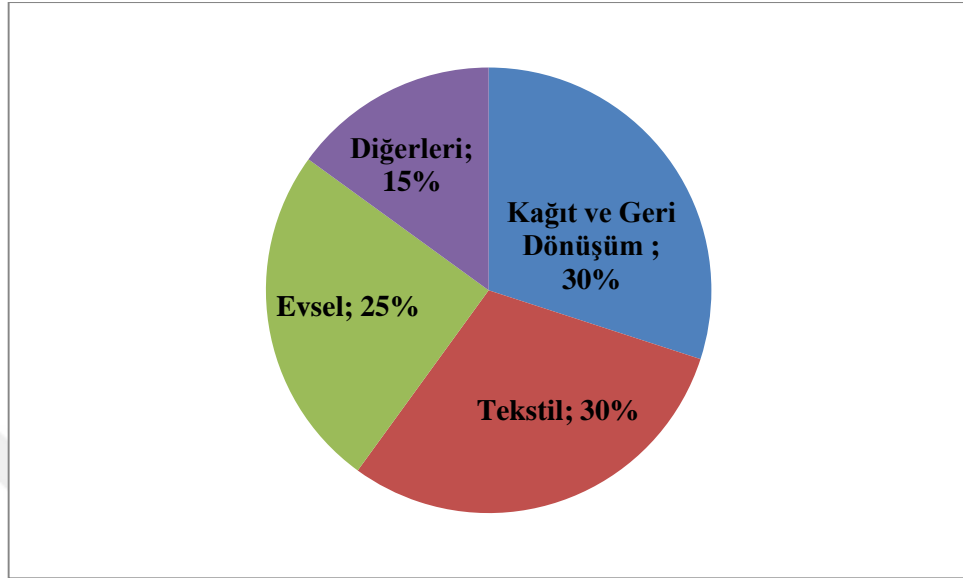
SEKTÖR	FABRİKA SAYISI
AMBALAJ - PLASTİK	122
BOYA-KİMYA-TEMİZLİK ÜRÜNLERİ	18
ELEKTRİK - ELEKTRONİK	46
EV EŞYALARI-ELEKTRİKLİ EV ALETLERİ	24
GIDA	53
İNŞAAT YAPI MALZEMELERİ	122
KAĞIT-BASKI VE REKLAM	34
MAKİNA	51
METAL ÜRÜNLER	303
MOBİLYA-AHŞAP ÜRÜNLER	279
OTOMOTİV YAN SANAYİ	15
TEKSTİL	121



Grafik 1. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Sektörel Dağılım Grafiği [22]

Tablo 5 ve Grafik 1’de görüldüğü üzere metal üretimi ve mobilya üretiminin en yaygın sektörler olduğu görülmektedir. Tekstil, yapı malzemeleri ve ambalaj üretim

faaliyetlerinin ise Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde geniş dağılımı olduğu görülmektedir.



Grafik 2. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Oluşumuna Göre Dağılım Grafiği [23]

Grafik 2’de görüldüğü üzere Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde tekstil ve kağıt geri dönüşüm sektöründe atıksu oluşumunun fazla olduğu görülmektedir. %25 oranında evsel atıksu oluşumu mevcuttur.

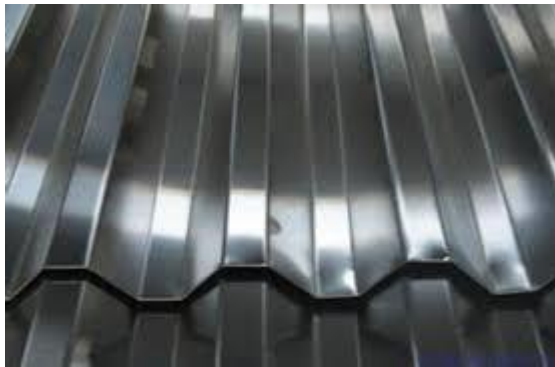
2.1.2. Deneysel Yöntem

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi konumundan 01.03.2022 tarihinde yağmur suyu ve yine aynı noktadan 04.03.2022 tarihinde kar suyu numunesi alınarak analizi yapılmıştır. Numune alım noktası bölge içerisinde bulunan rastgele seçilmiş kapalı bir yapıdır. Yapının çatısı galvaniz kaplı metal saçtır. Oluk sistemi PE malzemeden yapılmıştır.

Yapı etrafında farklı alanlarda faaliyet gösteren işletmeler bulunmaktadır. Mevsimin kış ayı olması nedeniyle sanayi kaynaklı emisyon oluşumu ve taşıt kaynaklı emisyon oluşumunun yanı sıra ısınma kaynaklı emisyon oluşumu da yüksektir. Şekil 14 ve 15’te numune alım noktası ve çatı tipi sunulmuştur.



Şekil 14. Numune Alma Noktası



Şekil 15. Galvaniz Kaplı Metal Saç

Yağmur suyu ve kar suyunun kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerini etkileyen pek çok faktörün olduğu bilinmektedir. Numune alım noktasında bulunan oluk sistemine ait görsel Şekil 16'da sunulmuştur.



Şekil 16. Numune Alım Noktası Oluk Sistemi

2.1.2.1.pH Tayini

Çözeltinin asidik veya bazik özelliğini ve şiddetini gösteren bir yöntem olan pH tayini, su ve atıksu analizlerinde kullanılan yaygın parametrelerden biridir. pH, hidrojen iyonu konsantrasyonunun (-) logaritmasıdır ($pH = - \log [H]$). Kimyasal proseslerde çökelebilen ve biyolojik proseslerde mikroorganizma aktivitesi üzerinde önemli rol oynar. pH, genellikle elektronik problarla ölçülür. Hach marka ve HQ40D model cihaz kullanılarak pH tayini yapılmıştır. Şekil 17’de cihaza ait görsel yer almaktadır.



Şekil 17. pH metre Cihazı

2.1.2.2.İletkenlik

İletkenlik, sulu bir çözeltinin elektriği iletme değeridir. Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağıl konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklığına bağlıdır. Suyun iletkenliği ölçülerek, sudaki iyon miktarı yaklaşık olarak tayin edilebilir. İletkenlik değerinin 0,55-0,70 ile çarpımı suyun tuzluluğu hakkında bir fikir edinilebilir. Aynı şekilde, bu ilişkiden faydalanarak bulunan ampirik (deneye dayalı) sonuca göre, normal sularda iletkenliğin 100'e bölünmesiyle, sudaki anyon (=katyon) toplamı meq/L olarak hesaplanır. Hach marka ve HQ40D model cihaz kullanılarak iletkenlik tayini yapılmıştır.

2.1.2.3.Çözünmüş Oksijen

Sudaki oksijen miktarı; atmosferdeki oksijenin kısmî basıncına, suyun sıcaklığına, suya oksijen kazandıran organizmalara ve sudaki mineral konsantrasyonuna bağlıdır. Hach marka ve HQ40D model cihaz kullanılarak çözünmüş oksijen tayini yapılmıştır.

2.1.2.4.TDS (Toplam Çözünmüş Katı Madde)

Toplam çözünmüş katılar, hem çözünmüş, hem de askıda katıları temsil etmektedir.

Toplam Çözünmüş katı madden toplam katı madde değerinin toplam askıda katı madde değerinden çıkartılması ile bulunur. Lakin, çoğunlukla iletkenlikle ilişkilendirilerek suyun iyon yükünün, tuzluluğunun ya da kirliliğinin değerlendirmesi şeklinde kullanılır.

$$\text{TDS (mg/L)} = \text{EC (İletkenlik)} \times (0.55-0.70)$$

İletkenlik ya da pH probuyla ölçümü yaygındır. Hach marka ve sensION 5 model cihaz kullanılarak TDS tayini yapılmıştır.

2.1.2.5.Askıda Katı Madde

Suda çökemeyen yani süspansiyon halinde askıda asılı kalan yaklaşık bir mikron büyüklüğünde veya daha büyük olan küçük katı maddeler AKM yani Askıda Katı Madde olarak tanımlanır.

Hesaplama aşağıdaki formül kullanılarak yapılmaktadır.

$$AKM \text{ (mg/l)} = (C-D) \times 1000 / V$$

C= Filtre Kağıdı + Kuru Kalıntı Tartımı (mg),

D= Filtre Kağıdı Tartımı (mg),

V= Numunenin Hacmi (ml).

2.1.2.6. Renk Tayini

Renk tayini yapmak için için fotometrik metot veya görsel mukayese metodu kullanılmaktadır. Yağmur suyu ve kar suyunun renk tayini için fotometrik metot kullanılmıştır.

Filtre edilmiş bir numunenin rengi, numuneye bakıldığında onun renk durumunu tasvir edecek terimlerle ifade edilir. Renk tonu (kırmızı, yeşil, sarı vs.) hâkim dalga boyu, parlaklık derecesi luminans ve doyma (soluk, pastel vs.) saflık terimleri ile ifade edilir. Bu değerler, bir fotometre yardımıyla filtre edilmiş bir numunenin ışık geçirgenlik özellikleri ile en iyi şekilde belirlenebilir.

Hach marka ve Sension 5 modeli spektrofotometre cihazı kullanılarak renk tayini yapılmıştır. Cihaza ait görsel Şekil 18 'de sunulmuştur.



Şekil 18. Renk Tayin Cihazı Fotoğrafi eklenecek

2.1.2.7.Sertlik Tayini

Su içerisinde sertlik teşkil eden en önemli iyonlar Magnezyum ve Kalsiyum iyonlarıdır. Sert suların yumuşatılmasında su içerisindeki magnezyum ve kalsiyum sertliklerinin ayrı ayrı bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu nedenle toplam sertliğe ek olarak magnezyum ve kalsiyum sertlikleri tayin edilmelidir. Sertlik tayininde en çok kullanılan metot EDTA metodudur.

EDTA metodunda titrasyon çözeltisi olarak etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) veya NaCl tuzu kullanılmaktadır. Bu bileşikler genellikle EDTA olarak ifade edilirler ve Ca^{+2} , Mg^{+2} ve diğer iki değerlikli sertliğe sebep olan kompleksler verirler. Dolayısıyla kalsiyum ve magnezyum miktarı da bu yöntemle belirlenmiş olur.

Kullanılan araçlar;

Manyetik Karıştırıcı

Otomatik Büret (0,1 bölmeli)

Erlen Mayer

Reaktifler

EDTA çözeltisi

$NH_4OH + NH_4Cl$ tampon çözeltisi (toplam sertlik için)

1 M NaOH çözeltisi (Ca^{+2} sertliği için)

Eriochrome Black T. İndikatörü (Toplam sertlik için)

Müreksit İndikatörü (Ca^{+2} sertliği için)

Deneyin standart yöntem kullanılarak yapılmıştır.

Hesaplama:

Toplam Sertliği; Sarfiyat = °F Sertliği (Toplam Sertlik) veya; Sarfiyat x 10= Toplam Sertlik (mg/L $CaCO_3$)

Kalsiyum Sertliği; Sarfiyat x 10= Ca⁺⁺ Sertliği (mg/L) CaCO₃ cinsinden veya; Sarfiyat =°F Sertliği'dir.

İstenilirse; [Toplam Sertlik – Ca⁺⁺ Sertliği = Mg⁺⁺ Sertliği'dir]

Kalsiyum Miktarının Bulunması;

$$(mg/l) Ca = \frac{Ax N x 20000}{\text{Örnek Hacim}(ml)}$$

A = Kalsiyum Sertliği için harcanan EDTA'nın mL'si

N= EDTA çözeltisinin normalitesi

Magnezyum miktarının bulunması;

$$(mg/l) Mg = \frac{Ax N x 12000}{\text{Örnek Hacim}(ml)}$$

A = Toplam Sertlik için harcanan EDTA (mL) – kalsiyum sertliği için harcanan EDTA (mL) = magnezyum için harcanan EDTA'nın mL'si

N= EDTA çözeltisinin normalitesi

2.2. Yağmur Suyu Toplama Sistemi Tasarımı

Yağmur suyu toplama sistemi tasarım aşamasında aşağıdaki aşamalar uygulanır.

Suyun hangi uygulamada kullanımı

Çatı yapısı, iletim sistemi, oluk yapısı

Ön arıtma

Taşmalar için yönlendirme hattı

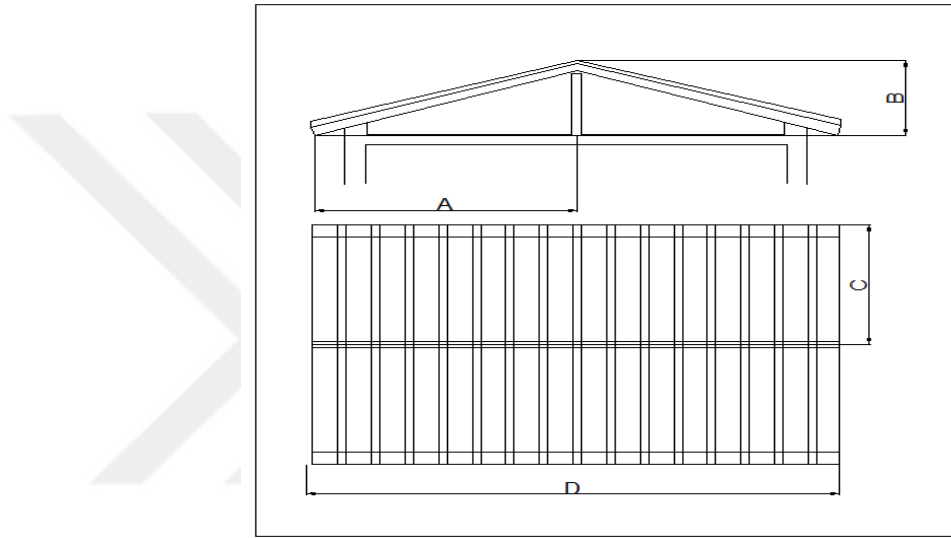
Yağmur suyu toplama haznesi ve eklenti parçaları

Proses için pompa seçimi ve tasarımı

Depolama içindeki pompalar ve depolama dışındaki pompalar

2.2.1. Toplama ve Taşıma

Yağmur suyu toplaması çatı üzerinden yapılacaktır. Kayseri organize sanayi bölgesinde bulunan çatıların genelinde beşik tip çatının olduğu kabul edilmiştir. Beşik tip çatı alan hesabı aşağıda yer almaktadır. Beşik çatı ön ve üst görüşe ait çizim Şekil 20’de yer almaktadır.



