İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SUYA DUYARLI KENT UYGULAMALARI: İSTANBUL ATAKÖY ATIKSU TOPLAMA HAVZASI ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice KAPLAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Mühendisliği ve Yönetimi Programı

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SUYA DUYARLI KENT UYGULAMALARI: İSTANBUL ATAKÖY ATIKSU TOPLAMA HAVZASI ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice KAPLAN
(501081744)

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Fuat AYDIN

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501081744 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hatice KAPLAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"SUYA DUYARLI KENT UYGULAMALARI: İSTANBUL ATAKÖY ATIKSU TOPLAMA HAVZASI ÖRNEĞİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Ali Fuat AYDIN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Osman Atilla ARIKAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKÇI Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 15.06.2020
Savunma Tarihi : 22.07.2020

Anneme,

ÖNSÖZ

Tez çalışma dönemim boyunca bilgi birikimini benimle paylaşmasının yanı sıra her zaman hoşgörülü ve güler yüzlü tavrıyla tez sürecini yürütebilmemi sağlayan, kıymetli vaktini ayırmaktan imtina etmeyen danışman hocam Prof. Dr. Ali FUAT AYDIN'a ve her an yardıma açık olan, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Osman Atilla ARIKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Kızları olduğum için gurur duyduğum annem ve babama, özellikle en zor anlarında dahi beni düşünmeyi ihmal etmeyen annem Sermin'e, biricik oğlum Yusuf'a ve tüm aileme yanımda olup varlıklarını hissettirdikleri için sonsuz teşekkür ediyorum.

Haziran 2020

Hatice KAPLAN
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xvi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xviii**
ÖZET ..... **xx**
SUMMARY ..... **xxiv**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Amacı 2
1.2. Çalışmanın Kapsamı 2
2. SUYA DUYARLI KENT **3**
2.1. Suya Duyarlı Kent Hedefleri 3
2.2. Suya Duyarlı Kent Geçiş Çerçevesi 6
2.2.1. Su temini 6
2.2.2. Atıksu yönetimi 7
2.2.3. Sürdürülebilir yağmursuyu yönetimi-su yolları 9
2.2.3.1. Yeşil çatı ya da eko çatılar 11
2.2.3.2. Biyotutma alanları 14
2.2.3.3. Yağmursuyu bahçeleri 15
2.2.3.4. Doğal yağmursuyu drenaj sistemleri (yağmur hendekleri) 16
2.2.3.5. Ekolojik dere koridorları 17
2.2.3.6. Geçirimli yüzeyler 19
2.2.4. Su döngüsü 22
2.2.4.1. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı 22
2.2.4.2. Gri su 36
2.2.4.3. Yağmursuyu hasadı 41
2.2.5. En iyi uygulamalar 46
2.2.5.1. Dünyadaki uygulamalar 46
2.2.5.2. Türkiye'deki uygulamalar 58
3. ÖRNEK BİR HAVZANIN SUYA DUYARLI KENT OLABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI –ATAKÖY ATIKSU TOPLAMA HAVZASI **61**
3.1. Havzanın Tanıtılması 61
3.2. Ataköy İBAAT Çıkış Suyunun Endüstride Kullanılması 65
3.3. Ataköy İBAAT Çıkış Suyu ile Yeraltı Suyu Beslemesi 74
3.4. Esenler Askeri Bölge İBAAT Planlaması 75
3.5. Ataköy Havzası'nda Yağmursuyu Hasadı ve Gri Su Uygulamaları 78
3.6. Maliyet Analizi 83
3.6.1. Ataköy İBAAT çıkış suyunun endüstride kullanılması 87

3.6.2. Ataköy İBAAT çıkış suyu ile yeraltı suyu beslemesi 88
3.6.3. Esenler Askeri Bölge İBAAT planlaması 88
3.6.4. Ataköy Havzası'nda yağmursuyu hasadı ve gri su uygulamaları 89
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 91
KAYNAKLAR 95
EKLER 101
ÖZGEÇMİŞ 104

KISALTMALAR

ABC **:** Aktif, Güzel, Temiz
(Active, Beautiful, Clean)

ABD **:** Amerika Birleşik Devletleri

ABWWTP **:** İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi
(Advanced Biological Wastewater Treatment Plant)

AKM **:** Askıda Katı Madde

ASR **:** Akifer depolama ve iyileştirme
(Aquifer storage and recovery)

BOİ **:** Biyokimyasal oksijen ihtiyacı

BREEAM **:** Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Metodu
(Building Research Establishment (BRE) Environmental Assessment Method)

DGNB **:** Alman Sürdürülebilir Yapı Sertifikası
(Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen E.V.)

DIN **:** Alman Standardizasyon Enstitüsü
(Deutsches Institut für Normung)

ECOSAN **:** Ekolojik Sanitasyon

EN **:** Avrupa Standardı
(European Standard)

EPA **:** Çevre Koruma Ajansı
(Environmental Protection Agency)

İBAAT **:** İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

İSKİ **:** İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi

LEED **:** Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik
(Leadership in Energy and Environmental Design)

MBR **:** Membran Biyoreaktör

NF **:** Nanofiltrasyon

OSB **:** Organize Sanayi Bölgesi

PUB **:** Singapur Kamu Tesisleri Kurulu
(The Public Utilities Board)

SDŞ **:** Suya Duyarlı Şehir

SKKY **:** Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

TÇKM **:**Toplam Çözünmüş Katı Madde

TO **:**Ters osmoz

TUİK **:** Türkiye İstatistik Kurumu

UF **:** Ultrafiltrasyon

UV **:** Ultraviyole

WHO **:** Dünya Sağlık Örgütü
(World Health Organization)

ZoHo **:** Zomerhofkwartier

SEMBOLLER

^{0}C	**:** Santigrat derece
Ca^{+2}	: Kalsiyum
Cl^{-}	: Klor
CO_2	**:** Karbondioksit
Cu^{+2}	: Bakır
$Fe^{+2,+3}$	: Demir
ha	: Hektar
HCO_3^{-}	: Bikarbonat
H_2O_2	**:** Hidrojenperoksit
L	: Litre
Mg^{2+}	: Magnezyum
Mn^{2+}	: Mangan
mm	: Milimetre
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
NO_3^{-}	: Nitrat
pH	**:** Asit-baz aralığı
$Si0_2$	: Silisyumdioksit
SO_4^{2-}	: Sülfat

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Klorlama, ozonlama ve UV ile dezenfeksiyonun, bakteri, protozoa ve virüslere olan etkisi [5]. **23**
Çizelge 2.2 : Yunanistan, İspanya, Avustralya ve Türkiye'de atıksuların yeniden kullanım kriterleri [31]. **25**
Çizelge 2.3 : Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu sınıfı özellikleri [5]. **26**
Çizelge 2.4 : Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler [6]. **27**
Çizelge 2.5 : Atıksu geri kazanım maksadı ve uygulanabilecek arıtma sistemleri. [6]..... **27**
Çizelge 2.6 : İmalat sanayi su göstergeleri (2004 – 2018) [34]. **29**
Çizelge 2.7 : Sanayi gruplarına göre tüketilen suyun oransal dağılımı (%)[35]..... **30**
Çizelge 2.8 : Florida ve Kaliforniya geri kazanılmış su kalite verileri [39]. **31**
Çizelge 2.9 : Farklı endüstriler için proses suyu kalite standartları [39]. **33**
Çizelge 2.10 : Avustralya, Berlin ve WHO sifon suyu limitleri [50]. **39**
Çizelge 2.11 : Yağmursuyu arıtma yöntemleri [49]. **42**
Çizelge 2.12 : ABC Sular Programı'nın açılımı [60]. **46**
Çizelge 2.13 : A sınıfı su kalite kriterleri [5]. **59**
Çizelge 3.1 : Tesisin kapasite bilgileri [77]. **64**
Çizelge 3.2 : Endüstriyel atıksuyu olan firmaların atıksu debileri [78]. **65**
Çizelge 3.3 : Ataköy Havzası'nda mor şebeke suyu kullanabilecek endüstriyel tesisler ve debileri [78]. **67**
Çizelge 3.4 : Arıtılmış atıksu kullanılması halinde endüstrilerin elde edebileceği yıllık tasarruf miktarları (₺). **70**
Çizelge 3.5 : Planlanan mor şebeke çap ve metrajları. **72**
Çizelge 3.6 : Yük kaybı hesabı. **73**
Çizelge 3.7 : 2017 yılına ait aylık yağış miktarları (mm) [82]. **81**
Çizelge 3.8 : İstanbul ili için yıllara göre brüt kişi başı günlük su tüketimleri [83]. **81**
Çizelge 3.9 : Nüfus ve yıllık su tüketim miktarları -1. ..... **81**
Çizelge 3.10 : Nüfus ve yıllık su tüketim miktarları -2. ..... **82**
Çizelge 3.11 : Yağmursuyu hasat miktarı. **82**
Çizelge 3.12 : Sifon suyu olarak kullanılabilecek yağmursuyu miktarı. **83**
Çizelge 3.13 : Boru ve tünel birim fiyatları [84-86]. **84**
Çizelge 3.14 : Pompa ve yaprak filtre birim fiyatları [87,89]..... **85**
Çizelge 3.15 : Arıtma birim fiyatları [45,79]. **85**
Çizelge 3.16 : Su deposu birim fiyatları [90]..... **86**
Çizelge 3.17 : Boru ve pompa maliyet bilgileri. **87**
Çizelge 3.18 : Arıtma maliyeti. **88**
Çizelge 3.19 : Başakşehir ve Tavukçu atıksu tünel maliyetleri. **89**
Çizelge 3.20 : Arıtma maliyeti (₺). **89**
Çizelge 3.21 : Depolama ve pompa maliyeti (₺). **89**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Suya duyarlı kent hedefleri [2]. **4**
Şekil 2.2 : Kentsel su yönetimi geçişleri çerçevesi [1]. **6**
Şekil 2.3 : Şehirleşme öncesi ve sonrası hidrolojik döngü [9]..... **9**
Şekil 2.4 : a) Şehirleşme öncesi b) şehirleşme sonrası taşkın yatağının durumu (Schueler, 1987'den uyarlanmıştır) [8]. **10**
Şekil 2.5 : İstanbul Küçükçekmece Belediye Hizmet Binası [13]..... **13**
Şekil 2.6 : Rotterdam Dakpark Alışveriş Merkezi [14, 15]. **13**
Şekil 2.7 : Biyotutma havuzu en kesiti [17]..... **14**
Şekil 2.8 : Örnek yağmur bahçesi [18]. **16**
Şekil 2.9 : Yağmur bahçelerinde su çevrimi [9]. **16**
Şekil 2.10 : Kuru yağmur hendeği enkesiti [8]. **17**
Şekil 2.11 : Ayamama Deresi planlanan ekolojik dere koridoru [20]. **18**
Şekil 2.12 : Cendere Deresi planlanan ekolojik dere koridoru [21]. **19**
Şekil 2.13 : Dere kenar yapıları [21]..... **19**
Şekil 2.14 : Geçirimli kaldırım en kesiti [22]. **20**
Şekil 2.15 : Rotterdam yaşayan kaldırımlar [23]. **20**
Şekil 2.16 : Geçirimli yüzey örneği [24]**.** **21**
Şekil 2.17 : Şiddetli yağış sonrası sel görüntüleri [26]. **21**
Şekil 2.18 : Suyun yeniden kullanım alternatifleri [29]..... **28**
Şekil 2.19 : Akifer beslemede kullanılan yöntemlerin şematik gösterimi (a) sızdırma, (b) doğrudan enjeksiyon [44]. **34**
Şekil 2.20 : Gri su geri kazanım sistemi [52]. **38**
Şekil 2.21 : Gri su arıtılmasında kullanılabilecek biyolojik arıtma **y**öntemleri[48]. . **39**
Şekil 2.22 : Yağmur suyu- gri su geri kazanımı ve dağıtımı şematik gösterimi [52].**40**
Şekil 2.23 : Yaprak tutucu ve oluk filtreler [54]. **41**
Şekil 2.24 : Çatı yüzeyinden yağmursuyu hasadı [55]. **42**
Şekil 2.25: Yağmursuyunun tekrar kullanımının şematik gösterimi, Su Bulvarları, Londra [57]. **43**
Şekil 2.26 : Yağmursuyu hasadı örnek tip kesit [58]..... **43**
Şekil 2.27 : Çatı izdüşüm alanı örnekleri [59]. **45**
Şekil 2.28 : ABC Sular Programı ile yileştirilen Bishan-Ang Mo Kio Park [61]..... **48**
Şekil 2.29 : Rotterdam İklim Uyum Stratejisi prensipleri [23]..... **49**
Şekil 2.30 : Water square**,** Benthemplein [23]. **50**
Şekil 2.31 : Yağmur duvarları [23]. **50**
Şekil 2.32 : Polder çatı**,**Vesteda – De Boel, Amsterdam [65]. **51**
Şekil 2.33 : Üç yönlü taşkın önleme stratejisi [66]. **52**
Şekil 2.34 : Mechelen, Dijle Nehri [67]..... **53**
Şekil 2.35 : Ağaç çukuru kesiti [68]. **53**
Şekil 2.36 : G-CANS Proje haritası [69]. **54**
Şekil 2.37 : G-CANS Projesi'ne ait şematik görünüm [64]. **55**
Şekil 2.38 : NEWater kullanılmış su arıtma şeması [70]..... **55**

Şekil 2.39 : NEWater tesisi ve elde edilen içme suyu [71,72]. **56**
Şekil 2.40 : Paşaköy İBAAT çıkışı mor şebeke hattı [77]..... **58**
Şekil 3.1 : Ataköy Atıksu Toplama Havzası'nın İstanbul'daki diğer atıksu toplama havzaları içerisindeki konumu. **61**
Şekil 3.2 : Ataköy Atıksu Toplama Havzası ve atıksu ana kolektörleri. **62**
Şekil 3.3 : Ataköy İBAAT konumu. **63**
Şekil 3.4 : Ataköy İBAAT genel görünümü [77]. **63**
Şekil 3.5 : Ataköy İBAAT proses akış şeması [77]. **64**
Şekil 3.6 : Geri kazanım ünitesi akım şeması [77]. **66**
Şekil 3.7 : Geri kazanım suyunun iletileceği endüstriyel tesisler ve planlanan mor şebeke hattı. **68**
Şekil 3.8 : Arıtılmış evsel/kentsel atıksu kaynağından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanım karar ağacı [32]. **69**
Şekil 3.9 : Mevcut ve planlanan arıtmalar ile planlanan atıksu tüneli [79]. **76**
Şekil 3.10 : Esenler Askeri Bölge'de planlanan İBAAT ile İkitelli OSB konumu ve vaziyet planı [80]. **77**
Şekil 3.11 : Başakşehir Tarabya Sitesi. **78**
Şekil 3.12 : Bakırköy Koru Florya Sitesi. **79**
Şekil 3.13 : İSTOÇ Ticaret Merkezi. **80**

SUYA DUYARLI KENT UYGULAMALARI: İSTANBUL ATAKÖY ATIKSU TOPLAMA HAVZASI ÖRNEĞİ

ÖZET

Su, korunarak gelecek nesillere aktarılması gereken ancak her geçen gün tüketim miktarı artan en önemli doğal kaynağımızdır. Özellikle kentlerde hızla artan nüfus ve iklim değişikliğinin etkileri, su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmakta ve sürdürülebilirliğin önündeki en büyük risk olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ayrıca yoğun kentleşmenin beraberinde getirdiği geçirimsiz yüzeyler, yağmursularının yeraltına sızamadan yüzeysel akışa geçmesine, dolayısıyla taşkın hadiselerinin yaşanmasına sebep olmaktadır.

Bu sebeplerle günümüz koşullarında mevcut kaynakların etkin kullanımıyla güvenli su temininin sağlandığı, atıksuların çevreye ve halk sağlığına zarar vermeden uzaklaştırıldığı, konvansiyonel yağmursuyu sistemlerinin uygulandığı kentsel su yönetim anlayışı yetersiz kalmaya başlamıştır.

İklim değişikliğinin olası risklerine karşı kentsel altyapı direncinin artırıldığı, doğaya uyum sağlayan yöntemler ile su döngüsünün sürekliliğinin sağlandığı, daha yeşil ve daha yaşanabilir bir kentsel su yönetimi yaklaşımı arayışı neticesinde Avustralya kent yetkilileri tarafından "*Suya Duyarlı Kent*" kavramı geliştirilmiştir.

Bu tez kapsamında Suya Duyarlı Kent çerçevesinde ulaşılmak istenen hedeflerden, ulusal ve uluslararası uygulamalardan bahsedilmiştir.

Sürdürülebilir yağmursuyu yönetim sistemlerinin (yeşil çatılar, yağmur bahçeleri, yağmursuyu hendekleri, ekolojik dere koridorları, geçirimli yüzeyler) özellikle iklim değişikliği etkilerine direnç noktasında kentler için sağladığı faydalar üzerinde durulmuştur.

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanım kriterleri ve kullanım amacına yönelik uygulanacak arıtma teknolojilerinin seçimi konularında ulusal ve uluslararası mevzuat değerlendirilmiştir.

Ülkemizde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımını düzenleyecek yasal mevzuatın hazırlanıp yürürlüğe konulması gerektiği vurgulanmıştır. Türkiye'de sulamada yeniden kullanılacak arıtılmış atıksularda aranan özelliklerin Dünya Sağlık Örgütü Standartları ile uyumlu olarak "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği"nde yer aldığı ancak diğer kullanımlar için ulusal herhangi bir standart bulunmadığı belirtilmiştir. Amerika ve gelişmiş Avrupa ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de arıtılmış suyun ne amaçla kullanılacağı hususunun belirlenmesinin bir an önce yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Dünya genelinde kullanılan suyun %18'inin sanayide tüketildiği göz önünde bulundurulduğunda arıtılmış atıksuların farklı proseslerde soğutma suyu olarak kullanılabilirliğinin önemi anlaşılmaktadır.