Şekil 20. Beşik Çatı Alan Hesabı

$$\text{Alan} = C \times D$$

Çatı tipi su kalitesini etkileyen önemli etkenlerden biridir. Aşağıdaki çatı malzemeleri veya sistemleri, proses suyunun uygulama alanlarına bağlı olarak duruma göre değerlendirilecektir:

- Yeşil çatılarda, suda bulunan moleküller nedeniyle kahverengi bir renk oluşumu söz konusudur.
- Bitümlü çatılarda, bu durum sarı renkte olabilmektedir.
- Asbest lifli çimento içeren malzemelerden yapılan çatılar uzun vadede lif yayılımı göstermektedir.
- Yeni inşa edilmiş olması durumunda, çatıdan tahliye edilen sularda çok yüksek metal konsantrasyonları oluşabilmektedir.

- Kuru dönemlerde katılar, yağmur yağdığıında dışarı çıkan yıpranmış, pürüzlü çatı alanlarında birikilmektedir [24].

Toplama

Kayseri İli Melikgazi İlçesi Organize Sanayi Bölgesinde metrekareye yıllık ortalama olarak 389,6 mm yağış düştüğü bilinmektedir. Toplama alanı 22.000 m² olan tesis için alan dağılımları Tablo 6'da sunulmuştur.

Yeni yapılması planlanan yapı için bina taban alanı ve bina inşaat hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılmalıdır [25].

Bina Taban Alanı = Parsel Alanı (m²) x TAKS (Taban Alanı Katsayısı)

Emsale Tabi İnşaat Alanı = Parsel Alanı (m²) x KAKS (Kat Alanı Katsayısı)

Emsale Tabi Olmayan İnşaat Alanı = Sığınak, Otopark, Kazan Dairesi, Havuz vb.

Toplam İnşaat Alanı = Emsale Tabi İnşaat Alanı + Emsale Tabi Olmayan İnşaat Alanı

Tablo 6. Mevcut Yapıların Alanları

Yapı	Alan (m ²)
Üretim Alanı-1	9,200
İdari Bina	850
Üretim Alanı-2	10,410
Güvenlik Binası	120
Hammadde Depolama Alanı	1,420
Toplam	22,000

Çatının teknik özellikleri yağmur suyu toplama verimine etki etmektedir. Yağmur suyu toplama ve çatı verim katsayılarına ilişkin Tablo 7'de aşağıda sunulmuştur. Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde bulunana yapıların çoğunluğu eğimli sert çatı tipindedir bundan dolayı %80 verim katsayısı seçilmiştir.

Tablo 7. Çatı Verim Katsayıları (DIN 1989-1:2001-10)

	Verim Katsayıları (%)
Eğimli sert çatı ^a	80
Düz çatı, çakılsız	80
Düz çatı, çakıllı	60
Yeşil çatı, yoğun	30
Yeşil çatı, geniş	50
Kaplamalı yüzey/bileşik kaplamalı yüzey	50
Asfalt kaplama	80
^a Emiciliğe ve pürüzlülüğe bağlı sapmalar	

Tablo 8. Kayseri İli Aylık Yağış Miktarı [26]

Ölçüm Periyodu (1931-2021)		
Ay	Aylık Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
Ocak	10,38	36,2
Şubat	7,77	36,3
Mart	11,00	43,1
Nisan	8,85	51,3
Mayıs	9,54	51,5
Haziran	8,77	40,5
Temmuz	1,53	10,5
Ağustos	1,24	8,9
Eylül	2,92	14,6
Ekim	6,77	27,5
Kasım	4,77	31,9
Aralık	8,46	37,3
Yıllık	82.00	389.6

Yıllık Yağmur Suyu Toplama Verimi Hesabı

Teorik olarak yıllık yağmur suyu verimi hesabı aşağıdaki denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$E_R = A_A \times e \times h_N \times \eta$$

E_R , Yıllık yağmur suyu toplama verimi (lt/yıl)

A_A , Toplama alanı (m²)

e , Çatı verimi katsayısı

h_N , Metrekareye düşen yağış miktarı (lt/m²) veya (mm)

η , Hidrolik filtre verimliliği

2.2.2. Taşıma ve Oluk Sistemi

Eğimli çatıdan su toplamak ve iniş borusuna yönlendirmek için oluk kullanılması gerekmektedir. Bunlar, yağmur suyunu toplamak ve depolama tankına taşımak için eğimli bir çatının kenarlarında bulunan kanallardır. Oluklar yarım daire, dikdörtgen veya yamuk şeklinde olabilir. Hasat edilen yağmur miktarını en üst düzeye çıkarmak için oluklar uygun şekilde boyutlandırılmalı, eğimli ve monte edilmelidir. Oluk aşağıdaki malzemelerden herhangi biri kullanılarak yapılabilir:

- Galvanizli sac
- Alüminyum levha
- PVC malzeme

Oluğun boyutu, en şiddetli yağmur sırasındaki akışa göre olmalıdır. Oluklar, suyla yüklendiğinde sarkmalarını veya düşmelerini için uygun şekilde desteklenmelidir. Herhangi bir su sızıntısını önlemek ve verimi en üst düzeye çıkarmak için olukların ve aşağı olukların bağlantısı çok dikkatli yapılmalıdır. Olukların birleştirilmesinde, suyun kalitesini etkileyeceğinden kurşun esaslı malzemeler kullanılmamalıdır [27].

Olukların boru çapı hesabı için çatının her m² için, cm² veya lt/sn×ha cinsinde çatıya düşen yağmur suyu miktarının bilinmesi gerekmektedir. Yatay bir alana düşen yağış miktarı hesaplanması yöntemi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q_r = A \times r \times \varphi$$

A, Yağış alan yatay yüzey (hektar)

r, Yağış Şiddeti

φ , Akma dağılma şiddeti

Tablo 9. Boşaltma Katsayıları

Çatı Yüzeyi	Boşaltma Faktörü
Çatı eğimi > 3°, Beton Çatılar, Rampalar	1,0
Çatı eğimi < 3°	0,8
Çakıl kaplı çatılar	0,5
Yaygın çatı alanı 10 cm kalınlıktan başlamak üzere	0,3
Yaygın çatı alanı 10 cm kalınlığın altında	0,5

Tablo 9 ve Tablo 10'da oluk sayısı ve boru çapı katsayıları kullanılarak akış debisi ve boru çapı katsayısı bulunmaktadır.

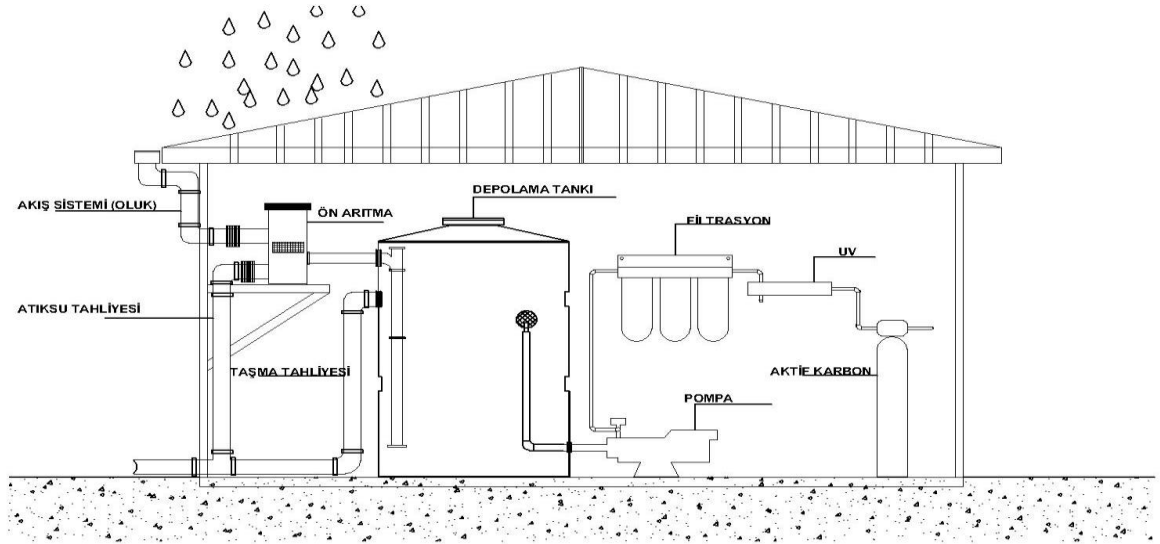
Kayseri İli için sanayide hektara düşen yağış miktarı 244 lt/s.hektar olarak kabul edilmiştir ve boşaltma faktörü 1,0 olarak seçilmiştir [28].

Tablo 10. Boru Çapı Katsayıları

Yağmur Debisi(lt/sn)	Yük Değeri (YD)	Boru Çapı (Kolon)(mm)
1,40	45	100
2,10	75	
2,80	100	
3,50	130	
4,15	150	125
4,80	170	
5,50	200	
6,25	235	
7,00	270	
7,75	300	150
8,50	330	
9,25	360	
10,00	400	

2.2.3. Ön Arıtma

Çatı yüzeyinden toplanan yağmur depolanmadan önce ön arıtmadan geçirilmelidir. Amaç iri maddelerin tank içerisinde oluşumunu engellemek ve ikinci arıtmada kolaylık sağlamaktır. Filtre sistemi çatıya yakın bir bölüme yerleştirileceği gibi depolama tankının durumuna bağlı olarak zemine kurulumu da mümkündür. Şekil 21’de küçük ölçekte tasarlanmış yağmur suyu toplama sistemi görülmektedir. Toplanan yağmur depolanmadan önce yaprak filtre sisteminden geçirilmelidir ve depolanmalıdır. Filtre sistemi teknik olarak vorteks akımlı akış prensibi ile çalışmaktadır.



Şekil 21. Ön Arıtma Planı Örneği

2.2.4. Depolama

Depolama için ihtiyaç duyulan tanklar mikrobiyal büyümeyi teşvik etmeden su geçirmez yapılar oluşturan malzemelerden yapılmalıdır. Uygun malzemeler arasında beton, cam takviyeli plastik, polietilen, polipropilen veya paslanmaz malzemelerle kaplanmış çelik malzemeden yapılmış olabilir. Depolama, geçirgen kaplama yapılarına veya jeo-hücreler gibi diğer yapılara yerleştirilebilir [29].

Depolamada en önemli unsur verimli depolama hacmini bulmaktır. Bunun için de yıllık yağmur suyu toplama verimi hesabı yapılmalıdır. Aşağıdaki formül kullanılarak yıllık toplama verimi hesabı yapılır.

$$E_R = A_A \times e \times h_N \times \eta$$

E_R , Yıllık yağmur suyu toplama verimi (lt/yıl)

A_A , Toplama alanı (m^2)

e , Çatı verimi katsayısı

h_N , Metrekareye düşen yağış miktarı (lt/m^2) veya (mm)

η , Hidrolik filtre verimliliği

Bu hesaplama ya bağlı olarak faydalı hacim hesabı aşağıdaki formül kullanılarak bulunur.

$$V_n = \text{Minimum } (BW_a \text{ veya } E_R) \times 0.06$$

V_n , Faydalı Hacim

BW_a , Yıllık genel su ihtiyacı

E_R , Yıllık yağmur suyu verimi ($m^3/yıl$)

2.2.5. Pompa Seçimi

Pompalar akışkan maddeye basma yüksekliği kazandıran ekipmanlardır. Dünyanın elektrik tüketiminin %20'sinin pompalardan oluştuğu göz önüne alınırsa ne kadar önemli ekipmanlar oldukları çok daha kolay anlaşılır. Pompalar; kalorifer ve hidrofor tesisatından, sülfürik asit proseslerinde, su iletimi ve atıksu arıtımı gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Akışkan maddeyi temelde iki metotla basma yüksekliği kazandırmak mümkündür. Bu metotlar; pozitif yer değiştirme ve santrifüj kuvvettir. Pratikte uygulamaların %90 'ında santrifüj pompa kullanılmaktadır. Santrifüj pompanın kullanıldığı durumlarda başka tip pompa kullanmaya bazı avantajlardan dolayı gerek duyulmamaktadır. Basit yapısı dayanıklı servis ömrü, yüksek verimi, düşük işletme giderleri, yüksek sıcaklıklara dayanım ve yüksek debilere ulaşabilmesinden dolayı en yaygın pompa tipidir [30].