Bu sebeple geri kazanılmış suların özellikle endüstrilerde soğutma suyu olarak kullanımında, elverişli su kalitesinin hangi arıtma sistemleri ile elde edileceği araştırılmış olup ikincil arıtma ile filtrasyon ve dezenfeksiyon proseslerinin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak potansiyel insan teması göz önünde bulundurulduğunda nanofiltrasyon, ters osmoz, iyon değiştirici ve karbon adsorbsiyonu gibi ileri artım teknolojilerinin uygulanmasının gerekebileceği unutmamalıdır.

Ayrıca toprağın arıtma özelliğinden faydalanıldığı, kentsel alanlarda büyük hacimli su depolama kapasitesi sağlanarak suya duyarlı kentsel tasarım, entegre kaynak yönetimi, sürdürülebilir drenaj sistemleri ve yeşil altyapı hedeflerine ulaşılmasında önemli bir yere sahip olan akifer besleme yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Sürdürülebilir yağmursuyu yöntemleri, arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ve akifer depolama sistemlerinin uluslararası ölçekteki en iyi uygulamaları incelenmiştir. Ayrıca ulusal düzeyde yapılan çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Suya Duyarlı kent olma yolunda atılabilecek adımlardan biri olan, yağmursuyu, gri su ve arıtılmış atıksu kullanımı ile doğal kaynakların korunarak sürdürülebilirliğin sağlanmasını esas alan, su döngüsü uygulamaları "İstanbul Ataköy Atıksu Toplama Havzası" üzerinden örneklendirilmiştir.

Arıtılmış atıksuların endüstrilerde kullanılabilme olanağı iki seçenek üzerinden değerlendirmiştir. İlk seçenekte mevcut Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi geri kazanım ünitesinden çıkan arıtılmış atıksuların, aynı havza içerisinde muhtelif konumlarda faaliyet gösteren endüstrilere proses ve/veya soğutma suyu olarak kullanılmak üzere basınçlı hatlarla iletilmesinin fayda maliyet analizi yapılmıştır.

Arıtılmış atıksuların bu çalışmaya konu olan 13 adet endüstriyel tesiste soğutma suyu/kazan suyu olarak kullanılması halinde elde edilebilecek tasarruf miktarının sistemin yatırım maliyetini 5 yılda geri ödeyebileceği sonucuna varılmıştır.

İkinci seçenekte ise havza içerisinde bir ileri atıksu arıtma tesisi planlanması halinde tesis çıkış sularının; metal kaplama, tekstil, plastik vb. sanayi kolları başta olmak üzere 37 kooperatiften 35'inin aktif olarak faaliyet gösterdiği İkitelli Organize Sanayi Bölgesi'ne basınçlı hatlar vasıtasıyla iletilerek proses ve/veya soğutma suyu olarak endüstrilerde yeniden kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Öncelikle bölgede İSKİ tarafından yeni bir arıtma tesisi planlanmasının sebebi; bölgedeki dere ana toplayıcı hatları kapasitesinin artan nüfus karşısında yetersiz kalması ve atıksuların bir kısmının atıksu tüneli vasıtasıyla söz konusu arıtma tesisine yönlendirilmek istenmesidir.

Ayrıca, Kanalistanbul projesinin uygulamaya geçirilmesi halinde iptal edilecek olan Küçükçekmece Ön Arıtma Tesisi Havzası atıksularının bir kısmı Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'ne iletilmek zorunda kalacak, bu durum da mevcut arıtma tesisinin kapasitesini zorlayacaktır. Bu durumda yine Başakşehir bölgesinin atıksularının toplanarak atıksu tüneli ile Esenler Askeri Bölgesi'nde planlanacak olan atıksu arıtma tesisine mansaplanması ve Ataköy İBAAT'ın yükünün azaltılması hedeflenmektedir.

Bu çalışma ile hem Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'ne iletilen debi ve yükün azaltılması hem de arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasıyla sürdürülebilirliğe katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Aynı zamanda Ataköy İBAAT geri kazanım ünitesinden çıkan arıtılmış atıksuyun, ilave ters osmoz işlemine tabi tutulduktan sonra bölgedeki yeraltı suyunun beslenmesi amacıyla kullanılabilirliği üzerinde durulmuş ancak sistemin yüksek işletme maliyetlerini de beraberinde getirdiği görülmüştür.

Başakşehir ve Bakırköy ilçelerinde örnek alınan iki site ile Bağcılar ilçesindeki bir ticaret merkezinin (İSTOÇ) çatı sularının toplanarak yeniden kullanımı yoluyla elde edilebilecek ekonomik/çevresel tasarrufların tespitleri ve kıyaslamaları yapılmıştır.

Yağmursuyu ve gri su uygulamaları ile ilgili bu çalışmaya konu olan üç örnek bölgeden bir yılda toplanabilecek yağmursuyu ile ortalama günlük 835.916 kişinin kullanma suyu ihtiyacının karşılanabileceği görülmüştür. Söz konusu uygulamalar ile su tasarrufundan elde edilecek kazanç ile sistemin kurulabilmesi için gereken yatırım maliyeti kıyaslandığında kısa vadede ekonomik ve sürdürülebilir faydalar sağladığı sonucuna varılmıştır.

Ayrıca, "Suya Duyarlı Kent" yönetiminin nihai hedefi olan nesiller arası eşitlik ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığın tesis edilmesinde; entegre havza yönetimi anlayışının, mevcut su dağıtım tesislerinin akılı şebekelerle yönetilmesinin, kayıp ve kaçakların azaltılarak su kaynaklarının verimli kullanımının, kontrolsüz yeraltı suyu çekilmesinin önlenmesinin, geçirimli yüzeylerin artırılarak sel ve su baskınlarının önüne geçilmesinin, yağmursuyu hasadı, gri su, mor şebeke uygulamaları ile suyun tekrar tekrar kullanımının sağlanmasının önemi vurgulanmıştır.

Netice itibariyle, tek elden su döngüsünü yöneterek mavi ile yeşilin bütünleştiği, insanların beton kanallarla sudan uzak tutulduğu değil de suyla temas ettiği, yağmursuyu depoları ve gri su kullanımı ile sudan tasarruf edilirken peyzaj özelliğinden, estetik değerinden faydalanıldığı "Suya Duyarlı" bir yönetim stratejisine geçilmesi gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır.

Suya duyarlı şehirler günümüzde henüz mevcut olmamakla birlikte dünyanın birçok ülkesinde stratejik amaç olarak su yönetim sürecine dahil edilmektedir. Örneğin Singapur'da suya duyarlılığı arttırmak için NEWater, Singapur ABC gibi birtakım programlar geliştirilmekte olup ülkemizde de özellikle İstanbul gibi büyük kentlerimizde Suya duyalı kent olma yolunda adımların atılmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

WATER SENSITIVE CITY PRACTICES:
İSTANBUL ATAKÖY WASTEWATER COLLECTION CATCHMENT EXAMPLE

SUMMARY

Water is our most important natural resource, which must be preserved and transferred to future generations, but the amount of consumption is increasing day by day. Especially in cities, the rapidly increasing population and the effects of climate change increase the pressure on water resources and emerge as the biggest risk to sustainability.

In addition, impermeable surfaces, together with intense urbanization, cause rainwater to pass to the surface flow without leaking underground, and thus, flooding events occur.

For these reasons, in today's conditions, the understanding of urban water management, in which safe water is provided with the effective use of existing resources, wastewater is removed without harming the environment and public health, and conventional rainwater systems are applied, has become inadequate.

As a result of the search for a greener and more livable urban water management approach, in which the resistance of urban infrastructure against the possible risks of climate change is increased, the water cycle is ensured with methods that adapt to nature, the concept of "Water Sensitive City" has been developed by Australian city authorities.

Within the scope of this thesis, the objectives, national and international practices, which are desired to be reached within the framework of the Water Sensitive City, are mentioned.

The benefits of sustainable rainwater management systems (green roofs, rain gardens, rainwater swales, ecological corridors for the rivers, permeable surfaces) for cities, especially at the point of resistance to the effects of climate change, were emphasized.

National and international legislation on reuse criteria of treated wastewater and selection of treatment technologies to be applied for the purpose of use were evaluated.

It was emphasized that the legal legislation that will regulate the reuse of treated wastewater in our country should be prepared and put into effect.

The characteristics of the treated wastewater will be reused for irrigation in Turkey in accordance with World Health Organization standards "Wastewater Treatment Plant Technical Procedures Notification" was mentioned in n.However, it is stated that there is no national standard for other uses.

It was emphasized that determining the purpose of using treated water in our country, as in America and developed European countries, should be done as soon as possible.

Considering that 18% of the water used in the world is consumed in the industry, the importance of the use of treated wastewater as cooling water in different processes is understood.

For this reason, it has been researched with which treatment systems the recycled water will be used as cooling water, especially in industries, and it has been concluded that secondary treatment and filtration and disinfection processes are sufficient. However, considering the potential human contact, advanced treatment technologies such as nanofiltration, reverse osmosis, ion exchangers and carbon adsorption may need to be applied.

In addition, water-sensitive urban design, integrated resource management, sustainable drainage systems and groundwater recharging methods, which have an important place in achieving the goals of green infrastructure, are emphasized by providing large-volume water storage capacity in urban areas where the purification feature of the soil is used.

Sustainable stormwater methods, reuse of treated wastewater, and international best practices of aquifer storage systems have been studied. In addition, examples from national studies are given.

Water cycle practices, which are one of the steps that can be taken towards becoming a water sensitive city, based on ensuring sustainability by protecting natural resources with the use of rainwater, gray water and treated wastewater, are exemplified through the “Istanbul Ataköy Wastewater Collection Catchment”.

The possibility of using treated wastewater in industries has been evaluated through two alternatives. In the first option, benefit cost analysis was carried out to deliver the treated wastewater from the Ataköy Advanced Biological Wastewater Treatment Plant (ABWWTP) recycling unit to pressured lines to be used as process and / or cooling water to industries operating in various locations within the same catchment.

It was concluded that the amount of savings that can be achieved if the treated wastewater is used as cooling water / boiler water in 13 industrial plants subject to this study can pay back the investment cost of the system in 5 years.

In the second option, if an advanced wastewater treatment plant is planned within the catchment, the plant outlet waters; metal plating, textile, plastic etc. Reusability in industries as process and / or cooling water has been evaluated by transmitting it via pressurized pipes to İkitelli Organized Industrial Zone, where 35 of 37 cooperatives, especially in industrial branches, are active.

First of all, the reason why a new treatment plant is planned by ISKI in the region; The capacity of the stream main collector pipes in the region is insufficient in the face of the increasing population and some of the wastewater is wanted to be directed to the treatment plant through the wastewater tunnel.

In addition, some of the wastewater of the Küçükçekmece Pre-Treatment Plant, which will be canceled in case the Kanalistanbul Project is put into practice, will have to be delivered to the Ataköy ABWWTP, which will strain the capacity of the existing treatment facility. In this case, it is aimed to collect the wastewater of the Başakşehir region and downstream the wastewater treatment plant to be planned in the Esenler Military District and to reduce the load of Ataköy ABWWTP.

With this study, it is aimed to contribute to sustainability by both reducing the flow and load transmitted to Ataköy ABWWTP and reuse of treated wastewater.

At the same time, the usability of the treated wastewater from the Ataköy ABWWTP recovery unit to groundwater recharging in the region after subjecting it to additional reverse osmosis was emphasized, but it was observed that the system brought high operating costs.

The economic and environmental savings that can be achieved through the collection and reuse of roof waters of a commercial center (İSTOÇ) in Bağcılar district and two sites, which were taken as examples in Başakşehir and Bakırköy districts, were determined and compared.

It has been observed that the daily water need of 835,916 people can be met by rainwater that can be collected in one year from the three sample regions subject to this study on rainwater and gray water applications. Comparing the income from water savings with these practices and the investment cost required to establish the system, it is concluded that they provide economic and sustainable benefits in the short term.

In addition, in the establishment of intergenerational equality and resilience against climate change, which is the ultimate goal of the "Water Sensitive City" management; the importance of integrated watershed management approach, managing the existing water distribution facilities with smart grids, reducing the losses and leakages, efficient use of water resources, preventing uncontrolled use of groundwater, preventing flooding by increasing the permeable surfaces, reusing of water by stormwater harvesting, gray water, purple network applications was emphasized.

As a result, the transition to a "Water Sensitive" management strategy, in which the blue and green are integrated by managing the water cycle from a single source, where people are not kept away from water with concrete channels, but where people are in contact with water, rainwater tanks and gray water are used to save water while benefiting from the landscape feature and aesthetic value. It becomes more and more important as it goes on.

Although water sensitive cities do not exist today, they are included in the water management process as a strategic goal in many countries of the world. For example, in Singapore, some programs such as NEWater, Singapore ABC are being developed in order to increase the sensitivity to water, and the necessity of taking steps towards becoming a city that is sensitive to water is emphasized in our country, especially in our big cities such as Istanbul.

1. GİRİŞ

Günümüzde, dünya nüfusunun yarısından fazlası kentlerde ve kent merkezlerinde yaşamaktadır. Ancak hızlı nüfus artışı, altyapı hizmetlerinin yetersizliği, geçirimsiz yüzeylerin artması gibi faktörlerin yanı sıra iklim değişikliği de kentlerin yeni risklere (kuraklık, sel ve taşkın hadiseleri) maruz kalmasına neden olabilmekte ve kentleri bu doğal kaynaklı etkiler karşısında savunmasız bırakabilmektedir. Kentlerin, gerçekleşmesi muhtemel riskler karşısında dayanıklılık göstererek bu risklere uyum sağlama kapasitesini geliştirmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda sürdürülebilir ve dirençli kentler inşa etmek amacıyla sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri ve suya duyarlı kentsel tasarım gibi çeşitli kavramlar ortaya çıkmaktadır.

Artan kentleşme neticesinde yüzeysel akışa geçen yağmursuyu miktarında meydana gelen artış, sel ve taşkın olaylarının yaşanmasına neden olmaktadır. Konvansiyonel altyapı sistemlerinde yağmursularına atıksu muamelesi yapılarak ortamdan en hızlı şekilde uzaklaştırılması ve alıcı ortama deşarj edilmesi hedeflenirken sürdürülebilir drenaj sistemlerinde doğaya uyum sağlayan yöntemler ile su döngüsünün sürekliliği sağlanmakta, daha yeşil, kentsel ısı adası etkisinden uzak, daha yaşanabilir kentler tasarlanması hedeflenmektedir.

Ayrıca gün geçtikçe azalmakta olan su kaynaklarının korunarak gelecek nesillere aktarılabilmesi için atıksu dahil olmak üzere her türlü kaynağın değerlendirilmesi gerekmekte olup entegre/bütünleşik su yönetimine geçiş sağlanmalıdır.

Suya duyarlı kent yaklaşımında sürdürülebilir su, atıksu yağmursuyu yönetiminin sağlanmasına ilave olarak arıtılmış atıksuların tekrar kullanılması ve nihayetinde iklim değişikliğine karşı dayanıklılığın/direncin artırılması hedeflenmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, suya duyarlı şehir olma yolunda atılacak adımlara odaklanarak kentsel bir alan örneği üzerinden alternatif su kaynaklarının kullanılabileceği uygulamaların değerlendirmesini yapmaktır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Bu tez kapsamında öncelikle 'Suya Duyarlı Kent' kavramının tanımı yapılmıştır. Suya Duyarlı Kent'e geçiş çerçevesinde atılması gereken adımlar incelemiştir. Bu doğrultuda su temini ve atıksuların uzaklaştırılması gibi temel hizmetlerin yanı sıra sürdürülebilir yağmursuyu ve geri kazanım yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Sürdürülebilir yağmursuyu yönetimi, gri su kullanımı, yağmursuyu hasadı, arıtılmış atıksuların tekrar kullanımı gibi uygulamaların uluslararası ve ulusal ölçekteki örnekleri araştırılmıştır.

Mevcut araştırmaların uygulanabilmesi için kentsel alan örneği olarak "Ataköy Atıksu Toplama Havzası" seçilmiştir. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ve yağmursuyu hasadı uygulamalarına ilişkin alternatifler değerlendirilmiş, fayda maliyet analizleri yapılmıştır.

2. SUYA DUYARLI KENT

2.1. Suya Duyarlı Kent Hedefleri

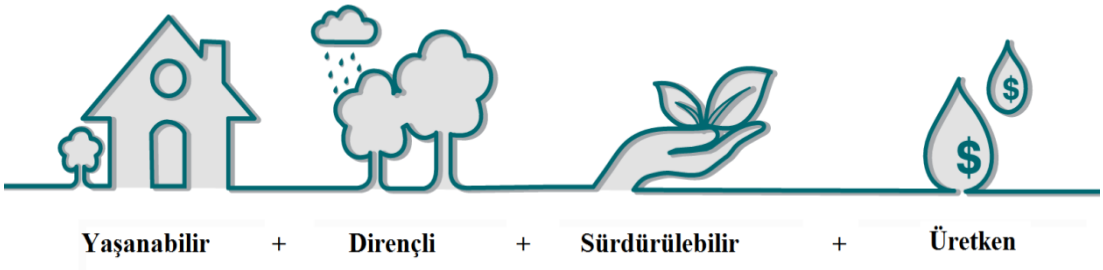
Avustralya kent yetkilileri tarafından geliştirilen "suya duyarlı şehir" kavramı; içmesuyu, atıksu ve yağmursuyunun ayrı mecralarda yönetildiği geleneksel su hizmeti yaklaşımından önemli oranda farklılık göstermekte olup yenilikçi altyapı, planlama ve yönetişim çözümlerini bir araya getirmektedir.

Entegre su yönetimi ile benzerlik gösteren Suya Duyarlı Şehir (SDŞ), kente sağlanacak su hizmetlerinde sürekliliği temin ederek sağlıklı bir geleceği güvence altına almayı ve kent genelinde farkındalık yaratarak tüm su kaynaklarını bütünleşik, kapsayıcı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetmeyi amaçlayan bir kavramdır. Bu kavram ile kentin yalnızca su ihtiyacının karşılanması değil kamusal alan tasarımı ve kent peyzajının entegre su yönetimi stratejileriyle bir araya getirilmesi hedeflenmektedir.