Kot farkı ve debisi bilinen bir sisteme ilave edilecek pompa seçimi için sistem toplam manometrik basma yüksekliğinin hesabının yapılması gerekmektedir. Pompa seçiminde emiş klepesi, emiş borusu, dirsek, basma hattındaki çek valf, vana, dirsekler, TE bağlantılar ve hat boyunca borularda meydana gelecek direnç kayıplarının da hesaplanması gerekir. Tablo 11'de vana ve bağlantı elemanlarının direnç kaybına tekabül eden eşdeğer düz boru boyları verilmiştir, Şekil 22'de ise basma yüksekliğine ait uzunluk bölgeleri yer almaktadır.

Sistemin toplam manometrik basma yüksekliği (H_m) hesabı aşağıdaki adımlar kullanılarak hesaplanır.

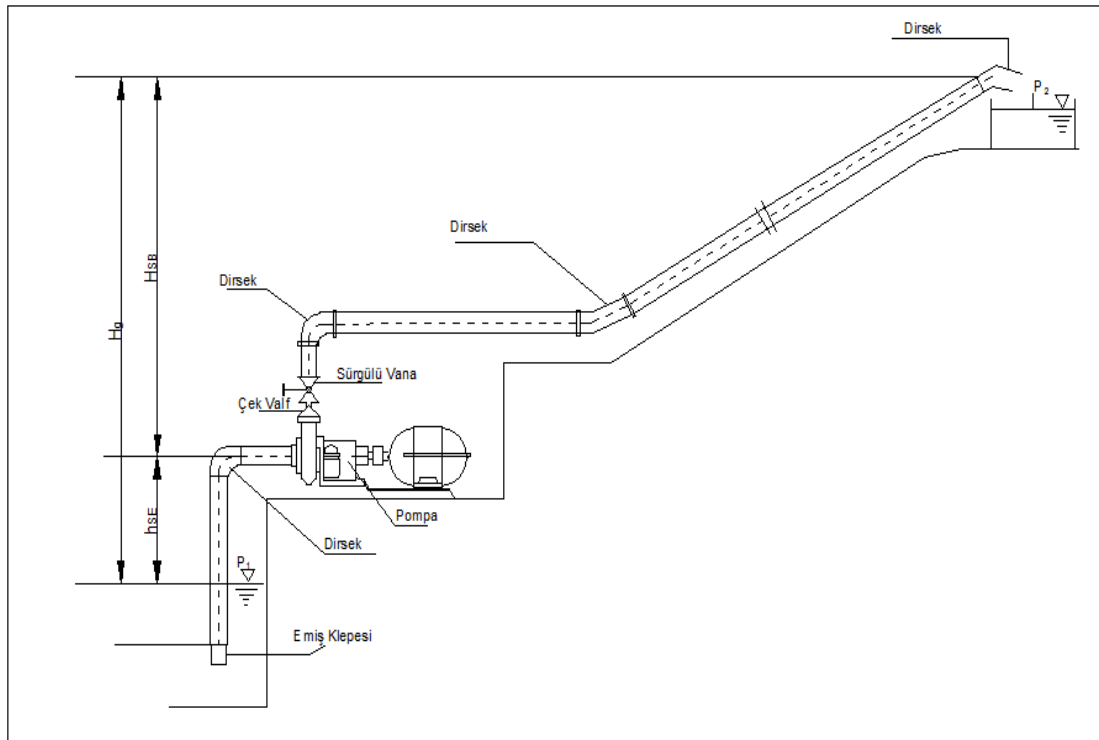
$$H_m = H_g + h_{ke} + h_{kb}$$

$$H_g = H_{sb} + H_{SE}$$

H_g : Toplam pompa ile basma yüksekliği mesafesi

h_{ke} : Emis borusundaki direnç kayıpları

h_{kb} : Basınç borusundaki direnç kayıpları [31]



Şekil 22. Pompa Seçimi Uzunluk Hesap Yerleri

Tablo 11. Vana ve Bağlantı Aynı Direnç Kaybına Tekabül Eden Eşdeğer Düz Boru Boyları

Adı	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"
Sürgülü Vana	0,2	0,25	0,3	0,35	0,45	0,5	0,75	0,9	1,2	1,5
Buhar Vanası	8	11	14	17	19	25	32	40	50	65
Çek Valf	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16
Emiş Klepesi	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16
Deve Boynu	0,5	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,8	3,5	4,5
Standart T	2	2,5	3	4	4,5	5,5	7	9,5	12	15
Standart Dirsek	0,8	1	1,4	1,6	2	2,5	3,5	4,5	5	6,5

• Dairesel Borudaki Yük Kayıpları

Dairesel borudaki yük kayıpları için bazı formüller geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan Darcy- Weisbach denklemi yardımıyla ana iletim hatlarındaki yük kayıpları hesaplanır. Denklem şu şekildedir.

$$J = \frac{\lambda V^2}{2gD}$$

J, Yük kaybı

λ , Yük kaybı katsayısı(sürtünme katsayısı), boyutsuz

D, Boru iç çapı, m

g, Yerçekimi ivmesi, m/sn²

Burada yük kaybı katsayısı (λ), Reynold sayısına bağlıdır. Reynold sayısı akım türünü temsil etmektedir.

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

formülüne bağlı olarak $\lambda = 64/Re$ sayısı bulunur.

$Re < 2000$ olduğunda sürtünme katsayısı sadece Reynold sayısına bağlıdır.

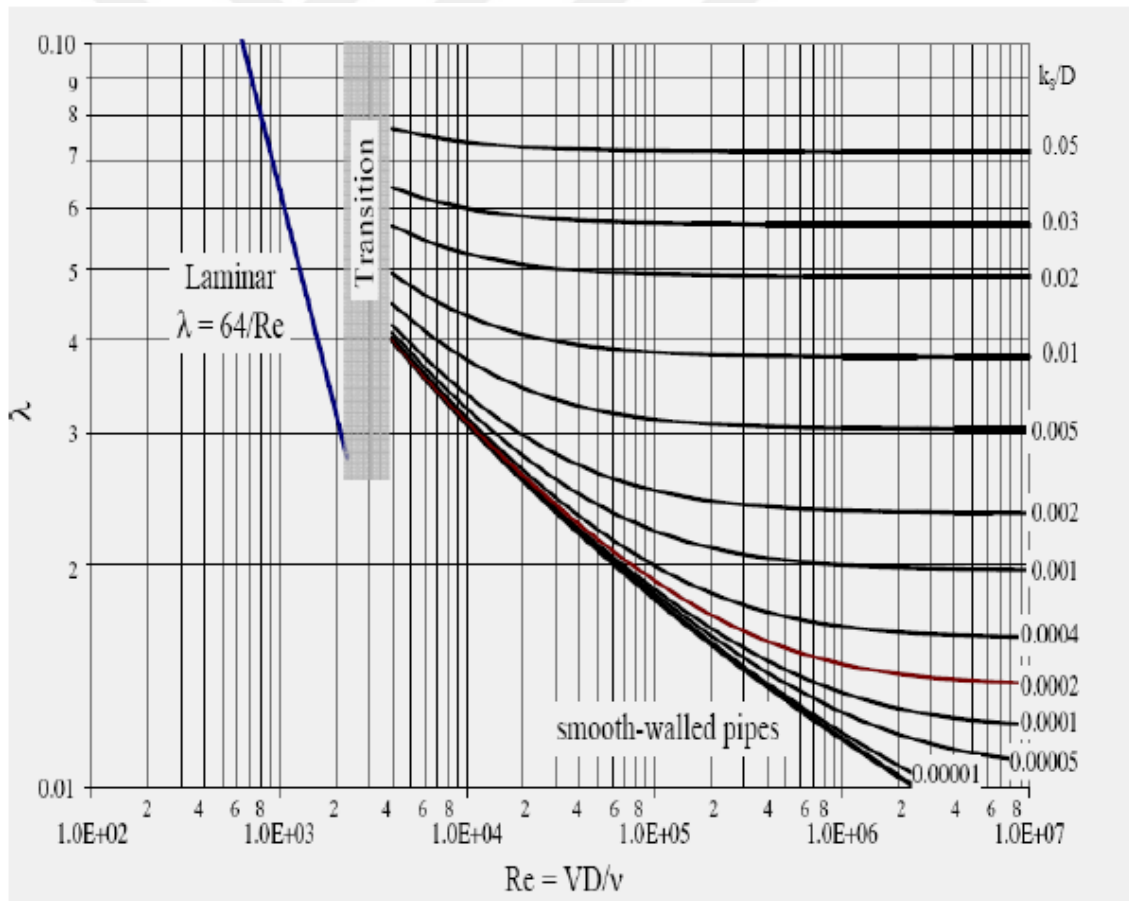
Türbülanslı akımda ($Re > 4000$),

Cıllalı (pürüzsüz) akımda sürtünme katsayısı sadece Reynolds Sayısına bağılıdır,

Geçiş bölgesi akımında f , Re ve rölatif pürüzlülüğe (k_s/D) bağılıdır,

Pürüzlü akımda, f sadece k_s/D 'ye bağılıdır.

Türbülanslı akımda hesaplamalar deneme-yanılma ile yapılır. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için Moody Diyagramı olarak bilinen bir diyagram hazırlanmıştır. Moody Diyagramı, f , Re ve k_s/D arasındaki fonksiyonel ilişkileri göstermektedir [32]. Şekil 23'te Moody Diyagramı'na yer verilmiştir.



Şekil 23. Moody Diyagramı

k_s , pürüzlülük değerlerini içermektedir. Bazı malzeme ve çeşitli boru tiplerinde bulunan k_s değerleri ve Tablo 12 ve Tablo 13’de sunulmuştur.

Tablo 12. Bazı ara elemanlarda yük kaybı katsayıları[33]

Ekipman Adı	k_s
Baca	0,05
Terminal baca	1
Tam açık sürgülü vanalar	0,19
¼ ü kapalı sürgülü vanalar	1,15
½ si kapalı sürgülü vanalar	5,6
¾ ü kapalı sürgülü vanalar	24,0
Tam açık kelebek vanalar	0,3
20 ° kapalı kelebek vanalar	1,4
40 ° kapalı kelebek vanalar	10
60 ° kapalı kelebek vanalar	94
Salınımlı çek vanalar	0,6 - 2,3
Salınımlı tam açık çek vanalar	2,5
Diyafram vanalar, tam açık	2,3

Tablo 13. Bazı Boru Tipleri k_s Değerleri

Boru Malzemesi	k_s
Pirinç (sarı), bakır, cam, fleksiğlas	0,003
Asbestli çimento	0,03
Dövme demir	0,06
Galvanize demir	0,15
Plastik	0,03
Bitüm kaplamalı yumuşak demir	0,03
Beton kanalizasyon kanalı	6,0

2.3. Su Kullanım Miktarının Belirlenmesi

2.3.2. Bahçe ve Peyzaj Sulama

Sulama suyu hesabı için bazı bitki su ihtiyaç katsayılarına gerek duyulmaktadır. Bunlar;

- Çim için günlük su ihtiyacı katsayısı
- Çalı tipi bitki günlük su ihtiyacı katsayısı
- Sulanacak alan

Sulanacak Alanın Su İhtiyacı;

Günlük Çim Sulama=(5,4 mm.gün/1000) x Sulanacak Alan(m²) + (Günlük Çalı Tipi Bitki Sulama (3,6 mm.gün/1000) x Sulanacak Alan(m²), formülü kullanılarak hesaplanır.

2.3.2. Soğutma Kulesi Su İhtiyacı Hesabı

Soğutma kuleleri, ısıyı uzaklaştırmaya yarayan ünitelerdir. Çalışma prensibi suyun bir kısmının buharlaşmasını sağlayarak sistemdeki istenmeyen ısıyı atmosfere verir. Kalan su ise istenilen derecede soğur [34].

Açık Çevrim Soğutma Kuleleri, prosesten gelen sıcak soğutucu akışkan, ilk önce kule içerisinde yer alan su dağıtım sistemine girer. Su dağıtım sisteminde yer alan fiskiyeler sayesinde damlacıklar halinde, dolgu denilen ısı değiştiricisi görevi gören malzemenin üzerine püskürtülür. Dolgu malzemesi PVC veya PP malzemelerden imal edilmektedir. Dolgu malzemesinin görevi, proses akışkanı ile fan yardımıyla çekilen atmosfer havası arasında ısı transferi yüzey alanı oluşturmaktır. Sıcak proses akışkanı soğuyarak kulenin alt kısmında yer alan havuzda birikir. Isınan dış ortam havası fan yardımıyla atmosfere atılır.

Sistemde sirküle edilen su miktarında buharlaşmalar meydana gelmektedir. Termodinamik esaslarına göre; buharlaşan her bir gram suyun faz (hal) değişimini gerçekleştirebilmesi için yaklaşık 540 Kalori enerji sistemden emilir. Bu yaklaşımla; sistemde dolaşan suyun her 6 °C soğuması için yaklaşık su debisinin % 0,9' unun

buharlaşması gerekmektedir, buna su soğutma kulesi buharlaşma kaybı denilmektedir [35].

Bu miktar aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

$$\text{Buharlaşma Miktarı } E, (\text{m}^3/\text{h}) = 0.00085 \times 1.8 \times \text{Debi } (\text{m}^3/\text{h}) \times (T_g - T_ç)$$

Sistemde sirküle edilen toplam su miktarı [36]

$$V_s = E + Q$$

Kule Besleme Suyu Gereksinimi

$$Q_{sk} = \%1,5 \times V_s$$

Maksimum yükte günlük eşdeğer çalışma saati

Soğutma Kuleleri günlük maksimum su tüketimi

$$GST_{sk} = q_{sk} * h_{sk}$$

2.3.3. İçme suyu İhtiyacı

İçme suyu kentsel ve endüstriyel uygulamalarda kişi başına düşen su tüketiminin farklılık gösterdiği alanlardır. Kentsel kullanım için 24 saatlik kullanım, duş, yetişkin veya çocukların su tüketimi gibi konular günlük su tüketimini etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır. Endüstriyel uygulamalarda içme suyu ihtiyaç hesaplamasında, çalışma süresi, çalışma periyodu, vardiya gibi faktörler su tüketimini belirleyen unsurlar arasında yer almaktadır.

Çalışma Periyodu Hakkında Bilgiler;

- Çalışma Süresi (iş günü/yıl)
- Vardiya Sayısı
- Toplam Personel Sayısı

$$Q_{evsel} = N * q$$

N(kişi) : Tesisteki toplam nüfus

Qevsel (m^3 /gün) : Evsel nitelikli atıksu debisi

2.3.4. Yangın Söndürme Sistemi Su İhtiyacı

Yangın, yanma olayı, ısı, oksijen ve yanıcı maddelerden oluşan üç faktörün bir arada olmasıyla meydana gelir Yanma olayı için ısıнын 260 - 400 C' den, oksijenin ise % 15' den fazla olması şarttır [37].

Tablo 14. Ek-8/C Yangın Dolapları ve Hidrant Sistemi İçin İlâve Edilecek Su İhtiyaçları [38]

Bina Tehlike Sınıfı	İlave edilecek Yangın Dolabı Debisi (litre/dak)	İlave edilecek Hidrant Debisi (litre/dak)	Süre (dak)
Düşük tehlike	100	400	30
Orta Tehlike-1-2	100	400	60
Orta Tehlike-3-4	100	1000	60
Yüksek Tehlike	200	1500	90

Yangınla mücadele tesisatlarında önce binanın tehlike sınıfını belirlemek gerekmektedir. Bu uygulama için Binalarda Yangından Korunma İle İlgili Yönetmeliğe bakılması gerekmektedir. Yönetmeliğe göre sınıflandırma aşağıda yer almaktadır.

Tehlike Sınıfları:

Düşük Tehlike Sınıfı,

Orta Tehlike Sınıfı Grup 1,

Orta Tehlike Sınıfı Grup 2,

Orta Tehlike Sınıfı Grup 3,

Yüksek Tehlike Sınıfı Grup 1 (Extra Hazard Group I),

Yüksek Tehlike Sınıfı Grup 2 [39]

Tablo 15. Ek-8/B Yağmurlama Sisteminde Tasarım Yoğunlukları

Tehlike sınıfı	Tasarım yoğunluğu mm/dak	Koruma alanı (m ²)	
		Islak veya ön etkili	Kuru veya değişken
Düşük Tehlike	2,25	84	Orta Tehlike-1 kullanılır
Orta Tehlike-1	5,0	72	90
Orta Tehlike-2	5,0	144	180
Orta Tehlike-3	5,0	216	270
Orta Tehlike-4	5,0	360	Yüksek Tehlike-1 kullanılır
Yüksek Tehlike-1	7,7	260	325
Yüksek Tehlike-2	10,0	260	325
Yüksek Tehlike-3	12,5	260	325
Yüksek Tehlike-4	Yoğun su		
NOT: Depolama alanları ve farklı özellikteki kullanım alanları için TS EN 12845 esas alınır.			

Yangın suyu deposu hacmi, her sistem için minimum basınç/debi şartlarında gerekli olan su ihtiyacına göre belirlenir. Her bir sistemin minimum su beslemesi, aşağıda belirtilen minimum çalışma süresi için yeterli kapasiteye sahip olmalıdır.

Su Beslemeleri İçin Minimum çalışma Süresi

Tehlike Sınıfı Süre (dk.)

Düşük Tehlike 30 dakika

Orta Tehlike 60 dakika

Yüksek Tehlike 90 dakika

Aynı yönetmeliğin Ek-8C' de yer alan yangın dolabı debisi ve hidrant debisi için su ihtiyaçlarına ilişkin değerler Tablo 14 ve Tablo 15'de yer almaktadır.

2.3.5 Buhar Kazanı Make Up (Besleme) Suyu İhtiyacı

Buhar kazanları suyun buharlaşmasını sağlayan sistemlerdir. Buhar kazanlarında ısı enerjisini karşılamak adına doğal gaz, kömür, motorin ve diğer fosil yakıtlar kullanılabilir. Buhar kazanları endüstriyel tesislerde oldukça sık kullanılmaktadır. [40].

Kazan besleme suyu; blöf ve buharlaşma ile kaybedilen suyu telafi etmek için eklenen sudur. Blöf, kazan suyu içinde buharlaşma sonucu konsantrasyonu artan çözünmüş ya da askıda kalmış katı madde miktarını kazan için belirlenen limitlere çekebilmek amacıyla kazan suyunun bir kısmının sistemden atılması işlemidir. Besleme suyu ile birlikte kazana giren katı partiküllerin, kazan suyunun buharlaşması ile konsantrasyonu oldukça artar.

Kazan suyu içinde çözünmüş ve askıda kalmış katı partiküller kazan suyu kalitesinin kontrolü için önem arz etmektedir. TDS seviyesi, kazan üreticisi ve geçerli kılavuzlar tarafından belirtilen sınırlar içinde kalmalıdır. Bu amaçla belirli miktarda kazan suyu sürekli veya periyodik olarak tahliye edilir. Yüksek seviyedeki çözünmüş katılar (TDS) su taşınması, kışır oluşumu gibi birçok probleme neden olabilir [41].

Buhar kazanı içinde zamanla çoğalan mineraller kazan suyunun iletkenlik değerini artırır ve çelik sac ile imal edilmiş olan kazan içinde Elektro-Korozyon oluşturarak kazanın ömrünü azaltır. Kazan gövdesinin korozyona uğramaması için buhar kazanı içindeki "kazan suyu" nun azami iletkenlik değerine bir sınır konmuştur. Düşük ve orta basınçlı buhar kazanları için bu iletkenliğin en üst değeri 6000 - 7000 mS/cm'dir

Buhar kazanı içindeki suyun iletkenliğinin çok yükselmemesi için, kazan besleme suyunun iletkenliği de göz önüne alınarak, yapılacak blöflerin miktarı aşağıdaki gibi

hesaplanır. Bu hesap şekli kazan suyu kimyasalı üreten kuruluşlar tarafından geliştirilmiştir. Blöf ve besi suyu için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar;

- Buhar kazanı kapasitesi
- İşletme basıncı
- Açık Buhar Kullanımı
- Kazan Suyu Sıcaklığı
- Kazan suyu iletkenliği
- Besleme suyu iletkenliği
- Besleme suyu sıcaklığı
- Blöf ile atılan su ile kaybedilen ısı için sıcaklık farkı, Δt
- İletkenliğe göre Konsantrasyon
- İletkenliğe göre Blöf Miktarıdır [42].

2.3.6. Araç Yıkama Su İhtiyacı

Aracın tek yıkamada ortalama olarak 150 ila 200 lt su harcadığı varsayılmıştır. Basınçlı sistemlerde bu miktar azalmaktadır. Araç sayısı bilinen ve haftalık yıkama sayısına bağlı olarak hesaplama yapılmaktadır.

2.3.7. Proses Suyu İhtiyacı Hesabı

Üretimin alanlarında su en önemli ihtiyaçlardan biridir. Farklı üretim sektörleri için kaliteli ve talep edilen su miktarı oldukça fazla olmaktadır. Özellikle tekstil, metal, hazır beton, seramik gibi üretim tesislerinde su tüketimi oldukça fazladır. Bu üretimler bulunduğu alana göre şebeke suyu veya yeraltı suyu kullanmaktadır. Yeraltı suyu kullanım durumlarda arıtma şart olup üretim türüne bağlı olarak şebeke suları içinde ek arıtmaya ihtiyaç vardır.

12 aylık su tüketimi ortalaması alınan işletme için genel su ihtiyacının hesaplanması sonrası kalan miktar proses suyu olarak değerlendirilmiştir. Tüm tez boyunca kaynak belirtilmeyen çizimler AutoCad programı kullanılarak çizilmiştir.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Yağmur Suyu ve Kar Suyu Analizi

Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde bulunan galvaniz kaplı saçlı işletmeden ayrı ayrı yağmur suyu ve kar suyu numunesi alınmıştır. Yağmur suyu 01.03.2022 tarihinde ve kar suyu yine aynı noktadan 04.03.2022 tarihinde alınmıştır. 10 litrelik numuneler pH, TDS, AKM, sertlik, organik madde, iletkenlik, çözünmüş oksijen, renk, kalsiyum ve magnezyum değerleri ölçülmüştür.

Ölçülen değerler tasarım esnasında kullanılmıştır ve her bir uygulama için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yağmur suyu ve kar suyuna ait analiz sonuçlarına ait bilgiler Tablo 16'da yer almaktadır.

Tablo 17'de TDS, pH, iletkenlik, kalsiyum ve magnezyum değerlerinin TSE ve WHO içme suyu standartlarına göre sınır değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir. Sertlik bakımında kar suyu ve yağmur suyu sert su kategorisinde yer almaktadır. Renk değerlerinin yüksek çıkması ile birlikte yağmur suyunun kar suyuna göre renk değeri daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 16. Yağmur Suyu ve Kar Suyu Analiz Sonuçları

Parametre	Yağmur suyu	Kar suyu	Birim
TDS(toplam çözünmüş katı)	6,8±0,7	28±0,3	mg/l
Çözünmüş Oksijen	8±0,4	9,2±0,2	mg/l
pH	6,69±0,1	6,73±0,1	-
İletkenlik	41,3±0,2	54,6±0,2	mikroS/cm
Renk	53±0,1	15±0,1	PtCo
Organik Madde	91,9±0,9	94,3±0,2	%T/cm
AKM	0,0162±0,1	0,008±0,8	mg/l
Toplam sertlik	20±0,2	27,2±0,5	mg/l(CaCO ₃)
Kalsiyum sertliği	14,4±0,6	22,4±0,4	mg/l(CaCO ₃)
Magnezyum sertliği	5,6±0,02	4,8±0,02	mg/l(CaCO ₃)
Kalsiyum	28,8±0,01	4,48±0,01	mg/l
Magnezyum	0,672±0,01	0,576±0,01	mg/l

Tablo 17. Yağmur Suyu ve Kar suyu Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Parametre	Birim	Yağmur suyu	Kar suyu	TSE 266	WHO	
TDS(toplam çözünmüş katı)	mg/l	6,8	28	1500 (İzin verilen maksimum değer)	300'den az	-Mükemmel
					300-600	-İyi
					600-900	-Makul
					900-1,200	-Kötü
					1200 üstü	-Kabul Edilemez
pH	-	6,69	6,73	6.5-9,2	6,5-8,5	
İletkenlik	mikroS/cm	41,3	54,6	2500	2500	
Renk	PtCo	53	15	20	15	
Organik Madde	%T/cm	91,9	94,3	-	-	
AKM	mg/l	0,0162	0,008	-	-	
Toplam sertlik	mg/l(CaCO ₃)	20	27,2	0-4*	Çok yumuşak	
				4-8*	Yumuşak	
Kalsiyum sertliği	mg/l(CaCO ₃)	14,4	22,4	8-12*	Orta sert	
				12-18*	Oldukça Sert	
Magnezyum sertliği	mg/l(CaCO ₃)	5,6	4,8	18-30*	Sert	
				>30*	Çok sert	
Kalsiyum	mg/l	28,8	4,48	200	100	
Magnezyum	mg/l	0,672	0,576	50	30	
Çözünmüş Oksijen	mg/l	8	9,2	-	-	

3.2. Su Kullanım Miktarlarının Belirlenmesi

3.2.1. Bahçe ve Peyzaj Sulama

Proje alanında toplam alan 34.531 m²'dir. Emsale tabi olmayan inşaat alanları hesaplama dahil edilmemiştir.

Tablo 18. Emsale Tabi İnşaat Alanları

Arazi Yerleşimi	Alan(m2)
Toplam Alan	34.531
Kapalı Alan	22.000
Açık Alan	9.147
Otopark	1.420
Bahçe ve Peyzaj Alanı	1.964

Sulanacak Alanın Su İhtiyacı;

Günlük Çim Sulama=(5,4 mm.gün/1000) x Sulanacak Alan(m²) + (Günlük Çalı Tipi Bitki Sulama (3,6 mm.gün/1000) x Sulanacak Alan(m²), formülü kullanılarak hesaplanır.