Kentsel tasarıma *'suya duyarlılık'* kazandıran SDŞ kavramı, disiplinler arası bir yaklaşımla kentsel alanlardaki su ortamlarının korunduğu ve toplumun aktif katılım sağladığı sürdürülebilir şehirlere doğru atılmış bir adım olarak da tanımlanabilmektedir [1].

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere suya duyarlı bir kentin taşıması gereken 4 özellik vardır:

- Kentsel alanları daha yaşanabilir ortamlar haline getirerek daha yüksek yaşam kalitesi sağlamak (içme suyu, çevre sağlığı, halk sağlığı vb.)- ***yaşanabilirlik***
- Kentsel su sistemini, giderek artan aşırı iklim modellerinin getirdiği "şoklar"a direnebilecek kadar dayanıklı hale getirmek- ***dirençlilik***
- Kentin sosyal, ekolojik ve ekonomik koşullarının temiz su kaynaklarına erişimini mümkün kılmak – ***sürdürülebilirlik***
- Suyla ilgili faaliyetlerden doğrudan veya dolaylı olarak ekonomik değer üretebilmek- ***üretkenlik***



Şekil 2.1 : Suya duyarlı kent hedefleri [2].

Hızla artan nüfus, yoğun kentleşme ve su kaynaklarının yetersizliği gibi koşullar kent yetkililerini yenilikçi çözümler sunmak zorunda bırakmaktadır. Bu durumda; kent sınırları içerinde bulunan yeraltı suyu, kentsel yağmur suyu, yağmur suyu (çatı akışı), arıtılmış atıksu gibi çeşitli su kaynakları ve altyapısı etrafında inşa edilen bir strateji ile düşük maliyetli ve sürdürülebilir kaynaklara erişim esnekliğinin sağlandığı Suya Duyarlı Şehirler ön plana çıkmaktadır. Böylelikle kentlerin su döngüsü ile etkileşiminin göz önünde bulundurulması ile ekonomik, sosyal ve çevresel faydaların en üst düzeye çıkarılma fırsatı değerlendirilmiş olmaktadır [1].

Ayrıca, su ile bütünleşik estetik tasarımlar sayesinde kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına katkı sağlanmaktadır. Yeşil ile mavinin birbirine bağlandığı rekreasyon alanları oluşturularak doğa esaslı altyapı ile hem taşkın direnci artırılmakta hem de su planlaması gerçekleştirilmektedir. Suyun ve çevrenin korunmasında halkın etkin rol üstenmesi, halkın aidiyet hissi ve kimlik duygusunu güçlendirerek suya duyarlılığı yüksek bir toplum oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Suya duyarlı bir kent tasarlamak adına takip edilmesi gereken 6 temel adım bulunmaktadır. Bunlar:

1. Su Yönetimi

Mevcut çeşitli kaynakların etkin kullanımıyla ekonomik refah için gerekli su güvenliğinin sağlanması;

2. Atıksu Yönetimi

Kanalizasyon sistemlerinin evsel ve endüstriyel atıksuları meskun alanlardan uzakta ve şehir dışındaki su yollarına yönlendirmesi, atıksuların çevreye/alıcı ortamlara ve en önemlisi halk sağlığına zarar vermesinin engellenmesi,

3. Yağmursuyu Yönetimi

Yağmur suyunun kentsel alanlar dışında bulunan su yollarına yönlendirilmesi, kentsel büyüme ve meskun alan için taşkın yataklarının gelişmesine olanak sağlanması,

4. Su Yolları

Sosyal ve estetik değeri artan temiz su yollarının kentsel planlamaya dahil edilmeye başlanması, alıcı ortam su yolları, yağmur suyunun biyofiltrasyonu (yağmur bahçeleri ve kentin genelinde yayılmış yapay sulak alanlar gibi) aracılığıyla korunması,

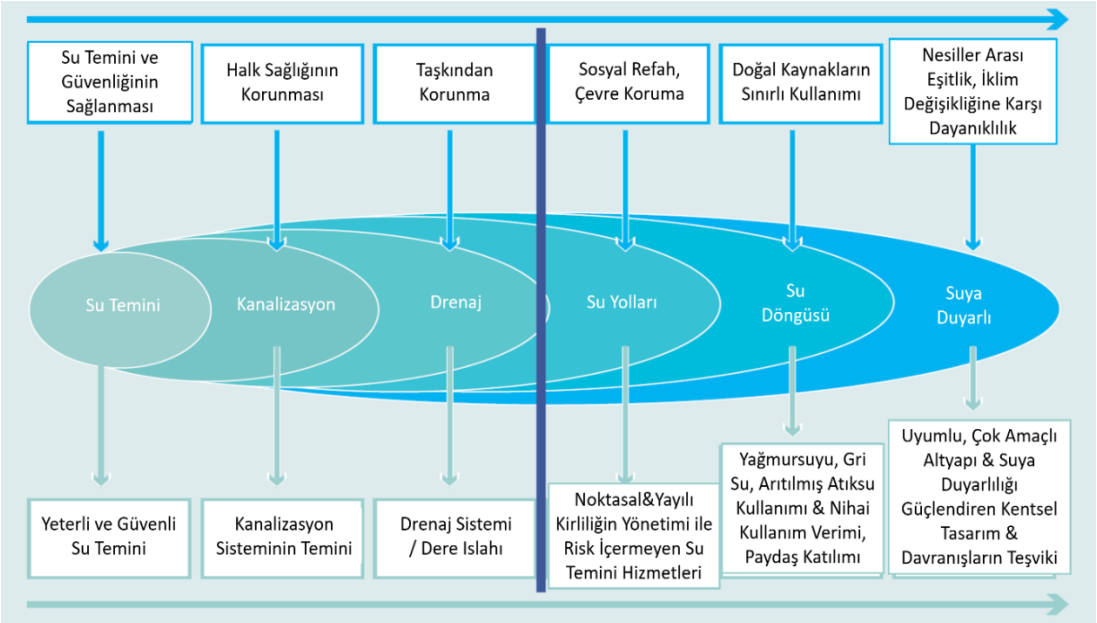
5. Su Döngüsü

Suyun aktif bir şekilde korunarak yağmur suyu, gri su ve geri kazanılmış atıksu gibi çok çeşitli kaynaklardan temin edilmesi, sürdürülebilirliğin sağlanması,

6. Suya Duyarlı

Entegre su döngüsü yönetiminin esas alınarak yaşanabilirlik ile ilgili bir dizi faydanın sağlandığı, alıcı ortam kalitesini koruyan, taşkın riskini azaltan halka açık rekreasyon alanlarının oluşturulması ve halkın su sistemine aktif bir şekilde katılmasıdır.

Şekil 2.2'de Suya Duyarlı Kent Geçiş Çerçevesi görülmekte olup suya duyarlı kent yaklaşımında ulaşılması hedeflenen son nokta sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği etkilerine dirençtir.



Şekil 2.2 : Kentsel su yönetimi geçişleri çerçevesi [1].

Suya duyarlı şehirler günümüzde henüz mevcut olmamakla birlikte dünyanın birçok ülkesinde stratejik amaç olarak su yönetim sürecine dahil edilmektedir. Örneğin Singapur'da suya duyarlılığı arttırmak için NEWater, Singapur ABC gibi birtakım programlar geliştirilmektedir.

2.2. Suya Duyarlı Kent Geçiş Çerçevesi

2.2.1. Su temini

Su, korunarak gelecek nesillere aktarılması gereken ancak her geçen gün tüketim miktarı artan en önemli doğal kaynağımızdır. Bu sebeple su kaynaklarımızın korunarak, tamamen tüketilmeden, sürdürülebilir sistemlerle birlikte devamlılığının sağlanması gerekmektedir.

İklim değişikliğinin ve su havzalarındaki tüm faaliyetlerin su miktarı ve kalitesine etkisinin göz önünde bulundurularak, su tasarrufunun sağlaması, kirlilik ve kuraklıkla mücadele konusunda gereken tedbirlerin alınması su yönetim politikalarının temelini oluşturmaktadır [3].

Su kaynakları üzerindeki en büyük baskı nüfustan kaynaklanmakta olup nüfustaki artış su talebini de artırmaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlayan temel kaynak ise yağışlar olduğundan, yağışlardaki geçici bir azalma ile buharlaşma-terlemedeki artış eğilimi su arzını ve suyun kalitesini (özellikle noktasal kaynaklı

kirletici konsantrasyonlarının artması ile) olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, küresel iklim değişikliği kuraklıkların görülme sıklığını artırarak etkilerini şiddetlendirdiği için arz-talep dengesinin olumsuz yönlü bozulması su kaynaklarının, iklimin (yıldan yıla) değişkenliğine olan kırılganlığını artırmaktadır [4].

Su kaynaklarında azalmaya sebep olan diğer etmenler ise suyun sulamada aşırı ve verimsiz kullanımı, izinsiz ve kontrolsüz yeraltı suyu tahsisi, içmesuyu şebekelerindeki fiziksel kayıp ve kaçaklar sebebiyle mevcut su potansiyelinin tamamının kullanılamaması ile çeşitli nedenlerle oluşan su kirliliğidir.

Bu sebeplerden dolayı her türlü su kaynağının korunarak yeterli ve güvenli su temininin sürekliliğinin/sürdürülebilirliğinin sağlandığı *"Entegre Su Kaynakları Yönetimi"* anlayışının benimsenmesi gerekmektedir.

Su, atıksu ve yağmursuyu yönetiminin birlikte ele alındığı entegre bir yönetim, dolaylı yoldan kentlerin iklim değişikliği etkilerine karşı kırılganlığını da azaltacaktır.

2.2.2. Atıksu yönetimi

Sağlıklı bir çevrede yaşamanın en önemli göstergelerinden biri atıksuların uygun şekilde toplanarak yerleşim yerlerinden uzaklaştırılması ve bertaraf edilmesidir [5].

Çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan, halk sağlığı ve güvenliği ile ilgili riskleri asgari düzeyde tutarak, doğal kaynakların korunmasını sağlayacak sürdürülebilir en iyi sistemin tasarlanarak inşa edilmesi, en uygun şekilde işletilmesi ile bakım ve onarımlarının sağlanması modern şehir altyapısının ana hedefini oluşturmaktadır. Atıksu sistemlerinin istenmeyen kokuları veya zehirli, patlayıcı ve aşındırıcı gazları engelleyecek şekilde tasarlanarak şehir konfor ve güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Atıksuların sağlık ve çevre problemleri oluşturmayacak şekilde toplanarak iletilmesi atıksu sistemlerinin doğru tasarlanması, inşa edilmesi ve işletilmesine bağlıdır [6].

Kanalizasyon sistemi ile toplanan atıksular yeniden kullanım maksadına veya deşarj edileceği alıcı ortam koşullarına uygun arıtma işlemlerinden geçirilmektedirler.

Uluslararası kriterlere göre dizayn edilen atıksu arıtma tesislerinin işletme parametreleri ile tasarım kriterlerinin ters düşmemesi için havza bazında önlem alınması gerekmektedir. Örneğin atıksu toplama sisteminde yaşanan infiltrasyon

problemi ya da yanlış yağmursuyu yönetimi vb. konular kırsal alan atıksu arıtma tesislerinin verimini olumsuz etkilediğinden havza bazında değerlendirme yapmak daha sağlıklı sonuçlar verecektir.

Kırsal bölgelerde; doğaya fazla müdahale edilmeden oluşturulan doğal arıtma sistemleri, atıksu sorunlarının ucuz ve sürdürülebilir çözümü için büyük bir önem arz etmektedir.

Doğal Arıtma Sistemleri;

- Stabilizasyon Havuzları
- Arazide Arıtma
- Yeraltında Bırakma
- Buharlaştırma Havuzu ve
- Yapay Sulak Alanlar olarak sıralanabilir.

Avantajları [7];

- Uygulama kolaylığı
- İleri teknoloji ve pahalı ekipman gerektirmemesi
- Enerji ihtiyacı ve maliyetin az olması
- Basit işletim ve işletme kararlılığı
- Düşük çamur oluşumu
- Flora ve fauna habitatlarını destekleyerek biyoçeşitlilikte artış
- Hasat edilen sucul bitkilerin çeşitli amaçlarla kullanılmasıdır.

Örneğin; günümüzde evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksuların arıtımında kullanılan yapay sulak alanlar konvansiyonel arıtma sistemlerine nazaran daha düşük inşa ve işletme giderine sahiptir. Yapay sulak alanlar, temel prensip olarak doğal sulak alanları taklit eden sistemlerdir.

Türkiye için kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı 2018 yılı itibariyle %90 seviyesinde iken 2013 yılında bu oranın % 95’ e çıkarılması hedeflenmektedir [3].

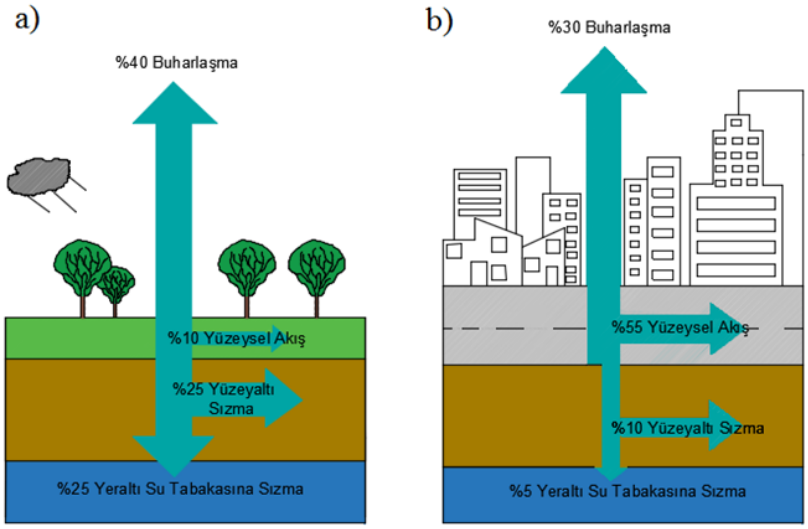
2.2.3. Sürdürülebilir yağmursuyu yönetimi-su yolları

"Sürdürülebilirlik; sahip olunan kaynakların sonuna kadar tüketilmeden, gelecek nesillere aktarılabilmesi için çevre dostu yöntem ve uygulamalarla bu kaynakların devamlılığının sağlanmasıdır." [8].

Sürdürülebilir yağmursuyu yönetiminin amacı; şehirlerin şiddetli yağışlara uyum kapasitesinin geliştirilerek sel ve taşkın hadiselerinin azaltılması, biyolojik çeşitliliğin artırılması, sağlık ve refahın iyileştirilmesi ile yağmursuyunun su kaynağı olarak kullanılmasını sağlamaktır.

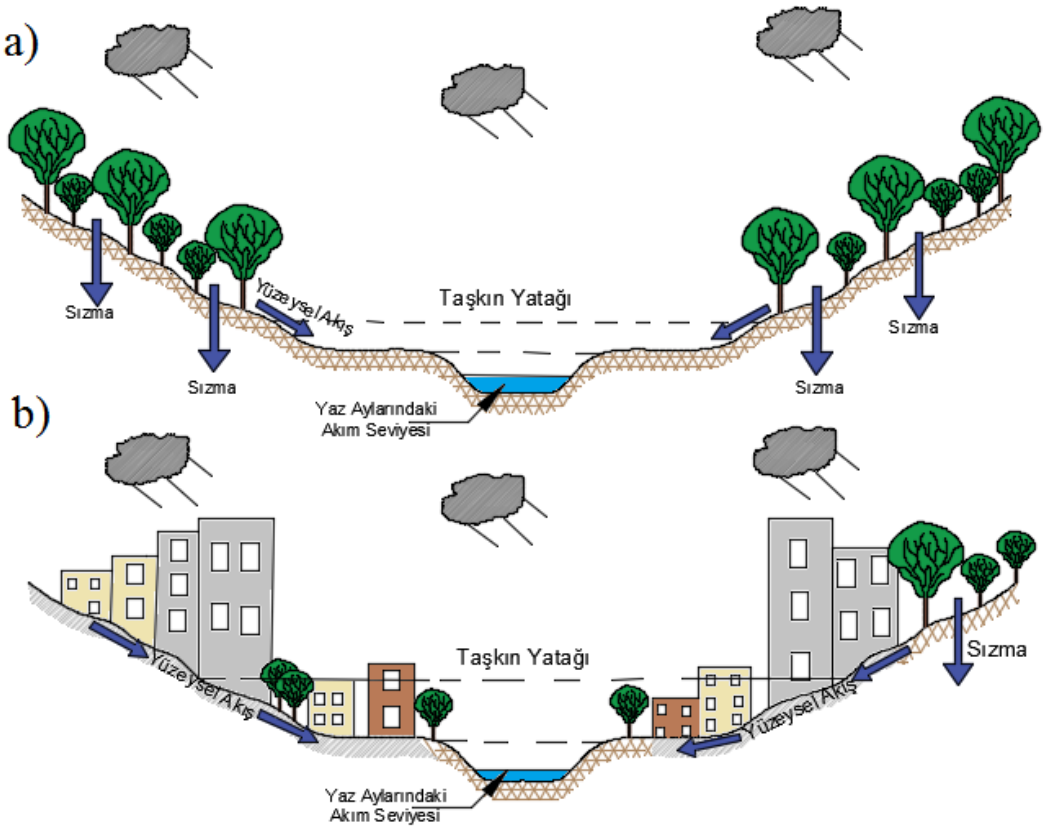
Ancak, kentsel alanlarda yağmursuyu toplama sistemlerinde kullanılan konvansiyonel yöntemler, yağmur sularının toprağa sızmasını beklemeden hızlı bir şekilde ayrık veya birleşik kanalizasyon sistemi ile ortamdan uzaklaştırmayı hedeflemekte, korunması gereken bir su kaynağı olarak görmemektedir.