Buradan;

$$\text{Sulanacak Alanın Su İhtiyacı} = 5,4 \text{ mm}/1000 \times 1805 \text{ m}^2 + 3,6 \text{ mm}/1000 \times 159 \text{ m}^2$$

$$= (9,7470 + 0,5724)\text{m}^3/\text{sulama}$$

$$= 10,32 \text{ m}^3/\text{sulama}$$

Tablo 19. Aylara Göre Peyzaj Sulama Hesap Tablosu

Ay	Tek sulamada tüketilen su (m ³ /sulama)	Sulama Sayısı (adet)	Aylık Toplam Su İhtiyacı (m ³ /ay)
Ocak	10,31	0	0
Şubat	10,31	0	0
Mart	10,31	2	20,63
Nisan	10,31	5	51,59
Mayıs	10,31	6	61,91
Haziran	10,31	8	82,55
Temmuz	10,31	8	82,55
Ağustos	10,31	8	82,55
Eylül	10,31	6	61,91
Ekim	10,31	4	41,27
Kasım	10,31	0	0
Aralık	10,31	0	0
Toplam			484,96 m ³ /yıl

Aylara göre değişkenlik gösteren sulama sayısına bağlı olarak aylık maksimum 82,55 m³ ve yıllık 484,96 m³ sulama suyuna ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 19’da sulama sayıları ve ihtiyaç duyulan su miktarları yer almaktadır.

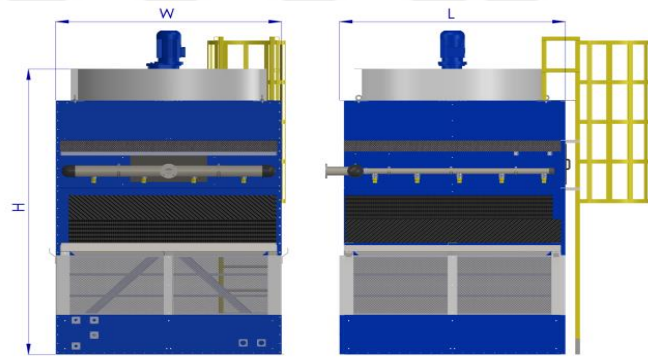
3.2.2. Soğutma Kulesi Su İhtiyacı

Seramik karo ve vitrifiye üretimi yapan tesiste 3 adet açık tip çevrim su soğutma kulesi mevcut olup 233 kW soğutma kapasitesine sahiptir. Açık çevrimiçi soğutma kulesine ait teknik bilgiler Tablo 20’de yer almaktadır. Soğutma kulesine ait teknik boyutlar Şekil 23’te ve Şekil 24’de akış görseli sunulmuştur.

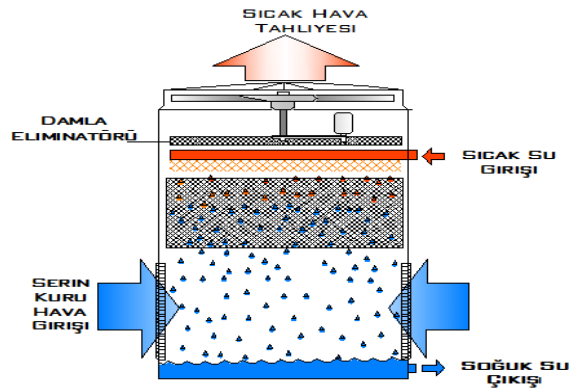
Tablo 20. Soğutma Kulesi Teknik Bilgiler

Marka	Model	Akışkan Debisi	Soğutma Kapasite si	Kule Ölçüleri (cm)			Fan KW	Motor ØD
				W	L	H		
Konukısı	KOCS-1218- FD900	m ³ /sa	KW	W	L	H	KW	ØD
		40	233	1200	1800	3250	2,20	1000

Tablodaki ifadeler 35°C giriş, 30°C çıkış ve 24°C ıslak hazne sıcaklık değerlerine göre oluşturulmuştur.



Şekil 24. Soğutma Kulesi Boyutları



Şekil 25. Soğutma Kulesi Akış Şeması

Soğutma Kulesi toplam soğutma kapasitesi = 3 x 243 KW

$$Q_{sk_top} = 729 \text{ KW}$$

E (Buharlaştırma Miktarı) , (m³/h) = 0.00085 x 1.8 x Debi (m³/h) x (Giriş Sıcaklık- Çıkış Sıcaklık)

$$E = 0.00085 \times 1.8 \times (3 \times 40 \text{ m}^3/\text{h}) \times (35 - 30) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$E = 0,918 \text{ m}^3/\text{h} [25]$$

Sistemde sirküle edilen toplam su miktarı

$$V_s = E + Q$$

$$V_s = 1 + 120 = 121 \text{ m}^3/\text{h}$$

Kule Besleme Suyu Gereksinimi

$$Q_{sk} = \%1,5 \times V_s$$

$$Q_{sk} = \%1,5 \times 121 \text{ m}^3/\text{h} = 1,815 \text{ m}^3/\text{h}$$

Maksimum yükte günlük eşdeğer çalışma saati

$$h_{sk} = 10 \text{ saat/gün}$$

Soğutma Kuleleri günlük maksimum su tüketimi

$$GST_{sk} = q_{sk} * h_{sk}$$

$$GST_{sk} = 1,815 \times 10 = 18,15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Ayda 22 gün çalışan işletme için 399,3 m³/ay su ihtiyacı bulunmaktadır.

3.2.3. İçme Suyu İhtiyacı

İçme suyu kentsel ve endüstriyel uygulamalarda kişi başına düşen su tüketiminin farklılık gösterdiği alanlardır. Kentsel kullanım için 24 saatlik kullanım, duş, yetişkin veya çocukların su tüketimi gibi konular günlük su tüketimini etkileyen unsurlar

arasında yer almaktadır. Endüstriyel uygulamalarda içme suyu ihtiyaç hesaplamasında, çalışma süresi, çalışma periyodu, vardiya gibi faktörler su tüketimini belirleyen unsurlar arasında yer almaktadır. 98 kişi çalışan işletmeye ait içme suyu ihtiyacı aşağıda hesaplanmıştır.

Çalışma Süresi (iş günü/yıl) : 300

Sürekli veya kesikli Çalışma: Sürekli çalışma

Vardiya Sayısı : 1

Toplam Personel Sayısı:98

N(kişi) : Tesisteki toplam nüfus

Qevsel (m³ /gün) : Eysel nitelikli atıksu debisi

Qevsel = N *q formülünden,

Qevsel = 98 kişi *30 lt / kişi-gün = 2,940 lt/gün

Qevsel = 64,68 m³/ay

“Atıksu Arıtımının Esasları-2005 kitabında Prof. Dr. İzzet Öztürk, Dr. Hacer Timur, Dr.Ufuk Koşkan Bölüm 1 Sayfa 4- Tablo1.1 Birim su sarfiyatları tablosu 6. madde b bendinde belirtildiği üzere, genel olarak su tüketimi endüstriyel tesislerde ortalama olarak, 30 lt/kişi. gün olarak belirtilmektedir.”

3.2.4. Yangın Söndürme Sistemi

Seramik vitrifiye üretiminde kimyasal kullanımı minimum düzeydedir. Bundan dolayı Tesisi Orta Tehlike Sınıfı Grup 1 kategorisinde yer almaktadır.

Tesiste 1 adet Hidrant,4 adet yangın dolabı ve sprinkler sistemi bulunmaktadır. Binada bulunan hidrantın pompaya olan mesafesi 400 m'dir.

Hortum dolabı için;

$$100 \text{ lt/dk} \times 60 \text{ d.} = 6000 \text{ lt} = 6 \text{ m}^3$$

$$4 \text{ adet hortum dolabı için } 6 \times 4 = 24 \text{ m}^3$$

Hidrant için;

Ek-8/C orta tehlike 1 için debi 1000 lt/dk. ve süre minimum 60 dakika olmalıdır.

$$1000 \text{ lt/dk} \times 60 \text{ dk} = 60000 \text{ lt} = 60 \text{ m}^3$$

Sprinkler için;

İşletmede bulunan yağmurlama sistemi ıslak borulu sistem olarak kurulmuştur. Bundan dolayı Tablo 14'deki tasarım parametrelerine göre Orta Tehlike Sınıf 1'e göre tasarım yoğunluğu 5 mm/dk ve ıslak borulu sistem için koruma alanı 72 m²'dir. Buna göre;

$$\text{Tasarım yoğunluğu} = 0,005 \text{ m/dk}$$

$$\text{Islak veya ön etkili} = 72 \text{ m}^2$$

Ek-8/C'de hidrant ve hortum dolabı için alınan süre sprinkler içinde geçerlidir.

$$\text{Süre} = 60 \text{ dk.}$$

$$0,005 \text{ m/dk.} \times 72 \text{ m}^2 \times 60 \text{ dk.} = 21,6 \text{ m}^3$$

$$\text{Toplam Yangın Suyu Depolama Hacmi} = 21,6 \text{ m}^3 + 24 \text{ m}^3 + 60 \text{ m}^3 = 105,6 \text{ m}^3$$

3.2.5. Buhar Kazanı Make Up (Besleme) Suyu

İşletme içerisinde 1 adet Buhar Kazanı bulunmaktadır. 1 adet kazan için besleme suyu hesabı aşağıda yer almaktadır.

Kabul edilen buhar kazanı kapasitesi: 2 ton

İşletme basıncı: 5-16 bar

Açık Buhar Kullanımı: 1 ton

Kazan Suyu Sıcaklığı: 180 °C

Kabul edilen kazan suyu iletkenliği 3000 microS/cm

Kabul edilen besi suyu iletkenliği 100 microS/cm, besi suyu sıcaklığı 20 °C

Blöf ile atılan su ile kaybedilen ısı için sıcaklık farkı $\Delta t = 160 \text{ C}$

İletkenliğe göre Konsantrasyon no: $3000 / 1000 = 3,0$

İletkenliğe göre Blöf Miktarı $100 / 3 = 0,33$ (%33)

Bu durumda, buhar kazanına verilecek besi suyunun %33 kadarı, yani yaklaşık üçte biri, kaynar su olarak dışarı atılacaktır, ısı telefı olacaktır.

Blöf suyu = $2 \times 0,33 = 0,66 \text{ ton/h}$

Besi Suyu = $1 \text{ ton/h} + 0,66 \text{ ton/h} = 1,66 \text{ ton/h}$

Buhar kazanının 2 ton buhar üretebilmesi için her saat 1,66 ton su ilavesi yapılacaktır.

3.2.6. Araç Yıkama Su İhtiyacı

Tesiste hammadde temini ve ürün gönderimi için dışardan hizmet alınmaktadır. 4 adet şirket aracı resmi işlemler için kullanılmaktadır.

Araçlar şehir içi kullanıldığı için tozlanma oranı düşüktür. Haftada 4 araç için 4 yıkama kabul edildiğinde;

Su İhtiyacı= $4 \text{ yıkama/hafta} \times 175 \text{ lt}$

Su İhtiyacı= 700 lt/hafta

Aylık 4 hafta bazında hesaplama ile 2800 lt ve ya 2,8 m³ suya ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2.7. Proses Suyu İhtiyacı

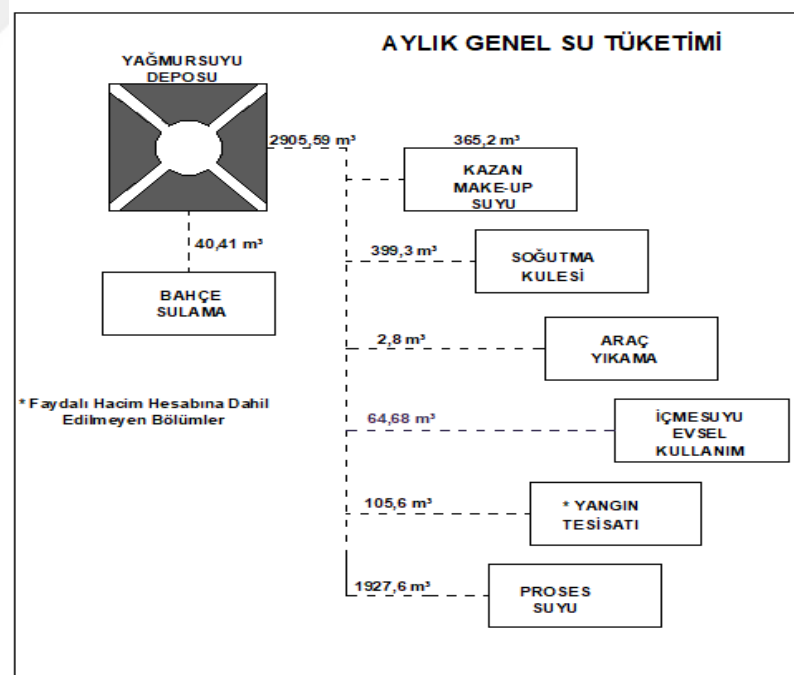
Üretimin alanlarında su en önemli ihtiyaçlardan biridir. Farklı üretim sektörleri için kaliteli ve talep edilen su miktarı oldukça fazla olmaktadır. Özellikle tekstil, metal, hazır beton, seramik gibi üretim tesislerinde su tüketimi oldukça fazladır. Bu üretimler bulunduğu alana göre şebeke suyu veya yeraltı suyu kullanmaktadır. Yeraltı suyu kullanım durumlarda arıtma şart olup üretim türüne bağlı olarak şebeke suları içinde ek arıtmaya ihtiyaç vardır.

Ortalama günlük üretim kapasitesi 34.000 kg/gün olan seramik üretim tesisinde, sır hazırlama, alçı kalıp, çamur hazırlama, dökümhane gibi alanlarda yaygın su tüketimi mevcuttur.

12 aylık su tüketim faturaları incelendiğinde ortalama olarak 2.905,59 m³ ay su tüketimi mevcuttur. Bahçe sulama, kanan besleme suyu, soğutma kulesi araç yıkama ve içme suyu kullanımı çıkarıldığında aylık 1927,6 metreküp proses kaynaklı su kullanıldığı bulunmuştur.

3.2.8. Genel Su İhtiyacı

Su tüketimi için bölümler ayrı ayrı değerlendirilmiştir ve elde edilen miktarlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Su tüketiminin ihtiyacının en fazla proses amaçlı kullanımda olduğu görülmektedir. Tablo 21 ve Şekil 26'da su tüketimine ilişkin detaylar sunulmuştur.

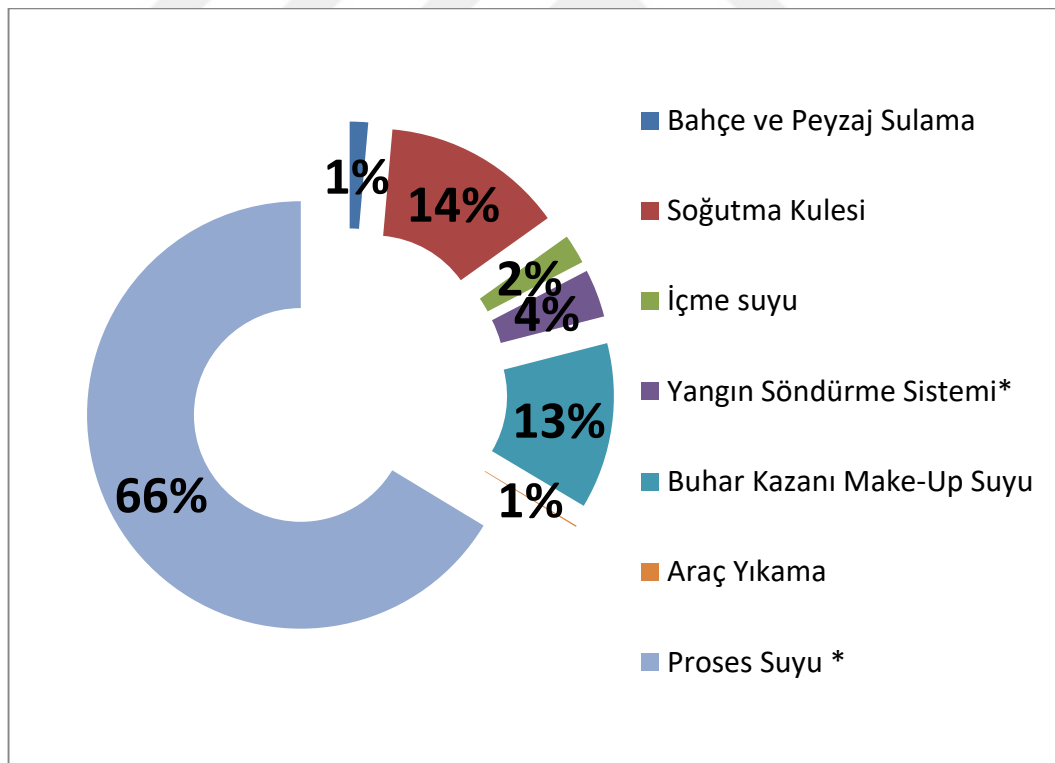


Şekil 26. Genel Su İhtiyaç Akışı

Tablo 21. Genel Su İhtiyaç Tablosu

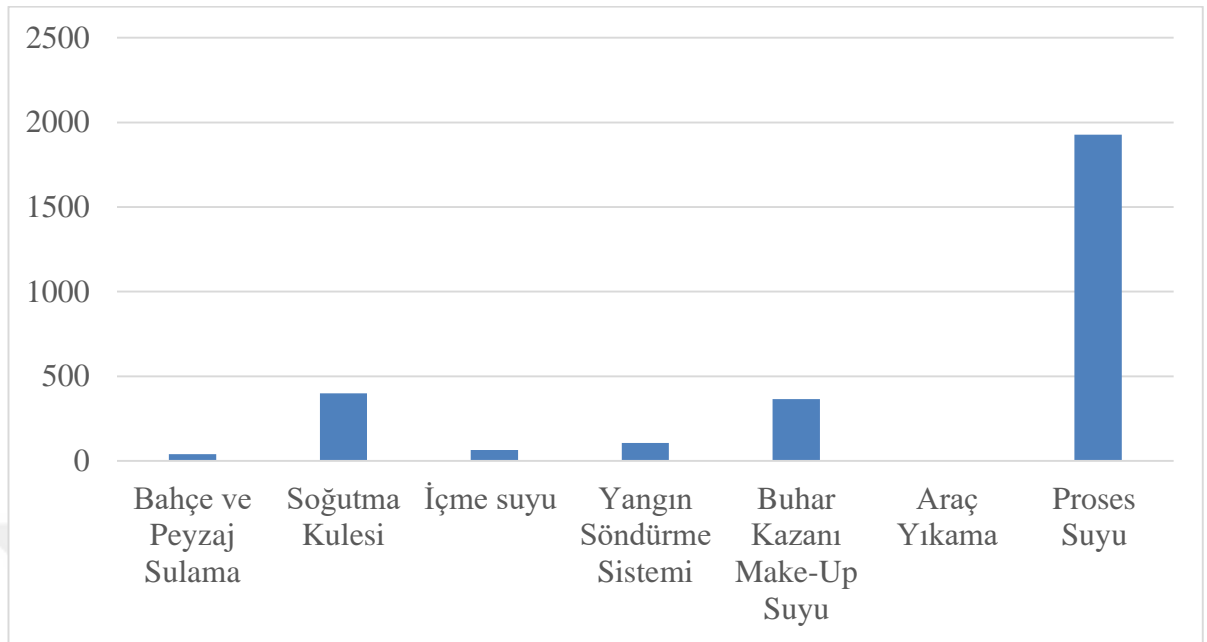
GENEL SU İHTİYAÇ TABLOSU		
Faaliyet	Miktar	Birim
Bahçe ve Peyzaj Sulama	40,41	m ³ /ay
Soğutma Kulesi	399,3	m ³ /ay
İçme suyu	64,68	m ³ /ay
Yangın Söndürme Sistemi	105,6	m ³
Buhar Kazanı Make-Up Suyu	365,2	m ³ /ay
Araç Yıkama	2,8	m ³ /ay
Proses Suyu	1927,6	m ³ /ay
Toplam	2905,59	m³/ay

* Faydalı hacim hesabına dahil edilmeyen bölümler



Grafik 3. Genel Su İhtiyaç Dağılım Yüzdesi

Grafik 3' te görüldüğü üzere % 65 oran ile en fazla su tüketiminin proses kaynaklı olduğu görülmektedir.



Grafik 4. Genel Su İhtiyaç Dağılım Grafiği

3.3. Yağmur Suyu Toplama Sistemi Tasarımı

Kayseri Organize sanayi bölgesinde bulunan mevcut yapılar için tasarlanacak olan projede çok yönlü uygulamalar ele alınacaktır. Bu uygulamalar;

Sektör tipine bağlı olarak proses suyunda kullanım,

Yangın sisteminde kullanım,

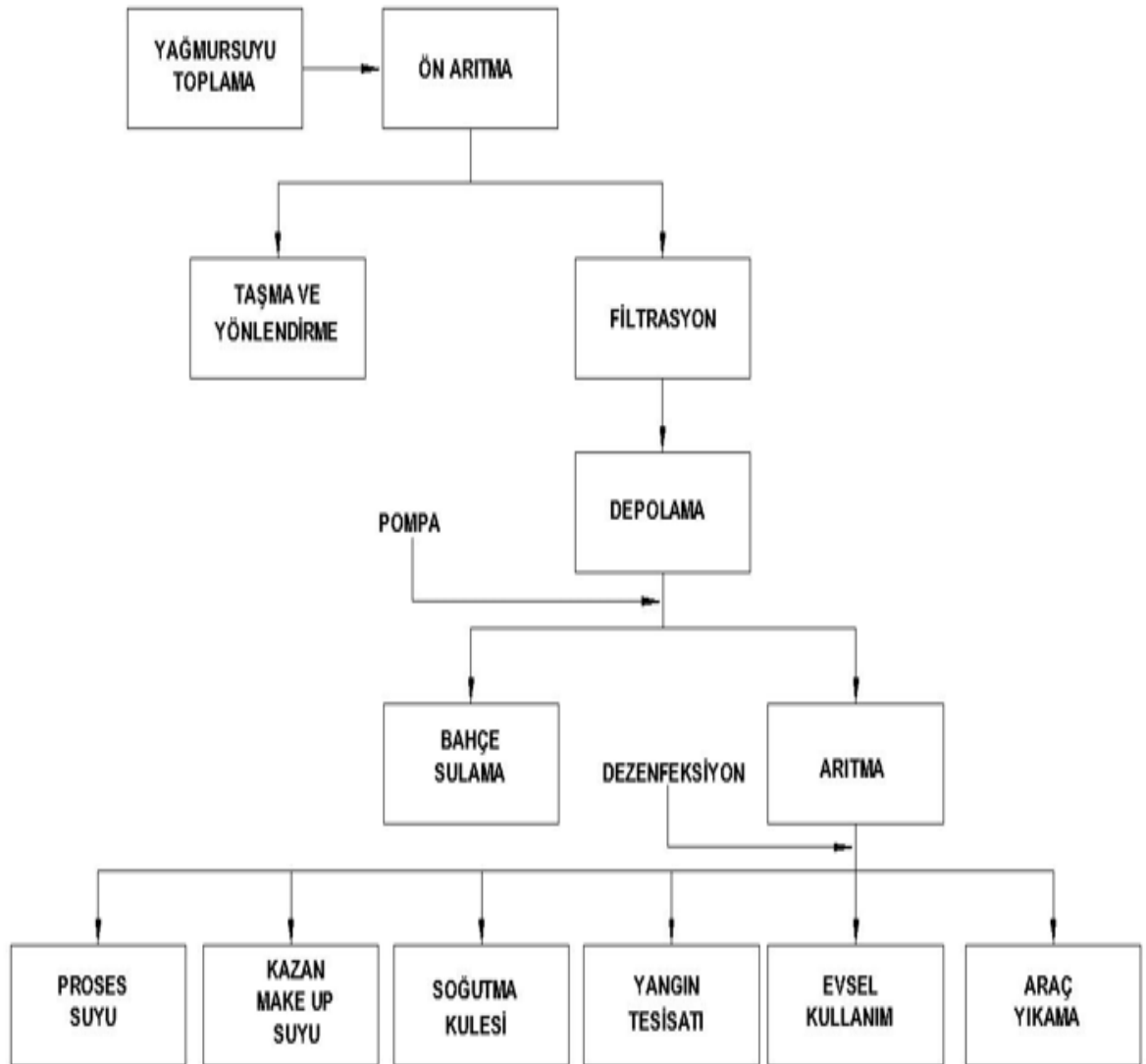
Soğutma kulelerinde kullanım,

İçme suyu amacı ile kullanım ve

Peyzaj ve bahçe sulama amacı ile kullanımlar dikkate alarak belirlenecektir.

Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde 120'ye yakın firma ile görüşülmüştür. Bunlardan 98 tanesi galvaniz kaplı metal saç 18 tanesi betonarme çatı ve 4 tanesinin polikarbon kaplı malzeme ile inşa edildiği görülmüştür ve çoğu çatı tipi beşik çatı tipi olarak inşa edilmiştir.

Beşik Tipi çatı ve toplam kapalı alanı 22.000 m² alan faaliyet alanından toplanacak yağmur suyunun akış şeması aşağıda yer almaktadır.



Şekil 27. Yağmur Suyu Toplama Sistemi Genel Akım Şeması

3.3.1. Toplama Verimi

Yağmur suyu Toplama Sistemi Tasarımı esnasında ilk adım olarak toplama verimi hesabı yapılmıştır. Yıllık 389.6 mm yağış alan bölge için DIN 1989-1:2001-10 hesap formülleri kullanarak bulunmuştur. Çatı teknik özeliği eğimli sert çatı olduğu için verim katsayısı %80 olarak alınmıştır.

$$E_R = A_A \times e \times h_N \times \eta$$

Buradan;

$$E_R = 22.000 \text{ m}^2 \times 0.8 \times 389.6 \text{ mm/yıl} \times 0.95$$

$$E_R = 6.514.112 \text{ lt/yıl yada } 6.514 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Aynı işlemler aylık toplama verimi için yapılırsa aşağıdaki Tablo 22 elde edilir.

Tablo 22. Aylık Depolanacak Yağmur Suyu Miktarı

Ay	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	Aylık Ortalama Toplama Verimi (lt/ay)
Ocak	36,2	605.264
Şubat	36,3	606.936
Mart	43,1	720.632
Nisan	51,3	857.736
Mayıs	51,5	861.080
Haziran	40,5	677.160
Temmuz	10,5	175.560
Ağustos	8,90	148.808
Eylül	14,6	244.112
Ekim	27,5	459.800
Kasım	31,9	533.368
Aralık	37,3	623.656

Aylık ortalama yağış miktarı en yüksek Mayıs ayında olduğu görülmektedir ve toplanacak yağmur suyu miktarı yaklaşık 861.080 litredir. Depolama Tankı modüler prizmatik paslanmaz çelikten yapılmış malzeme olarak seçilmiştir. Depolama tankı hacmi genel su ihtiyacı hesaplandığında faydalı hacim hesabı yapılarak belirlenmiştir.