Kentleşme sonrası geçirimsiz yüzeylerin artması ve yeşil alanların azalması ile yağmur suları yeraltına yeterince sızamamakta böylelikle bu sular yüzeysel akışa geçmektedir. Şekil 2.3'te şehirleşme öncesi ve sonrası hidrolojik döngü görülmektedir.



Şekil 2.3 : Şehirleşme öncesi ve sonrası hidrolojik döngü [9].

Yeraltına yeterince sızamayan yağmur suları yoğun kentleşmenin olduğu alanlarda, iklim değişikliğinin de etkisiyle, daha yüksek debiye sahip sel ve taşkın olaylarının yaşanmasına sebebiyet vermektedir. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4 : a) Şehirleşme öncesi b) şehirleşme sonrası taşkın yatağının durumu (Schueler, 1987'den uyarlanmıştır) [8].

Kentsel alanlarda geleneksel drenaj sistemleri ile yağmursularının herhangi bir arıtmaya tabi tutulmadan, mümkün olan en kısa sürede ortamdan uzaklaştırılarak alıcı ortama ulaştırılması amaçlanırken sürdürülebilir sistemler ile infiltrasyon yoluyla yağmur suyundan en verimli şekilde faydalanılmaktadır. Böylece yağışı toplama sistemleriyle sadece deşarj noktalarına iletmek yerine, yağdığı yerde sızma ve biriktirme gibi metotlarla bu yağışın kullanılmasını ve yüzeysel akışa geçen debinin azaltılarak boru çaplarının küçültülmesini sağlamaktadır.

Ayrıca birleşik kanalizasyon sistemleri ile atıksu arıtma tesislerine iletilen yağmur suları hem arıtma tesislerinin yükünü arttırmakta hem de biyolojik proseslerin işleyişini olumsuz etkilemektedir. Aynı zamanda kentsel yüzeysel akış Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından yayılı kaynak kirliliği olarak tanımlanmakta olup atıksu şebekelerine karışan yağmursuyu miktarının azaltılması atıksu arıtma tesisleri işletme maliyetlerinin düşmesine ve enerji verimliliğinin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır.

Bu durumla birlikte, yeraltı su kaynaklarının yeteri kadar beslenememesi, yağmur sularının deşarj olduğu alıcı ortamların süprüntü akışının taşıdığı yayılı kirleticilerle

kirlenmesi, aşırı yağışlarda sel, taşkın ve erozyon sorunlarının ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Bu sebeple son yıllarda kentsel yağmur suyu yönetimi kapsamında, geleneksel yağmur suyu çözümlerinin yanında, sürdürülebilir kentsel yağmur suyu yönetimi modelleri ve dolayısıyla *"yeşil altyapı"* kavramı ortaya çıkmıştır.

Yeşil altyapı; EPA tarafından "doğal sistemler kullanarak ya da doğal sistemleri mühendislik sistemleri ile taklit ederek genel çevre kalitesini artırmak ve hizmet servisleri sağlamayı açıklamak için kullanılan bir terim" olarak tanımlamış olup bazı ülkelerde ise yüksek performanslı peyzaj altyapısı olarak adlandırılmaktadır [10].

Yeşil altyapı uygulamaları ve teknolojileri ile doğal su sistemlerinin sürekliliklerinin sağlanması için yağmur sularının infiltrasyonu (süzülme), geri kazanımı ve yeniden kullanımı gerçekleştirilerek sürdürülebilir yağmur suyu yönetimine ve dolayısıyla iklim değişikliği etkilerine direnç noktasında katkı sağlanmaktadır.

İklim değişikliği etkileri neticesinde konvansiyonel altyapı sistem çözümlerinin yetersiz kaldığı, sadece ülkemizde değil dünyanın birçok yerinde giderek artan doğal afet zararlarıyla anlaşılabilmektedir. Bu sebeple ülkemizde etkin bir sürdürülebilir su ve yağmursuyu yönetiminin sağlanabilmesi için yeşil altyapı sistemlerinin kullanılması büyük fayda sağlayacaktır. Yağmur bahçeleri, geçirimli zeminler, çatı bahçeleri ve yağmur suyu hasadı yeşil altyapı uygulamalarına birer örnektir.

2.2.3.1. Yeşil çatı ya da eko çatılar

"Çatı bahçeleri", "ekolojik çatı" ya da "bitkilendirilmiş çatı teknolojisi" olarak da bilinen "yeşil çatı sistemleri; konvansiyonel çatıların, mevcut binaların yapısında minimum değişiklikler ile ya da çatıda hiçbir değişiklik gerektirmeden, minimum düzeyde bakıma ve sulamaya ihtiyaç duyan bitkilerden oluşan gerçek bir canlı örtüyle kaplanması olarak açıklanabilmektedir." [11].

İstanbul İmar Yönetmeliği'nde ise yeşil çatının tanımı *"Binanın enerji performansını, hava kalitesini ve kent ekolojisini iyileştiren, yağmur suyunun yarattığı problemlere yenilikçi çözümler getiren, çim serilip, çiçeklerle yeşillendirilebilen, küçük bitkilerle donatılabilen çatılar"* şeklinde yapılmaktadır [12].

Küresel ölçekte doğal kaynakların azalması, kentleşme ve iklim değişikliğinin etkileri sonucu yetersiz kalan yağmursuyu sistemleri, enerji maliyetlerinin yüksek oluşu gibi problemler yeşil çatı uygulamalarını ön plana çıkarmaktadır.

Yeşil çatılar ilk kez 1927 yılında Stuttgart, Frankfurt ve Amerika'da uygulanmış olup günümüzde özellikle Avrupa başta olmak üzere birçok ülkede yeşil çatı uygulamalarına ağırlık verilmektedir.

Yeşil çatı sistemleri geçirimli yüzeyleri sayesinde yağışların bitkiler tarafından tutulduktan sonra aşamalı olarak buharlaşması yoluyla atmosferdeki su döngüsüne dahil olmasını, yağışın akışa geçen miktarının azalmasını sağlamaktadırlar. Yeşil çatıların hidrolik kapasitesinin üzerindeki yağmursuları drenaj sistemine iletilmekte böylelikle yağış sularının yalnızca %30'unun kanalizasyon sistemine ulaşması sağlanmaktadır [11].

İmar yönetmeliğinin 21. maddesinde ise "Kamu binaları da dahil olmak üzere yeni yapılacak toplam inşaat alanı 60.000 m² üzerinde olan binalarda kent ekolojisini iyileştirmek, iklimsel klima etkisini kırmak, yağmur suyunu tutarak ani su baskınlarını azaltmak, inşaatların yeşil alan tahribini önlemek, nefes alınabilecek doğal bir ortam oluşturmak ve çatılarda ısı ve gürültü yalıtımını sağlamak amacıyla yeşil çatı sistemleri uygulanması zorunludur. Ayrıca toplam inşaat alanı 30.000 m²'den fazla olan binalarda teras çatı yapılmak istenmesi durumunda yeşil çatı sistemleri uygulaması yapılmasının zorunlu olduğu belirtilmektedir [12].

Ayrıca Türkiye'de "2872 Sayılı Çevre Kanunu"nda yer alan enerji verimliliği sağlayan ve çevreye dost teknolojilerin kullanılması, "5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanununda ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği", "Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik", "Sürdürülebilir Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği" gibi düzenlemelerde ulusal mevzuatımızda yeşil çatı kavramıyla dolaylı yoldan bir ilişki kurulabilmektedir.

Ancak dünyada LEED, BREEAM ve DGNB gibi yeşil bina değerlendirme sistemlerinden sertifika almış binaların sayısı 250 000'in üzerinde iken Türkiye'de bu rakam halen 381'dir.

Türkiye'de yeşil binaların yaygınlaşması açısından kamunun öncülük etmesi büyük önem taşımaktadır.

Küçükçekmece Belediye Hizmet Binası ülkemizdeki yeşil çatı uygulamasına sahip binalara örnek gösterilebilmektedir. Şekil 2.5'te görülen Küçükçekmece Belediye Hizmet Binası'nda yeşil çatı sistemleriyle % 35 enerji tasarrufu sağlanırken, karbon salınımında yıllık 350 tona varan bir azalma gözlenmektedir [11].



Şekil 2.5 : İstanbul Küçükçekmece Belediye Hizmet Binası [13].



Şekil 2.6 : Rotterdam Dakpark Alışveriş Merkezi [14, 15].

Şekil 2.6'da ise Hollanda'nın Rotterdam kentinde yeşil çatı uygulamasına sahip bir alışveriş merkezi örneği verilmektedir.

Yeşil Çatıların Kentsel Sürdürülebilirliğe olan Faydaları:

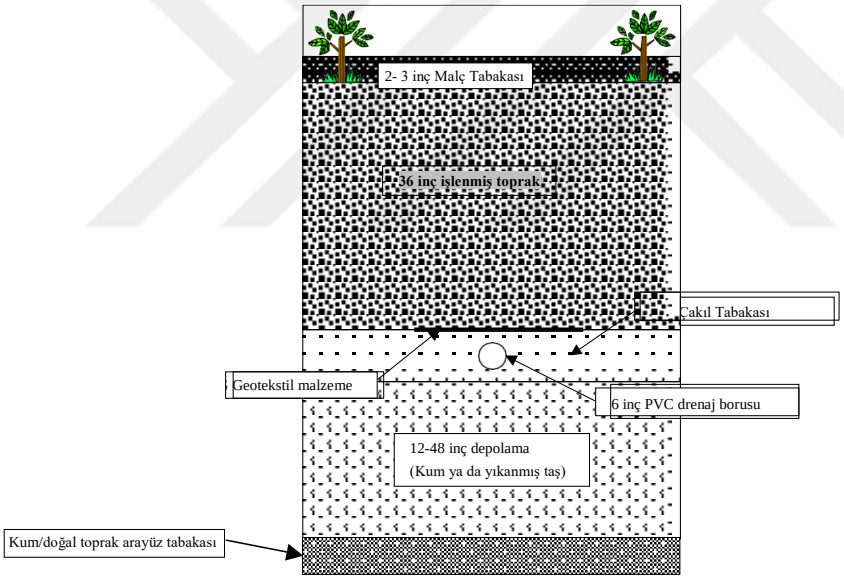
- Kentsel tasarım
- Habitat ve Biyoçeşitliliğin Korunması
- Isı adası etkisinin engellenmesi
- Ses yalıtımı ile gürültü kirliliğinin azalması

- Isı yalıtımı ile enerji verimliliği sağlaması
- Geçirimli yüzey oluşturarak yağmursuyu ve kanalizasyon sistemlerinin yükünü hafifletmesi

2.2.3.2. Biyotutma alanları

Biyolojik bekletme-tutma hazneleri yağmursuyunun infiltrasyonu ve arıtılmasında kullanılan sistemlerden biridir. Biyotutma alanları, akışla gelen suyun belirlenen bir alanda biriktirildikten sonra toprak ve bitki örtüsünden süzülmesi esasına dayanan peyzajlı sığ çukurlardır [16].

Çatı, yol gibi zeminlerden yağmursuyu ile birlikte süpürülerek biyotoplama alanına ulaşan kirletici maddeler; sistem içerisinde sedimantasyon, adsorpsiyon, fitoremediasyon ve biyoremediasyon gibi çeşitli süreçlerden geçirilerek büyük oranda giderilmektedir.



Şekil 2.7 : Biyotutma havuzu en kesiti [17].

Drenaj alanına giren yağmur suyunun bir kısmı bitkiler vasıtasıyla buharlaşmakta bir kısmı da aşamalı olarak Şekil 2.7'de verilen en kesitte görüldüğü üzere, malç/toprak/çakıl tabakalarından geçerek ya doğal toprak tabasına sızmakta ya da deşarj noktasına iletecek bir drenaj borusu ile toplanmaktadır.

Drenaj Alanı:

Biyolojik bekletme havuzu toplama havzaları için öngörülen maksimum drenaj alanı 2 dönüm olmakla birlikte havzaya doğru akışı sağlamak için eğimlerin; asfalt alanlar için % 0,5 ve bitkisel alanlar için % 1'den az olmaması gerekmektedir. Maksimum eğim ise % 20 kabul edilmektedir.

Malç Tabakası:

Akışa geçen yağmursuyu ilk olarak bitki örtüsü ve malç tabakasından sızmaktadır.

İşlenmiş Toprak Tabakası

İşlenmiş toprak katmanı minimum 36 inç derinliğe sahip olmalıdır.

Depolama Tabakası:

Depolama alanının maksimum derinliği 48 inçtir. Depolama katmanı, kumdan veya tek tip boyda temiz yıkanmış bir taştan (3 inç temiz taş) oluşabilir.

Alt Drenaj:

Min. 6 inç çapında büyük yüklere dayanabilecek bir malzeme kullanılan drenaj borusu depolama katmanının üst kısmına yerleştirilmektedir. Borularda tıkanmayı önlemek için filtre malzemeleri kullanılmaktadır.

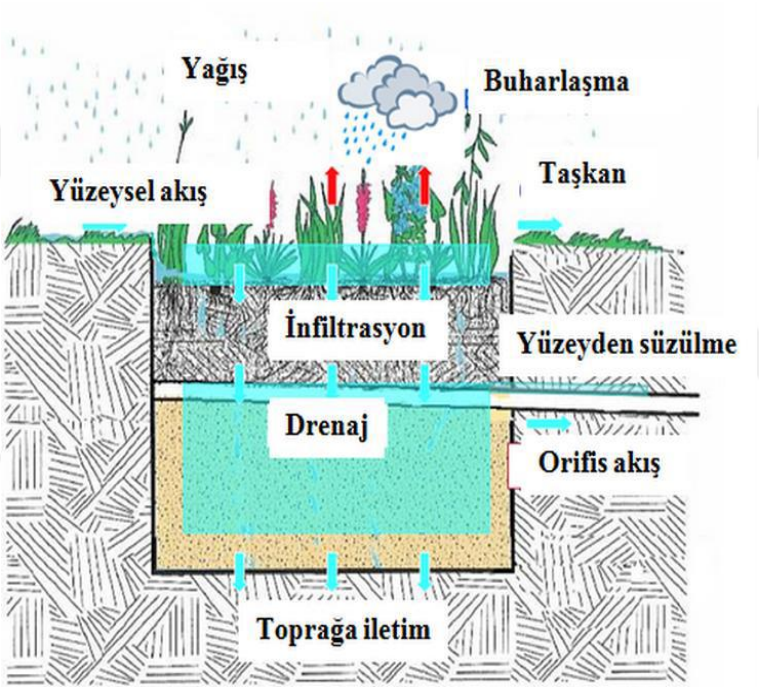
Tıkanmaya karşı hassas ve geniş alana sahip arazilerde kullanımının elverişli olmaması biyolojik bekletme havuzlarının dezavantajları arasındadır [17].

2.2.3.3. Yağmursuyu bahçeleri

Yağmur sularının herhangi bir uygulamadan geçmeden yönlendirildiği ve üzerinde doğal bitkilerin yetiştirilebildiği sığ çukur alanlar *"yağmur bahçesi"* olarak tanımlanmakta olup Şekil 2.8'de yağmur bahçesi örnekleri görülmektedir. Yağmur bahçelerini, küçük ölçekli biyotutma alanları olarak da tanımlamak mümkündür. Sistem, yağmur suyunun yüzeysel akışa geçmemesi, yeraltına sızdırılması ve toprağın emme kapasitesine dayanan akılcı ve kolay bir yöntemdir [18].Yağmur bahçelerinde gerçekleşen su çevrimi Şekil 2.9'da verilmektedir.



Şekil 2.8 : Örnek yağmur bahçesi [18].



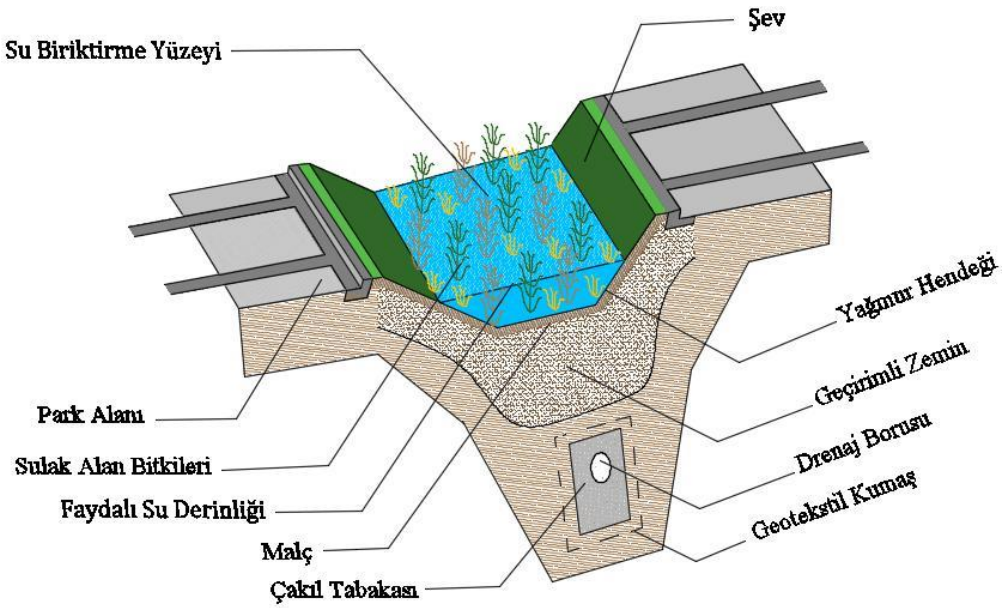
Şekil 2.9 : Yağmur bahçelerinde su çevrimi [9].

2.2.3.4. Doğal yağmursuyu drenaj sistemleri (yağmur hendekleri)

Yağmur hendekleri, suyu iletmeye yarayan bitkilendirilmiş drenaj kanalları olarak tanımlanmaktadırlar. Suyun akış hızının azaltılarak sızmanın kolaylaştırılması ve aynı zamanda kirleticilerin (AKM, metal, nütrient, bakteri vb.) filtrelenmesi görevlerini yerine getirmektedirler [16].