3.3.2. Oluk Sayısı ve Boru Çapı

Toplama sürecinde mevcut yapılarda oluk sistemi bulunmaktadır ve bazı eski yapılarda oluk sistemi bulunmamaktadır. Yeni inşa edilecek alanlar ve eski yapılarda yapılacak oluk sistemi inşaatı için ihtiyaç duyulacak boru çapı ve adet hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$Q_r = A \times r \times \phi$$

Kayseri İli için sanayide hektara düşen yağış miktarı 244 lt/s.hektar olarak kabul edilmiştir ve boşaltma faktörü 1,0 olarak seçilmiştir.

Buradan;

$$Q_r = 2,2 \text{ ha}^* \times 244 \text{ lt/s.ha} \times 1,0$$

$$Q_r = 536,8 \text{ lt/sn}$$

Yağmur suyu borusu adedi = 98 adet

$$\text{Düşey Yağmur Borusu Kesiti} = 536,8/98 = 5,47 \text{ lt/sn}$$

Buna göre,

Düşey Yağmur suyu borusu çapı = 125 mm olarak bulunur.

3.3.3. Ön Arıtma (Yaprak Tutucu)

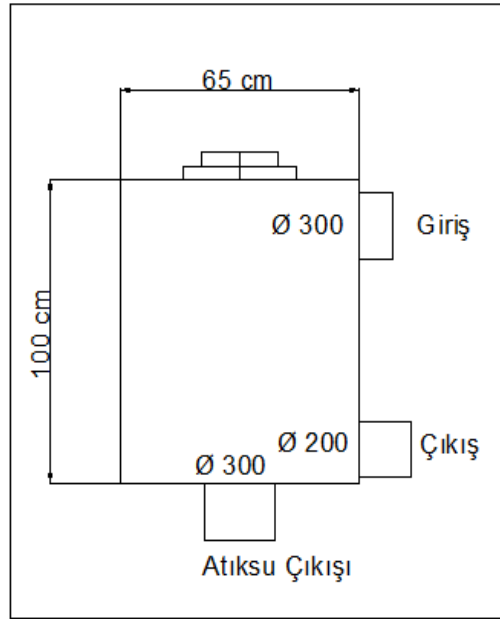
Çatı üzerinde bulunması muhtemel yaprak veya daha katı partiküllerin tutulması için yaprak tutucuya ihtiyaç duyulmaktadır. 22.000 m² kapalı alanda 98 adet oluk sistemi

olunduğu bilinmektedir ve alanlarda bulunan oluk sayısı ve birleşim sayıları aşağıda yer almaktadır.

Tablo 23. Yaprak Tutucu Sayısı

Yapı	Alan (m ²)	Oluk Sayısı (adet)	Birleşim Sayısı (adet)	Yaprak Tutucu Sayısı (adet)
Üretim Alanı-1	9.200	38	5	3
İdari Bina	850	4	1	1
Üretim Alanı-2	10.410	47	6	4
Güvenlik Binası	120	2	1	1
Hammadde Depolama Alanı	1.420	7	2	1
Toplam	22.000	98	15	10

Tablo 23' de görüldüğü üzere 10 adet yaprak tutucuya ihtiyaç vardır. Depolama işlemi zemin kotundan aşağıda yapılacağı için birleşim noktalarından zemine konumlandırılan sistemlerde yaprak ve iri maddelerin giderimi sağlanır. Bu işlem ile borularda, pompada ve arıtma ekipmanlarındaki tıkanmanın önüne geçilecektir.



Şekil 28.Vorteks Akımlı Yaprak Tutucu Filtre

10 adet yaprak filtre yeterli olacaktır. Filtrelenen su depolama tankına borular yardımıyla iletilecektir. İletim sonrası depolanan yağmur suyu santrifüj pompa kullanılarak sırası ile kum filtresi, aktif karbon filtresi, su yumuşatma ünitesi ve dezenfeksiyon işlemi yapılarak prizmatik paslanmaz çelik depolarda depolanacaktır.

3.3.4. Faydalı Hacim ve Depolama Hesabı

Genel su ihtiyacı hesabı yapılarak aylık toplam 2905,59 m³/ay su ihtiyacı olduğu hesaplanmıştır. Genel su gereksinimi ile yıllık yağmur suyu toplama verimi karşılaştırılıp faydalı depolama hacminin boyutlandırılması için kullanılacaktır. Belirlenen hacmin % 6'sı yeterli faydalı hacim olarak kabul edilecektir (DIN 1989-1:2001-10).

$$V_n = \text{Minimum } (BW_a \text{ veya } E_R) \times 0.06$$

Buradan,

Yıllık yağmur suyu verimine göre faydalı hacim

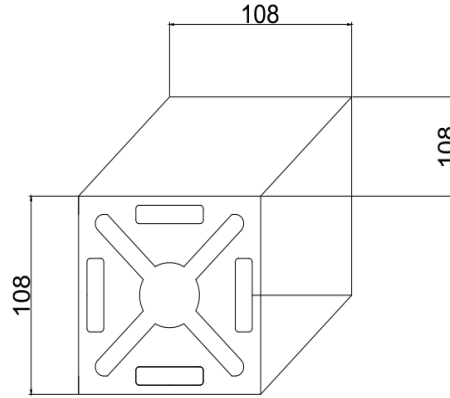
$$V_n = 6.514 \text{ m}^3 \times 0,06 = 390,84 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

Aylık genel su ihtiyacı 2905,59 m³ olduğu hesaplanmıştır. Yıllık tüketim yerine aylık tüketime bağlı olarak depolama tasarımı yapılmıştır. Buradan maksimum depolama alanı,

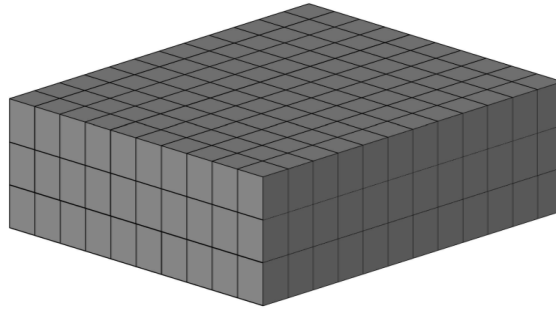
$$V_n = 2.905,59 \text{ m}^3 / \text{yıl} \times 0,06 = 174,33 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

174,33 m³ depolama hacmine sahip işletme, uygun arıtma ekipmanları ile hızlı ve verimli bir arıtma ile iç dağıtım şebekesine verilebilir. Depolama için prizmatik paslanmaz çelik depolar, depolama için seçilmiştir. Depo ölçüleri Şekil 30' da görüldüğü üzere 108x108x108 cm'dir. Buda deponun yaklaşık 1,26 metreküp su depoladığını göstermektedir.

174,33 m³ depolama için 138 adet depoya ihtiyaç duyulmaktadır. Prizmatik paslanmaz çelik depoların kurulumu ve işletimi kolaydır.



Şekil 30. Prizmatik Modüler Depo Ölçüleri



Şekil 31. Prizmatik Modüler Depo Yerleşimi

3.3.5. Pompa ve Dağıtım

Suyun daimi kullanılabilirliğini ve belirli bir alana iletmek için pompa sistemi kullanılmaktadır. Eğim kaynaklı cazibeli akışın olduğu durumlarda pompalamaya ihtiyaç yoktur. Yağmur suyu toplama tankları tank yüksekliğinde bulunan filtre sisteminden geçtikten sonra serbest akış ile tanklara dolacaktır. Tank zemin kotunun altında bulunan bodrum katına yerleştirilecektir. Arıtma sistemine pompa ile iletilen su daha sonra tesisin ihtiyaç olan alanlarına dağıtılması için ana dağıtım sistemine verilecektir. Bahçe sulama ve araç yıkama için ek arıtma sistemine ihtiyaç duyulmayacaktır.

Pompa seçiminde dikkat edilecek hususlar aşağıda sıralanmıştır.

- Enerji kullanımı
- Gürültü
- Kavitasyon oluşumu
- Sisteme istenmeyen hava girişleri

Tank içinde ve tank dışında pompa uygulamaları mümkün olup, tasarımda tank dışı santrifüj pompası kullanılacaktır.

Santrifüj pompa arıtma işlemi öncesi ihtiyaç duyulmaktadır ve yağmur suyu transfer hidroforunda kullanılacaktır. Arıtılan su kurulu halde bulunan kullanma suyu hidroforuna iletilecektir.

5 m yükseklikte bulunan ve 14 m genişliğinde bulunan prizmatik su depolarına yağmur suyu depolanacaktır. Depolama öncesi klorlama yapılacaktır. 5 metre yükseklikte bulunan, 12 mSS ve saatte 40 m³ su basma kapasitesi bulunan pompaya ihtiyaç duyulacaktır.

3.4. Yağmur Suyu Arıtımı ve Geri Ödeme Süresi

Yağmur suyu çatıdan toplanarak ön arıtma sonrası tanklarda depolanmaktadır. Depolama esnasında bakteriyel çoğalma veya koku problemleri oluşabilmektedir. Problemi önlemek adına dezenfeksiyon, filtrasyon veya ileri arıtma yöntemleri uygulanabilmektedir.

Arıtma işlemi suyun kalitesi için önem arz etmektedir. Soğutma kulesi, buhar kazanı için yumuşatılmış su ve üretimin konusuna bağlı olarak ek arıtma prosesleri gerekebilir. Tablo 25’de farklı uygulamalar için yapılabilecek arıtma yöntemleri sıralanmıştır.

Tablo 25. Yağmur Suyunun Bölümlere Göre Arıtılması

		Bitki ve Peyzaj Sulama	Sogutma Kulesi	Yangın Su Deposu	Üretim /Proses	İçme suyu	Buhar Kazanı	Araç Yıkama
Filtrasyon	Yaprak Tutucu	X	X	X	X	X	X	X
	Kum Tutucu		X	X		X	X	
	Aktif Karbon					X		
Yumuşatma	İyon Değişimi		X			X	X	
Dezenfeksiyon	Klor	X	X	X	X	X	X	X
	UV Sistem					X		

3.4.1. Malzeme ve Ekipman Fiyatı

Toplanan yağmur suyunun arıtımı için 40 m³/sa kapasiteli arıtma ekipmanları belirlenmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığının yayınlamış olduğu 2022/3 İnşaat ve Tesisat Birim fiyatları baz alınarak toplam maliyeti çıkarılmıştır. Tablo 26 ve Tablo 27’te malzeme ve ekipmanların yıllık işletme maliyeti, kullanılan kimyasallar ve bakım onarım dahil fiyatları yer almaktadır.

Toplam maliyet = **1.226.725,69 ₺**

Tablo 26. Ekipman Maliyet Tablosu

Ekipman	Montajlı Birim Fiyatı(₺)	Yıllık İşletme Maliyeti (₺)
Yaprak Tutucu	150.900,00	15.900
Tam Otomatik Multimedya Kum Filtresi	188.327,56	14.120
Aktif Karbon Filtresi	236.922,81	17.480
İyon Değişim Sistemi	224.227,80	9.810
UV	26.003,25	6.600
Otomatik Klor Dozaj Sistemi	141.090,55	11.550
Toplam	967.471,97	75.460
Genel Toplam	1.042.931,97 TL	

Tablo 27. Malzeme Maliyet Tablosu

	Adet	Montajlı Birim Maliyet (₺)	Keşif Toplam Maliyet (₺)
Prizmatik Paslanmaz Çelik Modüler Su Deposu	56	1.020,00	57.120,00
Santrifüj Pompa	2	63.366,86	126.673,72
Toplam		64.386,86	183.793,72

3.4.2. Geri Ödeme Süresi

Seramik üretimi yapan işletmenin 12 aylık su tüketimi ortalama 2903,59 m³'tür. 1 aylık ödeme tutarı Tablo 28'de yer almaktadır.

Tablo 28. Aylık Su Tüketim Bedeli

Malzeme/Hizmet Açıklaması	Miktar	Birim Fiyat(₺)	KDV Oranı	KDV Tutarı (₺)	Hizmet Tutarı(₺)
İşlenmiş Su Satışları	2.905,59 m ³	1,35	8%	313,8	4.236,35
Atık Su Arıtma Bedeli	2.905,59 m ³	0,75	18%	392,25	2.571,44
Hizmet Bedeli Gelirleri	1 m ²	994,67	-	-	994,67
Toplam					7.802,46

İşletme aylık olarak 7.802,46 TL su faturası ödemesi yapmaktadır. 12 aylık ödemeye bakıldığında bu rakam 93.629,52 TL'dir.

Bir önceki su tüketim birim fiyatı 1,09 TL'dir. Bu da % 23'lük bir artış olduğunu göstermektedir.

Tablo 29. Enflasyon Oranına Yıllara Göre Ödenecek Maliyet

Yıl	Ödenecek Yaklaşık Maliyet (₺)
1	115.164,3
2	141.652,1
3	174.232,1
4	214.305,5
5	263.595,8
6	324.222,8
Toplam	1.233.173

Tablo 29' da yıllara göre % 23'lük enflasyon artışına göre oluşacak maliyet hesaplanmıştır. Bu kapsamda herhangi bir kapasite artışı ve su tüketiminde değişiklik olmayacağı varsayılmıştır. 6 yıl sonunda kurulan sistemin kendini amorti edeceği görülmektedir.