Şekil 2.10'da en kesiti verilen yağmur hendekleri; bitki örtüsüne sahip bir kanal, filtre ortamı katmanları ve yağmur bahçesine benzer bir şekilde düzenlenmiş oluklu drenaj borularından (alt drenaj) oluşmakta olup tutulan suyun arıtılarak yeraltı

suyuna karışması ve bu sayede yeraltı su seviyesinin arttırılması gibi faydalar sağlamaktadır.



Şekil 2.10 : Kuru yağmur hendeği enkesiti [8].

Faydaları:

- İklim değişikliği etkileri ve artan nüfus artışı karşısında korunması elzem olan su kaynaklarına alternatif bir kaynak oluşturmaktadır.
- Yüzeysel akışı kontrol ederek geleneksel drenaj sistemlerinin oluşturduğu sel ve su baskınları ile su kirliliğinin önlenmesine katkı sağlamaktadır.
- Yeraltı sularının kalitesinin bozulmadan beslenmesini sağlamaktadır.
- Yoğun kentleşmenin olduğu bölgelerde ısı etkisini azaltmaktadır.
- Atıksu arıtma tesislerinde arıtılacak atıksu debisinde azalma sağlamaktadır.
- Konvansiyonel yağmursuyu sistemlerine kıyasla daha ekonomiktir.
- Su ile bütünleşik rekreasyon alanları oluşturarak görsel değer ve yaşam kalitesinin arttırılmasını sağlamaktadır.

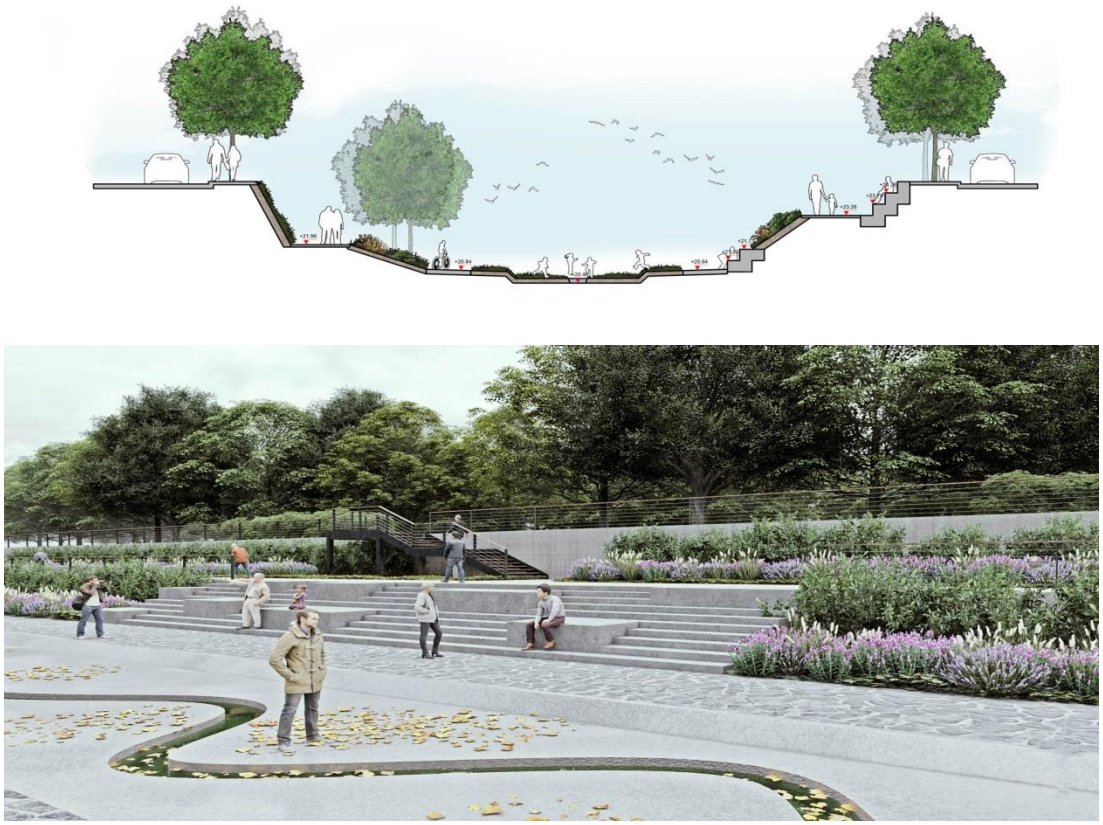
2.2.3.5. Ekolojik dere koridorları

Suya duyarlı kent yaklaşımında betonarme dere ıslahlarının yerini ekolojik dere koridorları almaktadır.

Doğal ekolojik koridorlar; akarsu mecraları, ormanlar, doğal koruluklar, doğal vadiler ile tozlaşmaya, biyoçeşitliliğe, ekosistem hizmetlerine ve hava akımlarına katkı sağlayacak step ve yeşil alanları kapsamaktadır.

Sosyal, görsel, kültürel, ekolojik değerler ve kentsel tasarımı daha da iyileştirmek için peyzaj öğesine suyun entegre edildiği ekolojik dere koridorları; su kalitesinin iyileştirilmesi, taşkın riskinin azaltılması ve yaban hayat habitatı oluşturma gibi işlevlere sahiptir [19].

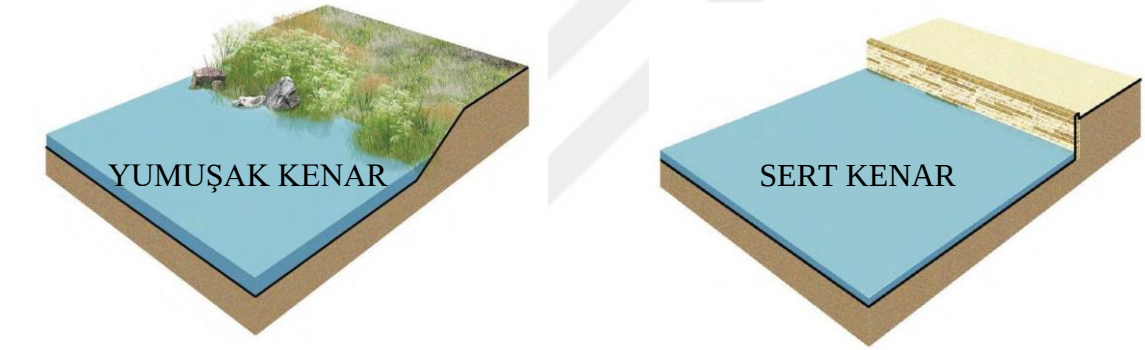
Yoğun kentleşmenin yaşandığı İstanbul metropol kentinde birçok derede betonarme ıslah kesitleri yerini ekolojik dere koridorlarına bırakmaya başlamaktadır. Bu kapsamda Ayamama ve Cendere Dereleri'ne ait ekolojik restorasyon projeleri hazırlanmış olup Şekil 2.11 ve 2.12'de söz konusu projelerden örnek kesitler verilmektedir.



Şekil 2.11 : Ayamama Deresi planlanan ekolojik dere koridoru [20].



Şekil 2.12 : Cendere Deresi planlanan ekolojik dere koridoru [21].



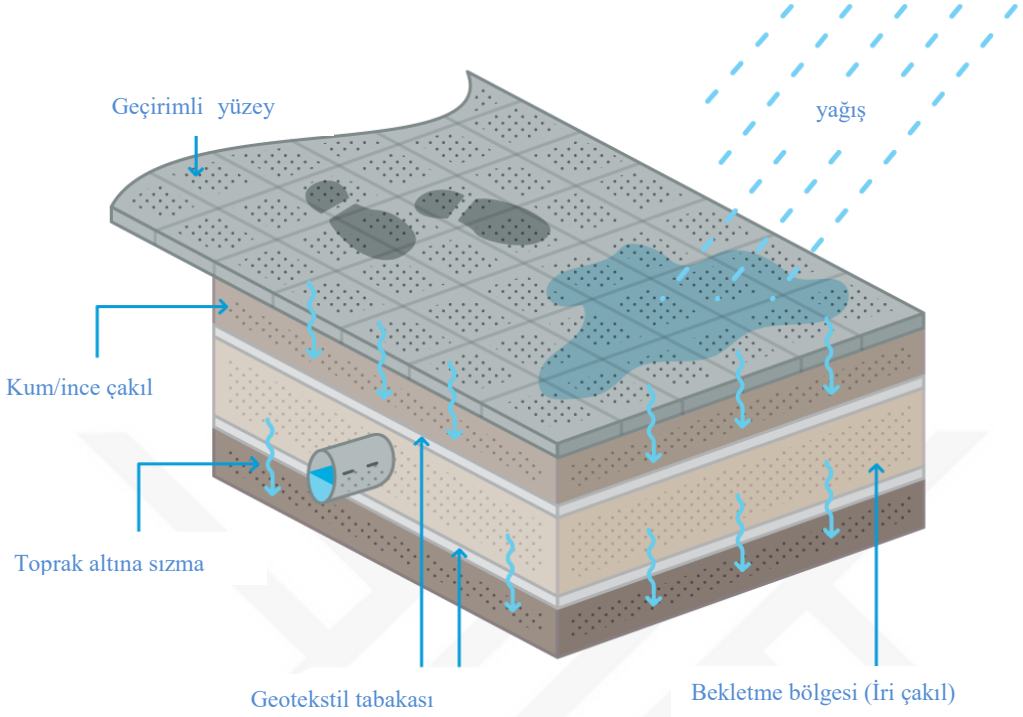
Şekil 2.13 : Dere kenar yapıları [21].

Cendere Ekolojik Restorasyon Projesi'nde sert materyallerden oluşan yapısal kenar ve bitkisel kenar olmak üzere iki farklı tip tasarlanmıştır (Şekil 2.13). Biyoçeşitliliğin desteklenerek taşkınların önlenmesinde dere kenarları önemli bir göreve sahiptir [21].

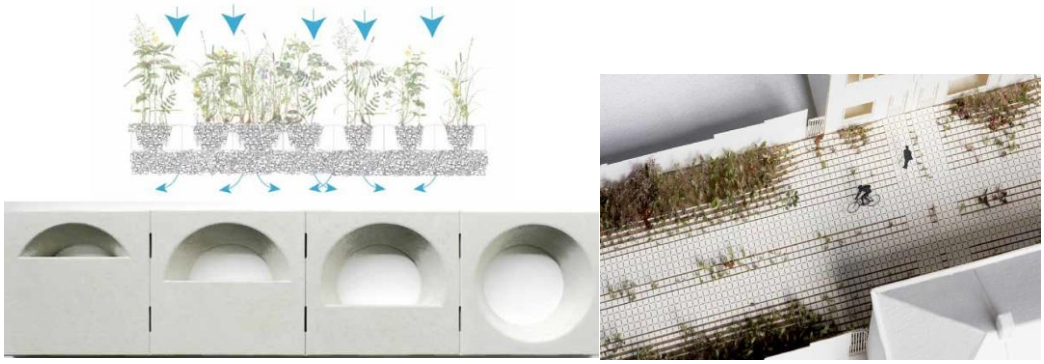
2.2.3.6. Geçirimli yüzeyler

Geçirimsiz yüzeyler nedeniyle, yer altı sularının yağmursuları ile beslenmesinin önüne geçilmekte dolayısıyla bu yağmursularının kanalizasyon sistemine ya da dere ve nehirlere ulaşmasına yol açılmaktadır.

Şekil 2.14'te en kesiti verilen geçirgen kaldırımlar ise, yağmur suyu akışının sert zeminler üzerinden drenaj sistemine iletilmesi yerine toprağın alt tabakalarına sızmasına imkan sağlamaktadır.



Şekil 2.14 : Geçirimli kaldırım en kesiti [22].



Şekil 2.15 : Rotterdam yaşayan kaldırımlar [23].

Şekil 2.15'te hem kendiliğinden bitki örtüsü yetişebilmesine hem de yağmursuyunun sızmasına imkan veren Rotterdam'daki "yaşayan kaldırımlar" görülmektedir [23].



Şekil 2.16 : Geçirimli yüzey örneği [24].

Günümüz kentlerinde Şekil 2.15 ve Şekil 2.16'da örnek gösterilen geçirimli yüzeylerin yetersizliği neticesinde artan kentsel ısı adası etkisinin bertaraf edilmesi, hidrolojik su döngüsünün sağlanması, canlı yaşam mekanı oluşturma gibi çevresel katkıların sağlanması noktasında merkezi ve yerel yönetimlerin destek olması gerekmektedir [25]. Şekil 2.17 ise geçirimsizliği yüksek beton zeminler ve iklime dirençli yağmursuyu yönetimine geçilmemesinin olumsuz sonuçlarına güzel bir örnektir.



Şekil 2.17 : Şiddetli yağış sonrası sel görüntüleri [26].

2.2.4. Su döngüsü

2.2.4.1. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı

Kentlerdeki hızlı nüfus artışı ve su kaynaklarının azalması suyun etkin kullanımını gerektirdiğinden arıtılmış atıksuların yeniden kullanılması sürdürülebilirlik bakımından büyük önem taşımaktadır.

Geri kazanılmış sular, nüfus yoğunluğu ile orantılı olarak su tüketiminin arttığı ya da iklim değişikliği etkisiyle yağışların azaldığı bölgeler için alternatif bir tatlı su kaynağı olarak düşünülmektedir.

Arıtıldıktan sonra deşarj edilen atıksu miktarı, atıksuyun yeniden kullanılabilirliği konusunda sahip olduğu yüksek potansiyeli göstermekte olup, geri kazanımındaki eksikliklerin tamamlanması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Atıksuların geri kazanılarak tekrar kullanılması potansiyelini artıran sebeplerden en önemlileri ise; kentlerde artan nüfus yoğunluğu ile su ihtiyaçlarının belirli merkezlerde yoğunlaşması, arıtılmış atıksuların deşarj standartlarının sıkılaştırılması ve ileri arıtma teknolojilerinin kullanılmasıdır. Öyle ki bazı durumlarda atıksuların yeniden kullanımı için gerekli arıtma ihtiyacı alıcı ortam deşarj standartlarının sağlanması için gereken arıtma ihtiyacından az olabilmektedir. Örneğin; mevzuat gereği İstanbul için Marmara Denizi'ne deşarj halinde besi maddelerinin (N ve P) giderimini de içeren üçüncül arıtma (N, P giderimi, ileri arıtma) gerekirken, aynı suların sulamada kullanılması halinde ikincil (biyolojik) arıtma yeterli sayılmaktadır [27].

Atıksuların dezenfekte edildikten sonra deşarj edilebileceği veya kullanılabileceği durumlar: [28]

- Sulama suyu olarak
- Sanayi suyu (soğutma ve proses suyu olarak)
- Yeraltı sularının suni beslenmesi
- Meskûn bölge içerisinde tekrar kullanım (Çift dağıtım sistemleri)
- Arıtılmış Atıksu ile Rekreasyon alanlarının oluşturulması

- Akifer depolama ve iyileştirme (ASR)
- Yangın Söndürme
- Diğer kullanımlar (İnşaat, sahil kesiminde kuyularda tuzlu su girişiminin önlenmesi, içme suyu gibi) şeklinde sıralanabilir.

Atık suyun geri kazanılması için teknoloji gereklilikleri, geri kazanılacak suyun kullanım amacı ile ilgilidir [29]. Su kalitesi açısından kullanılabilecek en önemli indikatörler, koliform ve patojen mikroorganizma konsantrasyonudur. Kentsel atıksu tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılacaksa dezenfeksiyon gereklidir. Doğrudan veya dolaylı geri kazanım durumunda membran teknolojisi, aktif karbon ve ileri oksidasyon gibi diğer ıslah/arıtma alternatifleri gereklidir [6].

Geri kazanılmış atıksudaki bileşenlerin türleri ve konsantrasyonları atıksu kaynağına, etkilenen atık akışlarına (yani evsel ve endüstriyel katkılar), atıksu toplama sistemine sızma miktarına ve bileşimine, atıksu arıtma proseslerine ve depolama tesislerinin türüne bağlıdır. Geri kazanılan su kalitesi üzerinde olumsuz etkisi olabilecek durumlar arasında yüksek TÇM seviyeleri, kanalizasyon sistemine endüstriyel deşarj neticesinde bulunabilecek toksik bileşikler, sahil kesimindeki atıksu hatlarına sızan klorür sayılabilmektedir.

Mikroorganizmaları etkisiz hale getirerek atıksuyun dezenfekte edildiği yöntemler ise:

- Kızılötesi (UV) ışıması,
- Klorlama,
- Ozonlamadır.

Bu yöntemlerin bakteri, protozoa ve virüslere olan etkisi Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : Klorlama, ozonlama ve UV ile dezenfeksiyonun, bakteri, protozoa ve virüslere olan etkisi [5].

Mikroorganizma tipi	Klorlama	Ozonlama	UV
Bakteri	Çok etkili	Çok etkili	Etkili
Protozoa	Etkisiz-az etkili	Etkili	Çok etkili
Virüs	Çok etkili	Çok etkili	Etkili

Atıksuyun TÇKM seviyesini bir miktar artırması ve Kriptosporidyum üzerinde etkili olmaması klorun kullanımının dezavantajları arasında yer alsa da işletmesi kolay ve ekonomik olması yönünden tercih sebebidir. Ancak Giyardiya ve Kriptosporidyum giderimindeki zorluklardan dolayı klor dezenfeksiyonun UV ile birleştirilmesi son zamanlarda önem kazanmıştır. Böylelikle daha farklı türden patojenlerin giderimi ile birlikte dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunda azalma gözlenmektedir. Özellikle sıcak su hatlarında klor gibi dezenfektanların gideremediği legionella gibi organizmalara karşı UV ile dezenfeksiyon yöntemi kullanılabilmektedir.

Ayrıca, mikroorganizmaları kademeli olarak azalttığı için atıksu dezenfeksiyonunda kullanılan diğer yaygın prosesler ise

- Membran filtrasyonu
- Stabilizasyon veya olgunlaştırma havuzlarıdır. [30]

Dünyada ve Türkiye'de atıksuların geri kazanımı ve kullanımı hakkında tasarılar geliştirilmektedir. Büyük miktarda atıksu deşarjları, atıksuyun yeniden kullanılması konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğunu ancak hem mevzuat hem de uygulama yönünden halen daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Uluslararası mevzuat kapsamında değerlendirildiğinde, atıksuların arıtılıp yeniden kullanılmasına yönelik çalışmalarda; Avrupa Birliği Direktifleri, Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Çevre Koruma Ajansları tarafından yayımlanan, atıksuların yeniden kullanımı, arıtımı, kulanım alanları, potansiyelleri, riskleri ve önlemleri gibi konularını kapsayan kılavuzlar yol gösterici olmaktadır.

"2000/60/EC sayılı Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi" EK-VI suyun yeniden kullanımı ve planlaması için önemli düzenlemeler içermektedir. Endüstride verimli su teknolojileri ve su tasarrufu sağlayarak sulama tekniklerinin teşvik edilmesi, tamamlayıcı önlem olarak yer almaktadır. Ancak bu direktifte herhangi bir rehber bulunmamaktadır.

Avrupa Birliği'ne üye olan Fransa, Yunanistan, Güney Kıbrıs, İtalya, Portekiz ve İspanya gibi birçok ülke atıksuların yeniden kullanımına ilişkin kendi yasal düzenlemelerini ve rehberlerini oluşturmuşlardır. Bu ülkelerin yasal mevzuatları, geri kazanılan suların kullanım alanları, ölçülen parametreleri ve maksimum sınır değerleri, izleme protokolleri ve halk sağlığı için ek koruyucu önlemleri kapsamaktadır. Su kıtlığı yaşayan Avustralya'da ve ülkemize benzer Akdeniz

ülkeleri olan Yunanistan ve İspanya'da geçerli olan mikrobiyolojik ve fizikokimyasal parametreler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Yunanistan, İspanya, Avustralya ve Türkiye'de atıksuların yeniden kullanım kriterleri [31].

Atıksu Yeniden Kullanım	**Kalite parametresi**				
	Mikrobiyolojik		**Fizikokimyasal**		
	Nematod yumurtaları	**Escherichia Coli**	**AKM**	**Bulanıklık**	**Diğer Parametreler**
Kentsel Kullanım					
Yerleşke kullanımları: Şahsi bahçe sulama, tuvalet sifonu, araba yıkama vb.	<1 yumurta/10L[1,2] <1 yumurta/L[3]	0 cfu/100mL[1] <10 cfu/100mL[3]	<10mg/L	<2 NTU[1,2,3]	-
Kentsel tesisler: parklar, spor sahaları sulanması, sokak yangın söndürme, diğer rekreasyonel amaçlar	<1 yumurta/10L[1,2]	<10 cfu[1]/100mL <200 cfu[2]/100mL <1000 cfu[3]/100mL 0 cfu[4]/100mL	<20 mg/L[1] <20 mg AKM[2]/L < 30mg AKM[3]/ L	<5 NTU[1] <10 NTU[2] <2 NTU[4]	BOİ[3,4] <20 mg/L
Endüstriyel kullanım	Soğutma suyu ve gıda endüstrisi için <1 yumurta/10L[2]	<10.000[1,2] cfu/100mL <1 cfu/100mL (gıda)	<35 mg/l (Soğutma ve gıda end.) <5 mg/l[1,2] (Soğutma ve buhar kondansatörleri)	Belirlenmiş bir sınır değer yok.	*Legionella Pheumophila*[1] Diğer kirleticiler[1,2] sağlık otoritelerine uymalı
Çevresel Kullanım					
Kamuya açık havuzlar, rekreasyonel amaçlı su kaynakları ve akarsular (yıkanma hariç)	<1[1] yumurta/L	<200[1] cfu/100mL	<35[1] mg/L	Belirlenmiş bir sınır değer yok.	NO_3[1] <100 mg/L
Kamuya açık olmayan havuzlar, su kaynakları ve süs akarsuları	Belirlenmiş bir sınır değer yok.	<100[1] cfu/100 mL 10.000[2] cfu/100mL	<35[1,2]mg/L	Belirlenmiş bir sınır değer yok.	NO_3[1]<100 mg/L Diğer.
Yer altı su dolumu	<1[1] yumurta/L	<1.000[1,2] cfu/100mL	<35[1,2] mg/L	Belirlenmiş bir sınır değer yok.	Toplam Azot <50[1] mg/L
Yüzey yayılımı	Sınır değer yok[2]			Belirlenmiş bir sınır değer yok.	Toplam Azot <10[2] mg/L

[1] Yunanistan
[2] İspanya
[3] Avustralya
[4] Türkiye kriterleri

Çizelge 2.2 (devam): Yunanistan, İspanya, Avustralya ve Türkiye'de atıksuların yeniden kullanım kriterleri [31].

Atıksu Yeniden Kullanım	Kalite parametresi				
	Mikrobiyolojik		Fizikokimyasal		
	Nematod yumurtaları	Escherichia Coli	AKM	Bulanıklık	Diğer Parametreler
Doğrudan püskürtme	<1[1,2] yumurta/10 L	0 [1,2] cfu/100 ml	<10[1,2] mg/L	<2[1,2] NTU	Toplam Azot <15[1] mg/L Toplam Azot <10 [2] mg/L

Türkiye'de bu alanda yayımlanan tebliğe göre ise sulama yapılması halinde fekal koliform bakteri seviyesinin <0/100mL veya <200/100mL olması gerektiği ancak intestinal nematodlar için bir limit belirlenmediği görülmekte olup sadece gereken durumlarda incelenmesinin uygun olduğu belirtilmektedir.

Ülkemizde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımını düzenleyecek yasal mevzuatın hazırlanıp yürürlüğe konulması gerekmektedir. Türkiye'de sulamada yeniden kullanılacak arıtılmış atıksularda aranan özellikler Dünya Sağlık Örgütü Standartları ile uyumlu olup 20 Mart 2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan *"Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği*"nde yer almaktadır. Ancak, diğer kullanımlar için ulusal herhangi bir standart bulunmamaktadır. Amerika ve gelişmiş Avrupa ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de arıtılmış suyun ne amaçla kullanılacağı hususunun belirlenmesinin bir an önce yapılması gerekmektedir. Bu nedenle her bir özel kullanım için insan ve çevre sağlığının korunması konusu öncelikle ele alınmalıdır.

Söz konusu tebliğde atıksu geri kazanımı için uygulanabilecek arıtma sistemleri/teknolojileri vb. konular üzerinde durulmaktadır. "*Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu sınıfı özellikleri"* tablosu ise Çizelge 2.3'te verilmektedir.

Çizelge 2.3 : Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu sınıfı özellikleri [5].

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi[a]	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi[b]
Sınıf A				
Kentsel alanların sulanması				
Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)	-İkincil arıtma[c] -Filtrasyon[d] -Dezenfeksiyon[e]	-pH=6-9 -BOİ5 < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTUf -Fekal koliform: 0/100 mL[g,h] -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L[i]	-pH: Haftalık -$BOİ_5$: Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede

Söz konusu *tebliğde "Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler"* tablosunda (Çizelge 2.4), askıda katı maddeler (AKM), kolloidal maddeler, partiküler ve çözünmüş organik maddeler, azot, fosfor, eser maddeler, toplam çözünmüş maddeler, bakteri, protozoa ve virüsler giderilmesi gereken parametreler olarak belirtilmiş ve arıtma yöntemleri verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler [6].

Arıtma birimleri	**Askıda katı madde**	**Kolloidal maddeler**	**Partiküler organik madde**	**Çözünmüş organik madde**	**Azot**	**Fosfor**	**Eser maddeler**	**Toplam çözünmüş madde**	**Bakteri**	**Protozoa**	**Virüs**
İkincil arıtma	X			X							
Nütrient giderimi				X	X	X					
Filtrasyon	X								X	X	
Yüzey filtrasyonu	X		X						X	X	
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Flotasyon	X	X	X							X	X
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodiyaliz		X						X			
Karbon adsorpsiyonu				X			X				
İyon değiştirme					X		X	X			
İleri oksidasyon			X	X			X		X	X	X

Aynı tebliğde *"Atıksu geri kazanım maksadı ve uygulanabilecek arıtma sistemleri"* tablosunda (Çizelge 2.5), yeşil alan, golf sahaları ve tarımsal sulama, sulak alan beslemesi, dolaylı kullanım suyu (yeraltı ve yüzey sulara deşarj), endüstriyel soğutma ve proses suyu amaçlı olarak biyolojik arıtma, filtrasyon, ileri arıtma ve dezenfeksiyon işlemlerinden sonra kullanılabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 2.5 : Atıksu geri kazanım maksadı ve uygulanabilecek arıtma sistemleri [6].

Atıksu geri kazanım maksadı	**Arıtma sistemleri**
Tarımsal sulama	Klasik aktif çamur + filtrasyon + klorlama
Golf sahaları sulama	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + kimyasal fosfor giderimi + (filtrasyon) + klorlama
Yeşil alan sulama	Azot gideren aktif çamur sistemi + MF + UV
Dinlenme maksatlı kullanılan sulak alanları besleme	Azot ve fosfor giderimini içeren MBR + UV

Çizelge 2.5 (devam): Atıksu geri kazanım maksadı ve uygulanabilecek arıtma sistemleri [6].

Atıksu geri kazanım maksadı	Arıtma sistemleri
Dolaylı kullanım suyu (Yeraltı suyuna veya yüzeysel sulara deşarj)	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + ters osmoz + UV/H_2O_2
Endüstriyel soğutma suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Endüstriyel proses suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + filtrasyon + nanofiltrasyon + iyon değiştirme + UV

Kentsel atıksular Türkiye'nin potansiyelinin ciddi bir kısmını oluşturmakla birlikte bu potansiyelin verimli kullanılabilmesine yönelik ulusal politikaların vakit kaybetmeden belirlenmesi ve uygulamaya geçirilmesi gerekmektedir [22].

Bu kapsamda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yürüttüğü "*Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi"* kapsamında; konuya ilişkin ulusal ve uluslararası mevzuat uygulamaları karşılaştırılacak, ulusal mevzuat revize edilecektir.

Atık suların yeniden kullanım kategorilerinin her biri için uygulanabilecek alternatif arıtma teknolojileri (Şekil 2.18), su kalite kriterleri, izleme sıklıkları ve depolama yapılarak yeniden kullanımı halinde depolama kalite kriterleri belirlenecektir [32].



Şekil 2.18 : Suyun yeniden kullanım alternatifleri [29].

Atıksuların yeniden kullanımında mevcutta uygulanan arıtma teknolojileri değerlendirilerek yeniden kullanım alanlarının her biri için kılavuz, el kitabı ve broşürler hazırlanacaktır. Arıtılmış atık suların yeniden kullanımında fayda-maliyet analizi yapılacaktır.

Söz konusu projenin, atıksu kaynaklı çevre kirliliğinin önlenmesine, özelleştirme için fırsatlar sunulmasına, temiz su kaynaklarına olan talebin azalmasına sebep olacağı ve bu sayede ulusal kalkınma hedeflerine ulaşmaya katkı sağlayacağı düşünülmektedir [32].

Örneğin; ülkemizde arıtılmış atıksuların yeniden kullanım oranı 2018 yılında % 1.2 seviyesinde iken 11. Kalkınma Planı'nın 2023 yılı kentsel altyapı hedefinde ise bu oranın %10 olması beklenmektedir.

Ayrıca *"Arıtılmış atıksuların başta tarım olmak üzere yeniden kullanılması için havza bazında planlama yapılması ve su kaynakları üzerindeki baskının azaltılması*" yine kalkınma planının hedefleri arasındadır [4].

Arıtılmış atıksuların endüstride yeniden kullanılması

2004 yılında EPA tarafından *"Suyun Yeniden Kullanım Kılavuzu"*nun yayımlanmasıyla, geri kazanılmış suyun endüstriyel kullanımı, elektronikten gıda işlemeye kadar çeşitli endüstrilerde ve enerji üretim endüstrisinde daha geniş bir yer bulmaya başlamıştır. Son yıllarda, bu endüstriler tarafından geri kazanılmış atıksu; proses suyu, kazan besleme suyu ve soğutma kulesinde kullanılmakla birlikte yeşil alan sulanmasında da ilave su kaynağı olarak kullanılmaktadır. Dünya genelinde kullanılan suyun %18'i sanayi amaçlı olup bu miktarın da yarısına varan kısmı farklı proseslerde soğutma suyu olarak kullanılmaktadır [33].

Türkiye'de ise Çizelge 2.6'da görüleceği üzere imalat sanayinde tüketilen 2.885.154.000 m^3 suyun 2.202.695.000 m^3'ünün soğutma suyu olarak kullanılmış olması geri kazanım sularının önemini ortaya çıkarmaktadır.

Çizelge 2.6 : İmalat sanayi su göstergeleri (2004 – 2018) [34].

	2004	**2008**	**2010**	**2012**	**2014**	**2016**	**2018**[5]
Tüketilen su miktarı	1.215.060	1.311.748	1.550.889	1.786.145	2.349.106	2.288.970	2.885.154
Proses suyu	312.550	352.743	390.091	329.840	345.727	425.623	489.730
Takviye kazan suyu	46.790	43.736	37.259	29.520	36.601	37.677	52.971
Takviye soğutma suyu	746.780	777.463	970.751	1.301.611	1.817.076	1.684.799	2.202.695
Evsel su kullanımı	72.410	76.271	102.031	67.182	83.886	86.004	87.123
Diğer kullanımlar	36.530	61.535	50.756	57.992	65.816	54.868	52.635

[5] Bin m^3

Tüm bu sebeplerle geri kazanılmış suların endüstride kullanılması, özellikle gelişmiş ülkelerde çok yaygındır. Çizelge 2.7'de bazı sanayi gruplarının birim tüketimlerinin oransal dağılımı görülmektedir.

Çizelge 2.7 : Sanayi gruplarına göre tüketilen suyun oransal dağılımı (%)[35].

Sanayi grubu	Proses	Kazan suyu	Soğutma	Evsel su	Diğer
Dokuma, giyim eşyası	65,64	12,07	4,73	12,5	5,06
Kağıt, kağıt ürünleri	72,87	4,33	12,09	7,83	2,89
Metal eşya vb.	35,24	2,32	5,45	48,89	8,11

Endüstrilerde kullanılacak proses suyu kalitesi için genel şartlar öncelikle atıksuyun ikinci kademe arıtımı ve dezenfeksiyonunun gerçekleşmesi ile sağlanmaktadır.

Sonrasında sektörel kullanıma yönelik su kalite kriterleri göz önünde bulundurularak atıksuyun ileri arıtma işlemlerinden geçirilmesi gerekebilmektedir. Örneğin, elektronik endüstrisi, devre kartlarını ve diğer elektronik bileşenleri yıkamak için neredeyse damıtılmış (saf) kalitede su gerektirmektedir. Öte yandan, tabaklama endüstrisi nispeten düşük kaliteli su kullanabilmekte iken tekstil, kağıt hamuru ile kağıt ve metal imalatı için orta kalitede suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, arıtılmış atıksuların endüstriyel alanlarda yeniden kullanımının fizibilitesi yapılırken, proses suyundaki spesifik gereksinimlerin göz önünde bulundurulması ve potansiyel kullanıcılarla temas halinde olunması gerekmektedir [36].

Endüstriyel alanda arıtılmış atıksu kullanımını kısıtlayan nedenler arasında;

- patojenler hakkındaki endişeler
- ürün kalitesi gereksinimleri
- yüksek korozyon ihtimali görülmektedir.

Ayrıca soğutma suyu olarak geri kazanılmış atıksuların kullanılması halinde; korozyon, çökelek ve mikrobiyal büyüme konularına dikkat edilmelidir. Tüm kazanlarda içme suyu ve arıtılmış atıksu ile çalışmalarda sertliğin sıfıra yakın olması istenmektedir. Kazanlarda; kalsiyum, alüminyum, magnezyum ve silisyum çökelek oluşturduğu için arıtılması gerekmektedir [37].

Geri kazanılmış su kullanılmadan önce iyi bir biyolojik kontrol programının olması da önemlidir. Amonyak ve organikler, geri kazanılmış suda bulunan ve yaygın olarak

kullanılan bazı biyositleri (özellikle katyonik yüklü polimerler) azaltabilen veya ortadan kaldırabilen tipik besinlerdir.

İkincil arıtmadan geçirilerek çözünmüş katılardan, tuzlardan, amonyak ve fosfordan büyük ölçüde arındırılmış evsel atıksular ya da benzer kalitede arıtılmış sanayi suları, bu maddelerin sistemde neden olabilecekleri çökelme, aşındırma, mikroorganizma gelişmesi ve tortu oluşması gibi sorunlardan büyük ölçüde arındırılmış olduklarından soğutma suyu ve soğutma suyu takviyesi olarak kullanıma son derece uygundur. [38]

Bu problemler, geri kazanılmış suyun yanı sıra içilebilir sudaki kirleticilerden de kaynaklanmakta, ancak geri kazanılmış sudaki bazı kirleticilerin konsantrasyonları, içilebilir sudakinden daha yüksek olabilmektedir. Çizelge 2.8'de, Florida ve Kaliforniya'dan bazı geri kazanılmış su kalitesi verileri sunulmaktadır.

Çizelge 2.8 : Florida ve Kaliforniya geri kazanılmış su kalite verileri [39].

Sudaki bileşenler	**Orlando**	**Tampa**	**Los Angeles**	**San Francisco**
İletkenlik	1200-1800	600-1500	2000-2700	800-1200
Toplam alkalinite	150-200	60-100	140-280	30-120
Klorür	20-40	30-80	250-350	40-200
Fosfat	18-25	10-20	300-400	20-70
Amonyak	10-15	5-15	4-20	2-8
AKM	3-5	3-5	10-45	2-10

Kimya endüstrisi için su kalite gereklilikleri üretime göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Genel olarak nötral pH aralığında olan, kısmen yumuşak, düşük bulanıklığa ve düşük askıda katı madde içeriğine sahip sular gerekmektedir. Çözünmüş katı madde ve klorür içeriği çok önemli değildir.