Aynı tasarım ve sistemin Kocaeli ve Bursa şehirlerine kurulduğunu varsayalım. Bu şehirde sanayi bölgesine satılan suyun birim fiyatları aşağıda yer almaktadır.

Tablo 30. Kocaeli Sanayi Bölgesi 1 m³ Su Satış Tutarı [44]

Malzeme/Hizmet Açıklaması	Miktar	Birim Fiyat(₺)	KDV Oranı	Toplam (₺)
İşlenmiş Su Satışları	1 m ³	20,492	1,02	31,77
Atık Su Arıtma Bedeli	1 m ³	0,75	1,02	

Tablo 31. Bursa Sanayi Bölgesi 1 m³ Su Satış Tutarı [45]

Malzeme/Hizmet Açıklaması	Miktar	Birim Fiyat(₺)	KDV Oranı	Toplam (₺)
İşlenmiş Su Satışları	1 m ³	16,2	1	25,92
Atık Su Arıtma Bedeli	1 m ³	9,72	1	

Kocaeli ili için; aylık su tüketimi 2905,59 m³ olan işletmenin yıllık su harcama tutarı 1.107.727,132 TL'dir

Bursa ili için; aylık su tüketimi 2905,59 m³ olan işletmenin yıllık su harcama tutarı 903.754,71 TL'dir.

Toplam proje maliyeti 1.226.725,69 TL olan yağmur suyu toplama sisteminin tasarımının Kocaeli ve Bursa illerinde uygulanması haline sistemin 1,5 yıldan daha kısa sürede kendini amorti edeceği görülmektedir. Kayseri iline göre su maliyeti yüksek olan bu illerde bu sistemin kurulması ve hayat geçirilmesi önem arz etmektedir.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Tasarım planlaması, Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde bulunan seramik işletmesi için yapılmıştır. Maliyet hesaplamasında bu bölgede geçerli olan suyun m³ birim fiyatı ele alınmıştır. Aynı tasarım ve aynı çatı alanına sahip Kocaeli ve Bursa Organize Sanayi Bölgelerinde bulunan işletmeler için uygulanması halinde Geri Ödeme Süresi oldukça kısalmaktadır. Suyun m³ birim fiyatı Kocaeli ve Bursa illerinde, Kayseri iline göre daha pahalıdır.

Tasarımın, tüm işletmeler için uygulanması için, tek bir bölgede toplanabilceği gibi arıtma sonrası şebeke suyuna katkı sağlayabilme potansiyeli bulunmaktadır. Kayseri Organize Sanayi Bölgesinin, bazı alanlarında kurumuş sazlıklar yer almaktadır. Bütün işletmelerden gelecek olan yağmur suyu bu bölgede cazibe ile toplanabilmektedir. Toplanan yağmur suyu arıtılarak ana dağıtım şebekesine bağlanarak su tüketimine katkı sağlama potansiyeli mevcuttur. Ayrıca sazlık alanında toplanan yağmur suyu sazlığın su tutma kapasitesini artırarak mevcut su kaynakları korunabilecektir. Açık alanda depolanması halinde yağmur suyu buharlaşarak su toplama verimini olumsuz yönde etkileyebilme durumunda da söz edilebilir.

4.2. Sonuçlar

Yapılan çalışmada Kayseri ili pilot şehir seçilerek, şehirde bulunan Organize Sanayi Bölgesinde seramik üretimi konusunda faaliyet gösteren işletme için yağmur suyu toplama sisteminin tasarlanması hedef alınmıştır. Kayseri ili yıllık ortalama 389.6 mm yağış almaktadır. Galvaniz kaplı çatı üzerinden yağmur suyu toplama sistemi tasarlanmıştır ve toplanacak yağmur suyu için depolama hacmi belirlenmiştir. Galvaniz

kaplı metal çatı üzerinden toplanan yağmur suyu ve kar suyunun kimyasal özellikleri ve bazı gösterge parametreleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Türk Standartları Enstitüsü (TSE) 266 ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile karşılaştırılmıştır. Yağmur suyu ve kar suyunun sert su olduğu ve pH değerleri uygun değerler arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca yağmur suyunun renk değeri kar suyundan yüksek çıkmıştır.

Çalışma kapsamında. 22,000 m² çatı alanına sahip bir işletme için, DIN 1989-1:2001-10 formülleri kullanılarak yıllık 6,514 m³ yağmur suyu toplanacağı hesaplanmıştır. Toplanan su içme suyu, soğutma kulesi, yangın tesisat sistemi, proses suyu, buhar kazanı make-up suyu, araç yıkama, bahçe ve peyzaj sulaması için değerlendirilmiştir. Ortalama 12 aylık su tüketimi bilinen tesis için su tüketim alanları belirlenerek, aylık su tüketim hesaplamaları yapılmıştır. Yıllık ortalama 34.867,08 m³ su ihtiyacı olan işletme, yıllık 6.514 m³ yağmur suyu toplayarak su tüketimine yaklaşık %19 oranında katkı sağlayabileceği görülmüştür.

Arıtma sistemleri hakkında bilgi verilerek kullanılacak malzeme ve ekipmanların listesi çıkarılmıştır. İlk yatırım, işletme ve bakım maliyeti 1.226.725,69 TL'dir. Toplam su tüketimi için enflasyon artışları dikkate alınarak harcanacak maliyetin 1.233.173 TL olduğu bulunmuştur. Ana su şebekesine bağlanarak yardımcı kaynak olarak kullanılacak olan yağmur suyu toplama sistemi 6 yıldan kısa bir sürede geri ödeme süresini tamamlanacağı hesaplanmıştır.

KAYNAKÇA

1. Alim, M. A., Rahman A., Tao Z., Samali B., Khan, M. M., Shirin, S. 2020, Feasibility Analysis Of A Small-Scale Rainwater Harvesting System For Drinking Water Production At Werrington, New South Wales, Australia, **Journal Of Cleaner Production, Volume** 270, (122437)
2. Almeida , A.P., Liberalesso, T, Silva, C. M., Sousa, V., 2021, Dynamic Modelling Of Rainwater Harvesting With Green Roofs İn University Buildings, **Journal of Cleaner Production, Volume** 312, (1276559)
3. Sadia Rahman, M. T. R. Khan, Shatirah Akib, Nazli Bin Che Din, S. K. Biswas, and S. M. Shirazi, 2014, Sustainability of Rainwater Harvesting System in terms of Water Quality, **The Scientific World Journal, Volume**, 2014
4. Jung Eun Kim, Eng Xiang Teh, Daniel Humphrey, Jan Hofman, 2021, Optimal storage sizing for indoor arena rainwater harvesting: Hydraulic simulation and economic assessment, **Journal of Environmental Management** 280(8):111847
5. Fernando Chapa, Manuel Krauss, JochenHack, 2020, A Multi-Parameter Method To Quantify The Potential Of Roof Rainwater Harvesting At Regional Levels İn Areas With Limited Rainfall Data, **Resources, Conservation and Recycling, Volume** 161 (104959)
6. Manioğlu, G., N. İ., Şahin, 13/16 Nisan 2011, Binalarda Yağmur Suyunun Kullanılması, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir
7. Temizkan S., Tuna Kayılı, M, 2021, Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinde Optimum Depolama Yönteminin Belirlenmesi: Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi Örneği, **El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt** 8, No:14(102-116)
8. <https://www.mektank.com/9-yagmur-suyu-yer-alti-su-deposu-urun-detay> (Erişim:20.05.2021)
9. Guidance Toward A Sustainable Water Future, Rainwater Harvesting, **City Of Bellingham, Washington Volume** 1, 3.6.2012
10. Urban Water Harvesting and Reuse, Water Sensitive Urban Design Technical Manuel, Greater Adelaide Region, 2010, Chapter 8.

11. Janith Dissanayake, Mooyoung Han, 2021, The Effect Of Number Of Tanks On Water Quality İn Rainwater Harvesting Systems Under Sudden Contaminant Input, **Science of The Total Environment**, Volume 769, 144553
12. Keithley, S. E., Fakhreddine, S., Kerry A. K., Mary, J. K., 2018, Effect of Treatment on the Quality of Harvested Rainwater for Residential Systems, **Journal American Water Work Association**, 110, (17)
13. Jian Mao, Boyu Xia, Yun Zhou, Fan Bi, Xiaodong Zhang, Wei Zhang, Siqing Xia, 2021, Effect of roof materials and weather patterns on the quality of harvested rainwater in Shanghai, China, **Journal of Cleaner Production**, 279
14. Xaio Liu, Ren Zixiao, Ngo Huu Hao, He Xu, Desmond Peter, Ding An, 2021, Membrane technology for rainwater treatment and reuse: A mini review, **Water Cycle**, 2, (51-63)
15. Tankplast. (Web Sayfası: <https://tankplast.com/yagmur-suyu-gri-su-tanklari>), (Erişim tarihi: 24.07.2021)
16. Artımsan Su Arıtma. (Web Sayfası: <https://www.aritimsan.com>), (Erişim tarihi: 24.07.2021)
17. Kanat, A., 2014. Ultraviyole Işınları İle Suların Dezenfeksiyonu, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi
18. Dezenfeksiyon Teknik Tebliği
19. Kayseri Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. (Web Sayfası: <https://kayseri.csb.gov.tr/kayseri-hakkinda-i-768>), (Erişim 30.05.2021)
20. Kayseri İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (Web Sayfası: <https://kayseri.ktb.gov.tr>), (Erişim 30.05.2021)
21. Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi, T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü Ocak, 2016.
22. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi. (Web Sayfası: kayseriosb.org), (Erişim 13.06.2021)
23. Uyanık İ., Organize Sanayi Bölgesi Atıksuların Membranlı Arıtma Sistemleriyle Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ağustos, 2017
24. ISKI Yağmur Suyu Toplama ve Gri Su Geri Kazanım Hesap Raporu

25. DIN 1989-1:2001-10 Rainwater Harvesting Fundamentals
26. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (Web Sayfası: <https://www.mgm.gov.tr/>), (Erişim: 20.07.2021)
27. Indian Railways Enstitue Of Civil Engineering Pune 411001, October 2015
28. Yağmur Suyu Hesabı ve Boru Seçimi. (Web Sayfası: <https://www.tesisat.org/yagmur-suyu-hesabi.html>), (Erişim: 04.01.2022)
29. BS-8515:2019, Rainwater Harvesting Systems- Code Of Practice
30. Türkmen B, Santrifüj Pompalar, Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, 40. Sayı, Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki, Sayı 17
31. Pompa Seçimi Hesap Kataloğu. (Web Sayfası: www.kar-el.com.tr), (Erişim: 21.11.2022)
32. Yüksek, Ö., Anılan, T., Kankal, M., 2017, Hidrolik 2016-2017 Ders Notları
33. Borulama ve Hidrolik Hesaplar. (Web Sayfası: <https://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/boru.pdf>), (Erişim:10.01.2023)
34. Soğutma Kulesi. (Web Sayfası: <https://www.chiller.com.tr/>), (Erişim 26.10.2021)
35. Soğutma Kulesi. (Web Sayfası: <http://www.ensotek.com.tr/>), (Erişim: 26.10.2021)
36. GÖRGÜN G., 2010, Binalarda Yağmur Suyu ve Gri Suyun Kombine Kullanılmasına ait İki Örnek Proje, Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi 69. Sayı
37. Yangın Tesisatı Hesabı. (Web Sayfası: <https://www.enginmuh.com/yangin.html>), (Erişim: 27.10.2021)
38. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
39. Yangın Tesisatı Hesabı. (Web Sayfası: <https://www.trakyalaboratuvar.com.tr/yangin-suyu-deposu-hesabi-ve-periyodik-kontrolu>), (Erişim: 27.10.2021)
40. Kazan Besleme Suyu Hesabı. (Web Sayfası: <https://ekotekkazan.com.tr/>), (Erişim: 12.11.2021)
41. Kazan Besleme Suyu Hesabı. (Web Sayfası: <https://www.viraisi.com/>), (Erişim: 12.11.2021)
42. Kazan Besleme Suyu Hesabı. (Web Sayfası: <https://www.burkut.com.tr/>), (Erişim: 12.11.2021)

43. Meta Mühendislik Ürün Kataloğu. (Web Sayfası: <https://www.metamuhendislik.com/>), (Erişim: 01.09.2022)
44. İSU. (Web Sayfası: <https://www.isu.gov.tr/sufiyatlari/>), (Erişim: 04.01.2023)
45. BUSKİ. (Web Sayfası: <https://www.buski.gov.tr/AboneRehberi/>), (Erişim: 04.01.2023)



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Mustafa GEBEN
Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği	
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği	2018

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-Halen	Bilim Mühendislik Çevre Proje Merk. İnş. San. Tic. Ltd. Şti.	Çevre Mühendisi
2019-2021	Kılıçlar Çevre Dan. İnş. San. Tic. Ltd. Şti.	Çevre Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Geben, M., Uyanık İ. (2022) Yağmur Suyu Toplama Sisteminin Tasarımı, Arıtımı ve Farklı Uygulamalarda Yardımcı Kaynak Olarak Kullanılması; Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Pilot Çalışması, 2. International Anatolian Scientific Research Congress, ss 150-151