Tekstil üretiminde kullanılan suların kağıt sanayine benzer olarak leke bırakmaması, dolayısıyla düşük bulanıklık, renk, demir ve manganez içeriklerinin olması gerekmektedir. Sertlik, sabun kullanılan bazı proseslerde soruna yol açabilirken nitrat ve nitrit, boyamada problemlere sebep olmaktadır. Ayrıca birçok boya, su içindeki klordan zarar görmektedir. Sudaki askıda katı maddeler ise, bazı boyama sistemlerinde iplik veya kumaşta lekeler bırakmaktadır.

Tekstil terbiye işletmelerinde su, kazan suyu ve proses suyu olarak kullanılmaktadır. Kazan suyu, ürün ile temas etmezken tekstil terbiyesinde kullanılan proses suyu, kumaşa temas eden ve kumaşın kalitesi üzerinde etkisi olan sudur.

Metal kaplama endüstrileri için de su kalite ve miktarları proses aşamasına göre farklılık göstermektedir. Örneğin kaplama çözeltilerin durulama işlemi deiyonize, demineralize ve çeşme suyu olarak üç farklı su türü kullanılarak yapılabilmektedir.

Metal kaplama endüstrisinde içmesuyu organik çözücülerin, baz ve asit çözeltilerinin durulanmasında kullanılırken deiyonize su ise kaplama işlemi sonrasında durulama ve son durulama işlemlerinde kullanılmaktadır [40].

Çoğu endüstride olduğu gibi en çok su, durulama ve soğutma proseslerinde kullanılmaktadır. Bir kısım su da proseslerde kaplama çözeltisi hazırlanmasında kullanılmaktadır.

Kağıt endüstrisi ise dünyada birim üretim başına kullanılan su miktarı açısından metal ve kimya endüstrilerinden sonra üçüncü sırada yer almaktadır.

Tüketilen su miktarı üretilen kağıdın kalitesine ve üretim sürecine bağlı olarak değişmekle birlikte yaklaşık 1 ton kağıt için 15-60 m^3 civarında su kullanılmaktadır [41].

Geri kazanılmış su endüstriyel amaçlar için ilk kez kağıt hamuru ve kağıt endüstrisinde kullanılmıştır. Halen de birçok kağıt endüstrisinde tesis içi kapalı devre su kullanımı ile arıtılmış atıksuların üretim dahil birçok süreçte kullanımı devam etmektedir.

Arıtılmış atıksuların kağıt ve kağıt hamuru sanayinde yeniden kullanımı, kağıdın maliyeti ve sınıfının bir fonksiyonudur. Yüksek kaliteli kağıt daha kaliteli su gerektirmektedir. Suda bulunan metal iyonları ve renkli kirleticiler gibi safsızlıklar üretim kalitesini bozabilmektedir.

Çizelge 2.9'da EPA'nın farklı endüstriler için belirlemiş olduğu proses suyu kalite standartları verilmiştir.

Çizelge 2.9 : Farklı endüstriler için proses suyu kalite standartları [39].

Parametre	Kağıt Hamuru ve Kağıt			Kimya	Petrokimya ve Kömür	Tekstil		Çimento
	Mekanik Boru Şebekesi	Kimyasal, Ağartılmamış	Kağıt Hamuru ve Ağartılmış Kağıt			Boyutlandırma ve Süspansiyon	Arındırma Ağartma ve Boyama	
Cu	-	-	-	-	0,05	0,01	-	-
Fe	0,3	1	0,1	0,1	1	0,3	0,1	2,5
Mn	0,1	0,5	0,05	0,1	-	0,05	0,01	0,5
Ca	-	20	20	68	75	-	-	-
Mg	-	12	12	19	30	-	-	-
Cl	1000	200	200	500	300	-	-	250
HCO_3	-	-	-	128	-	-	-	-
NO_3	-	-	-	5	-	-	-	-
SO_4	-	-	-	100	-	-	-	250
SiO_2	-	50	50	50	-	-	-	35
Sertlik	-	100	100	250	350	25	25	-
Alkalinite	-	-	-	125	-	-	-	400
TÇKM	-	-	-	1000	1000	100	100	600
AKM	-	10	10	5	10	5	5	500
Renk	30	30	10	20	-	5	5	-
pH	6 ile 10 arası	6 ile 10 arası	6 ile 10 arası	6,2 ile 8,3	6 ile 9 Arası	-	-	6,5 ile 8,5 Arası

Arıtılmış atıksuyun endüstride tekrar kullanılması değerlendirilirken, kullanılacak suyun her bir adımdaki amaca uygun niteliğe sahip olması, tüm prosesler için yüksek kalitede suya ihtiyaç olmadığının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Geri kazanılmış suların çoğu uygulamasında, özellikle endüstrilerde soğutma suyu olarak kullanımında, elverişli su kalitesi ikincil arıtma ile filtrasyon ve dezenfeksiyon proseslerinin uygulanmasıyla sağlanmaktadır. Ancak potansiyel insan teması göz önünde bulundurulduğunda nanofiltrasyon, ters osmoz, iyon değiştirici ve karbon adsorbsiyonu gibi ileri artım teknolojilerinin uygulanması gerekebilmektedir.

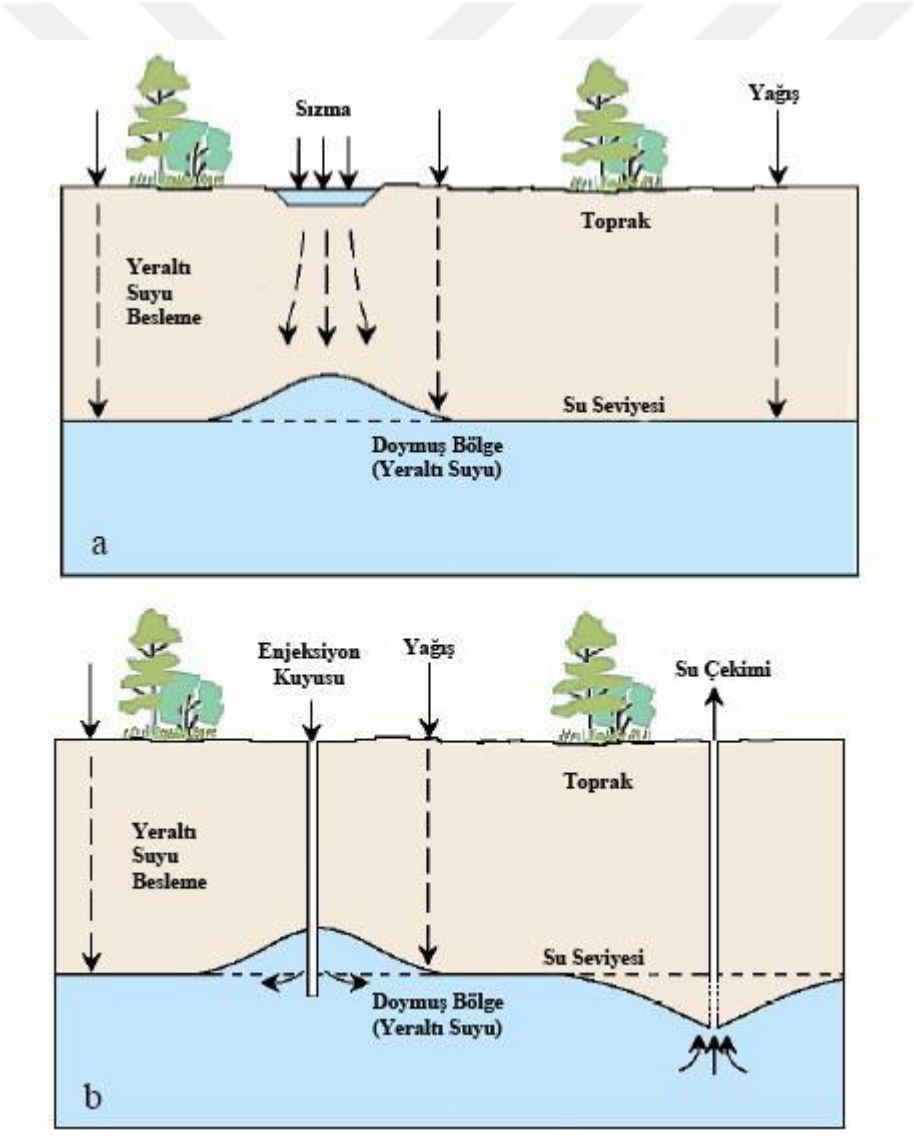
Akifer depolama

"Akiferler, içerdiği yeraltı suyunun açılan su kuyuları vasıtasıyla yüzeye çıkartılabildiği, suya doygun ve su taşıyabilen gözenekli kaya kütlesi veya çakıl, kum, silt veya kil gibi malzemelerden oluşan yeraltı katmanlarıdır". Toprak, göl veya nehirlerden sızan yağmursuyuları ile beslenmektedirler [42].

Yeraltı sularının doğal beslenmesi, yavaş seyreden bir süreç olduğundan, yeraltı suyu seviyesinin artırılmasında arıtılmış atıksu veya yağmursuyu ile suni besleme yöntemleri giderek önem kazanmaktadır.

Yüzeyden sızdırma; en eski, en basit ve en yaygın kullanılan suni besleme yöntemidir. Yüzeyden sızdırmada besleme suları doygun olmayan yeraltı suyu (YAS) bölgesinde oluşturulan sızdırma havuzlarından sızdırılmaktadır. Filtrasyon kabiliyeti ise toprak yapısı ve bitki örtüsüne göre değişkenlik göstermektedir.

Doğrudan enjeksiyon ise, iyi arıtılan geri kazanılmış suyun, özellikle yüksek su tutma kapasitesine sahip bir akifere doğrudan enjekte edilmesi esasına dayanmaktadır.



Şekil 2.19 : Akifer beslemede kullanılan yöntemlerin şematik gösterimi (a) sızdırma, (b) doğrudan enjeksiyon [44].

Şekil 2.19'da doğrudan enjeksiyon ve yüzeyden sızdırma yöntemlerinin şematik gösterimi verilmektedir.

Akifer beslemede kullanılan yöntemlerden doğrudan yeraltı suyu besleme, alan veya hidrojeolojik koşulların yüzeyden sızdırmaya elverişli olmadığı durumlarda (düşük geçirgenliğe sahip zemin, uygun olmayan topografya vb.) tercih edilmektedir [43].

Hem yüzeyden sızdırma, hem de doğrudan enjeksiyonda, beslenen suyun akış yolu uzunluğu ve temas süresinin artması amacıyla yerleştirilen çekme kuyuları sızdırma havuzlarından ya da enjeksiyon kuyularından mümkün olduğunca uzak bir mesafede olmalıdır.

Toprak Akifer Arıtma (SAT) sistemlerinde; sızma (infiltrasyon) boyunca gerçekleşen ilave arıtma ilk 1 m'de olmasına rağmen mikroorganizma giderimi açısından bu mesafenin yeterince uzun olması istenmektedir. Bir akiferde her 100 m'lik sızma (infiltrasyon) mesafesine karşı 1 aylık bekletme süresi önerilmektedir.

Akifer depolama yönteminde kuyuların tıkanmasını önlemek için, yüzeyden sızdırma yöntemine kıyasla daha ileri arıtma teknolojilerine gereksinim duyulmaktadır. Yüksek maliyetine rağmen yüzey ve yer altı suyu sıkıntısı çekilmesi halinde su temini ve güvenliğini sağlamak için kullanılabilecek yöntemler arasındadır.

Akifer besleme yöntemleri, kentsel alanlarda büyük hacimli su depolama kapasitesi sağlayarak suya duyarlı kentsel tasarım, entegre kaynak yönetimi, sürdürülebilir drenaj sistemleri ve yeşil altyapı hedeflerine ulaşılmasında önemli bir yere sahiptir.

Ancak büyük hacimlerde suyu depolayabilecek uygun akiferlerin tespit edilmesi ve içmesuyu olarak kullanılan akiferlerde kirlilik yükünün artması ihtimali de göz önünde bulundurularak fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Ayrıca; kentsel su kaynaklarının ve çevre yönetiminin çoğu zaman parçalanmış yapıda olması akifer besleme yöntemlerinin uygulanmasının önündeki en büyük engellerden biridir.

İçme suyu için kullanılmayan akiferlerin yeraltı suyu ile beslenmesi yöntemi uzun yıllardır uygulanmaktadır. Ancak genellikle arıtılmış atık suların kalitesini iyileştirmek için ek bir arıtma aşaması olarak görülmüştür [45].

Arıtılmış atıksuların akifer beslenmesi konusunda "Yeraltı sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" kapsamında düzenlemelere yer verilmiştir. Yönetmeliğin 5. Maddesi'nde "Yeraltı sularına kalitesi her ne olursa olsun atık suların doğrudan deşarjı yasaktır." hükmü yer almaktadır.

İçme suyu temini amacıyla kullanılmakta olan ve/veya kullanılması planlanan YAS kütlelerinin kalite durumu "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" eklerinde yer alan parametre listesi ve standartları dikkate alınarak bu yönetmelikteki esaslar doğrultusunda değerlendirilmektedir. Yönetmelikte, "Bu su kütlelerinin koruma alanlarına, arıtılmış olsun ya da olmasın atık suların doğrudan ve/veya dolaylı deşarjı yasaktır." hükmü yer almaktadır.

Arıtılmış atık suların YAS kütlelerine dolaylı olarak deşarjına, yeraltı suyunun kullanım maksadı, kalitesi ve verilecek olan arıtılmış suların yeraltı suyuna karışması halinde yeraltı suyunun taşıma kapasitesi de dikkate alınarak yapılacak olan mühendislik çalışmaları sonucunda, 29/4/2009 tarihli ve 27214 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik" hükümleri gereğince Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından izin verilmekte ve verilen izinlerin envanteri yılda bir kez SYGM'ye bildirilmektedir [46].

2.2.4.2. Gri su

2000'li yıllarda gündeme gelen evsel atıksu yönetimi (ECOSAN) yaklaşımında atıksular uzaklaştırılması gereken atıktan ziyade değerlendirilmesi gereken bir kaynak olarak görülmekte olup bu kapsamda atıksuların gri su, sarı su ve kahverengi su olmak üzere üç akım halinde, kaynağında ayrı ayrı toplanması ve her bir akımın özelliğine uygun işlemlerden geçirilerek tekrar kullanılması önerilmektedir [47].

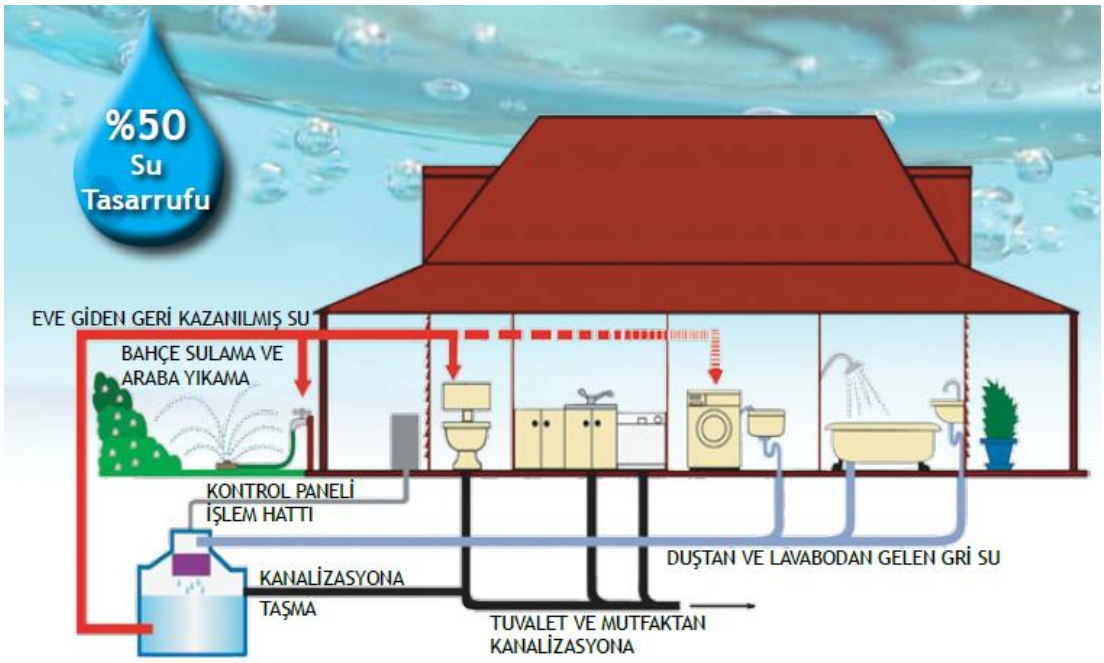
Tuvalet suları haricindeki banyo, lavabo, çamaşır makinesi vb. kullanımından kaynaklanan tüm atık sular gri su olarak tanımlanmaktadır. Hacimsel oranda evsel atıksuyun %75'ini oluşturan (sosyoekonomik durum, rezervuar hacmi vb. etkenlerle ilişkili olarak farklılık gösterebilmektedir.), fekal ve ürinal artıkların yer almadığı dolayısıyla patojen bulunma ihtimalinin az olduğu, kentsel atıksulara kıyasla en düşük kirlilik seviyesine sahip atıksudur [48].

Gri sular, yenilenebilir ve güvenilebilir alternatif su kaynağı olması nedeniyle su stresi yaşanan kentler için büyük bir öneme sahiptir. Gri suyun özellikle sulamada doğrudan kullanımı dünya genelinde yaygın bir uygulama olmakla birlikte geri kazanım sitemlerinde arıtma işlemine tabi tutulması ve hatta direkt temas gerektiren kullanımlar öncesinde mikrokirleticiler yönünden değerlendirilmesi tavsiye edilmektedir [49].

Gri su geri kazanım sistemleri kurulurken öncelikle su ihtiyacı ve su kullanımı neticesinde oluşacak gri su miktarı (duştan, lavabodan, küvetten gelen su) göz önünde bulundurulmaktadır. Konutlarda kullanılan birim su sarfiyatı genellikle sabit kabul edilmekle birlikte sosyoekonomik koşullara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Örneğin kentlerdeki su ihtiyacı kırsal yerleşim alanlarına kıyasla çok daha yüksektir. Avrupa genelinde birim su tüketimi 129 L/kişi. gün iken bu değer İstanbul'da 191 L/kişi. gün'e çıkmaktadır.

Gri su sistemlerinde genellikle duş lavabo ve küvetten gelen (mutfak ve çamaşır makinesinden gelen gri sulara kıyasla daha az kirli sayılabilecek) gri suyun toplanarak arıtılması tercih edilmektedir. Bu miktar evsel atıksuyun hacimsel olarak %30'luk kısmına denk gelmektedir [50].

Şebeke sisteminde ise içme ve kullanım suyu hatlarının birbirine bağlantısının olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Hatta gri suyun arıtılması neticesinde oluşan kullanım suyunun geçtiği boruların, herhangi bir karışıklığa sebebiyet verilmemesi adına içmesuyu şebeke borularından farklı bir renkte olması gerekmektedir. Ayrıca sisteme yapılan şebeke suyu besleme hattının DIN EN 1717 standardına uygun ve geri akışa olanak vermeyecek şekilde tasarlanması önemlidir [51].



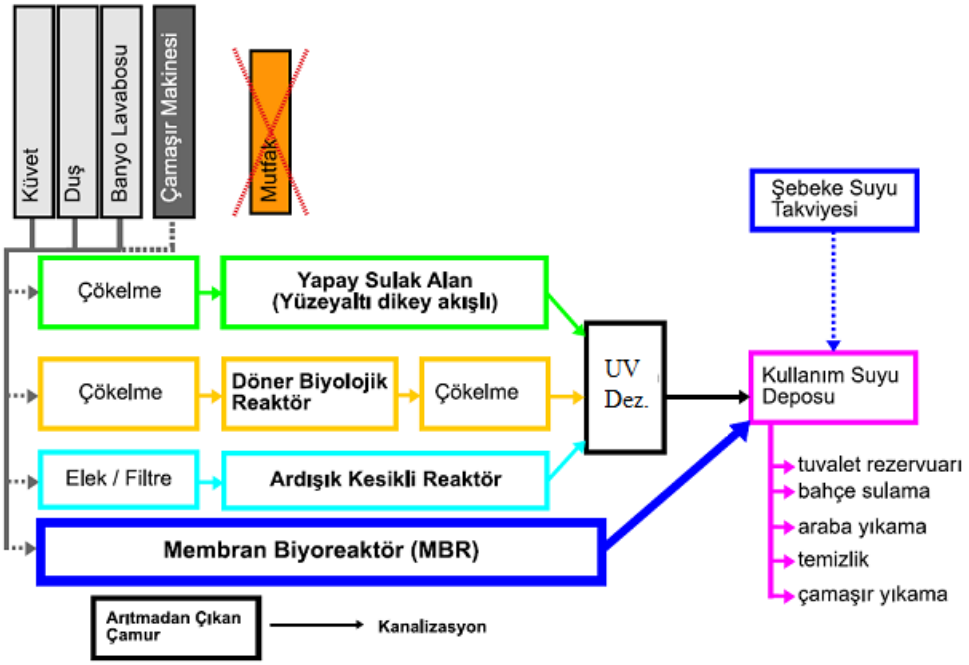
Şekil 2.20 : Gri su geri kazanım sistemi [52].

Uygun borulama sistemiyle toplanarak depolama tanklarına iletilen gri suların arıtılmasında fiziksel, kimyasal ya da biyolojik arıtma teknolojileri kullanılabilmektedir. Ancak genelde kimyasal eklenmesine gerek olmayan, az enerji ve bakım gerektiren teknolojiler tercih edilmektedir.

Bu teknoloji ve yöntemler arasında ise

- Yapay Sulak Alan
- Döner Biyolojik Reaktör
- Ardışık Kesikli Reaktör
- Membran (MBR) sistemleri yer almaktadır.

Şekil 2.21'de gri suyun arıtılmasında kullanılabilecek biyolojik arıtma yöntemleri verilmiştir.



Şekil 2.21 : Gri su arıtılmasında kullanılabilecek biyolojik arıtma yöntemleri [48].

Gri su suyun Çizelge 2.10'daki kalite standartlarını sağlaması halinde sadece sifon suyu olarak kullanılması ile evsel kullanımda içmesuyu kalitesindeki suyun %25'inden tasarruf edilerek tatlı su kaynakları üzerindeki baskı azaltılabilecektir.

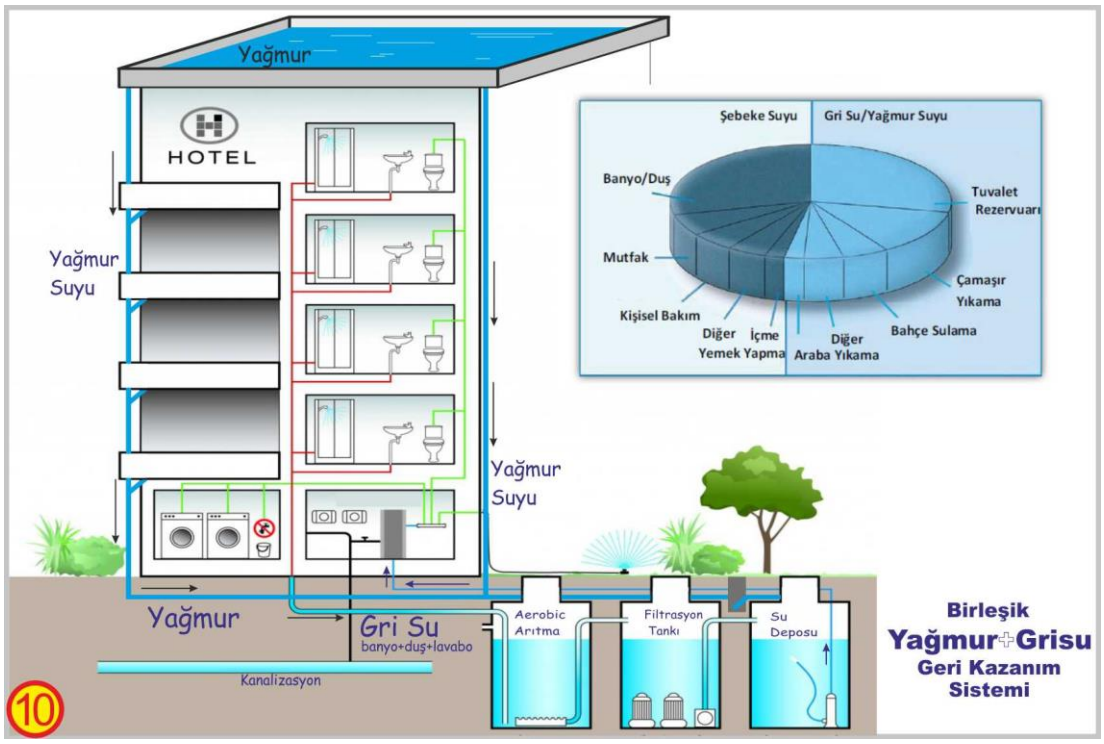
Çizelge 2.10 : Avustralya, Berlin ve WHO sifon suyu limitleri [50].

Parametre	Birim	Sifon Suyu Limitleri
BOİ	mg/lt	5-20
AKM	mg/lt	10-30
Toplam Koliform	cfu/100 ml	10
E.coli	cfu/100 ml	1-10

İstanbul'da gri su kullanımına ilişkin hususlar İSKİ "Sıhhi Tesisat Eğitim ve Uygulama Esasları Yönetmeliği"nde, "Binalarda oluşan gri atık suyun yerinde ayrılarak toplanması, depolanması ve SKKY kriterlerinde arıtılmasının sağlanması halinde; peyzaj sulamalarında, yangın söndürme veya rezervuarlarda kullanma suyu olarak kullanılması teşvik edilir."

"…yeni kurulacak şehirler, site ve kooperatiflerde arıtılmış atıksuyun kullanımı maksadıyla içmesuyu hattı yanında site veya bina sahipleri tarafından ikinci bir hat döşenebilir." ifadeleri ile yer almakta olup herhangi bir yaptırımın olmadığı görülmektedir [53].

Yağmur suyu ve gri suların bir arada kullanımı ise her iki kaynağın birbirinden farklı nitelikleri sayesinde konutlarda farklı ihtiyaçların karşılanmasına yönelik bir alternatif olarak görülmektedir. Yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı bir arada düşünüldüğünde binalarda %80'lere varan oranda su tasarrufu mümkün olmaktadır.(Şekil 2.22) Ancak her iki sistemin entegre biçimde çalıştırılması tasarımın karmaşıklaşmasına neden olmakta, bu durum projelendirme ve inşaat maliyetlerinin artması sonucunu getirebilmektedir.



Şekil 2.22 : Yağmur suyu- gri su geri kazanımı ve dağıtımı şematik gösterimi [52].

Nüfus artışının ve iklim değişikliği etkileri karşısında azalan su kaynaklarının korunması ve atıksu arıtma sistemine giren atıksu debisinin azaltılması gibi faydaları bulunan gri su kullanımının ülkemizde, Ankara Gölbaşı ilçesinde yeni inşa edilecek binalar hariç, mevzuatlarda yaptırımının olmadığı görülmektedir.

Hilton İstanbul Otel, Barut Otel Sorgun, Polat Holding Renaissance, İstanbul Varyap Meridyen, İstanbul Zorlu Center, İstanbul Özel Amerikan Robert Lisesi, İstanbul Erkek Lisesi Vakfı 125. Yıl İlköğretim Okulu, İstanbul Pera Days Otel, Ağaoğlu Maslak 1453, Antalya Eko Ev ve Yeni Hayat Evleri projelerinde de duş ve lavabolardan toplanan gri sular geri kazanım sistemlerinden geçtikten sonra tuvalet rezervuarlarında ve bahçe sulamasında kullanılmaktadır. Zorlu Center Projesi'nde 250 m^3/gün kapasiteli gri su geri kazanım sistemi yer almaktadır.

2019 yılı itibariyle Ankara Gölbaşı ilçesinde inşa edilecek yeni konutlarda gri su sisteminin kurulma zorunluluğu yasa ile kabul edilmiştir.

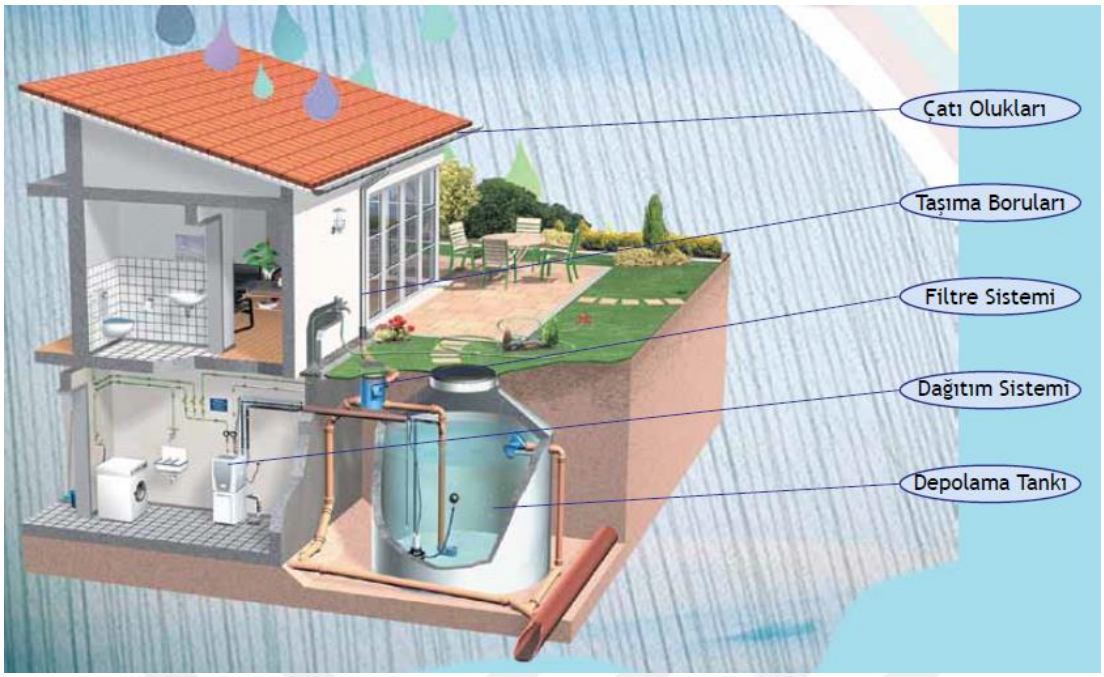
2.2.4.3. Yağmursuyu hasadı

Yağmursuyu hasadının amacı kar ve yağmur sularının insanların içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarının sağlanması amacıyla depolanmasıdır.

Çatı yüzeyinde yağmursuyu hasadı yöntemiyle yağışlı havalarda binanın çatısına düşen yağmursuyu tortu ve yaprak gibi maddelerden arınması için filtreden geçirildikten sonra oluk kanallarına aktarılmaktadır (Şekil 2.23). Yağışın ilk beş dakikasındaki suyun (first flush) kirlilik yükü fazla olacağından öncelikle kanalizasyon sistemine iletilmektedir. Devamında gelecek olan yağmursuları toplanarak çatı yıkayıcı filtreler sonrasında kullanım amacına göre ya bir arıtma ünitesinden geçmekte ya da toprak yüzeyinde veya yeraltında bulunan depolama tankına iletilmektedir (Şekil2.24).



Şekil 2.23 : Yaprak tutucu ve oluk filtreler [54].



Şekil 2.24 : Çatı yüzeyinden yağmursuyu hasadı [55].

Depolama yapıları betonarme, fiberglas ya da paslanmaz çelik malzemelerden üretilebilmektedir. Yağmursuyu hasadından elde edilecek su, gri su şebekesiyle tuvalet rezervuarlarında kullanılabileceği gibi Çizelge 2.11'de verilen arıtma yöntemleri sonrasında çamaşır makinelerinde ve bahçe sulamasında da kullanılabilecektir [56].

Çizelge 2.11 : Yağmursuyu arıtma yöntemleri [49].

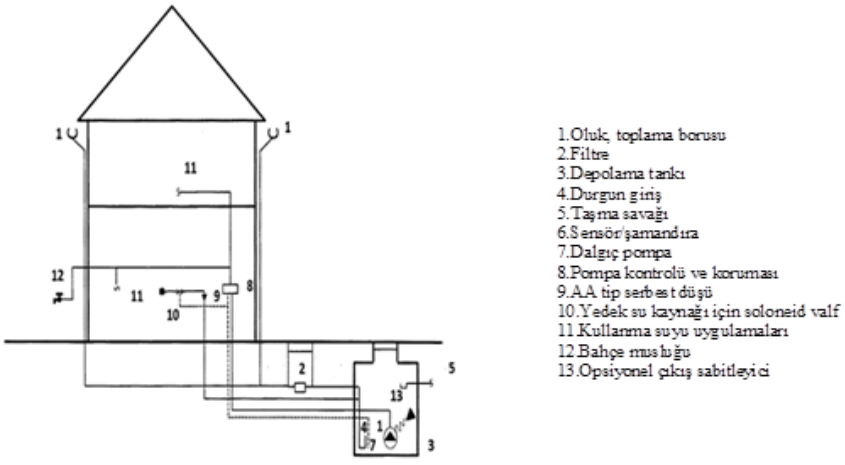
Yöntem	**Uygulama Yeri**	**Faydası**
Izgara	Çatı ve toplama oluğu	Yaprak ve diğer maddeleri tutar
Çökeltme (sedimantasyon veya aktif karbon)	Depolama tankı ve musluk girişi	Partikül madde giderimi
Filtreleme (aktif karbon veya yavaş kum filtresi)	Depolama tankı girişi, pompa çıkışı	AKM giderimi, partikül madde tutulması
Mikrobiyolojik giderim, dezenfeksiyon (UV,Ozon,kimyasal arıtım,TO,NF)	Kullanım öncesi Depolama tankı veya pompa içi	Mikroorganizma ve inorganik kirlilik giderimi



Şekil 2.25 : Yağmursuyunun tekrar kullanımının şematik gösterimi, Su Bulvarları, Londra [57].

Ülkemizde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik"te yağmursuyu hasadı aşağıdaki şekilde tanımlanmakta ve ekinde örnek tip kesitler (Şekil 2.26) verilmektedir.

"Park, bahçe ve bina çatı yüzeylerine düşen yağmursularının toplanarak evlerde, işyerlerinde ve bahçelerde kullanma suyu, yangın suyu veya ticari sulama suyu olarak su dağıtım ve temin sistemlerine bir seçenek olarak kullanılabilir." [58].



Şekil 2.26 : Yağmursuyu hasadı örnek tip kesit [58].

Ayrıca Yağmur Sularının Hasadı ve Depolanarak Kullanılmasına ilişkin hususlar İstanbul için "İSKİ Sıhhi Tesisat Eğitim ve Uygulama Esasları Yönetmeliği"nin ilgili maddesinde;

"Yağmursuyunun hasat edilmesi ve depolanması halinde; ilgili mevzuat hükümleri ve teknik standart dokümanlarda belirtilen kalite kriterlerinin sağlanarak yangın söndürme, çamaşır yıkama, sifon suyu ve endüstriyel işlemlerde ya da arıtılarak farklı amaçlarda kullanılmasının teşvik edildiği" belirtilmektedir [53].

Çatı yüzeyinden yağmur suyu hasadı yöntemi ile elde edilecek tasarruf miktarının hesaplanabilmesi için öncelikle yağmursuyu ve gri su potansiyelinin ortaya konulması gerekmektedir.

Çatı yüzeyinden toplanacak yağmursuyu miktarı yağmursuyu verimi hesabı ile belirlenmektedir :

Yağmur suyu verimi*: Yağmur toplama alanı x yağış miktarı x çatı katsayısı x filtre etkinlik katsayısı.*

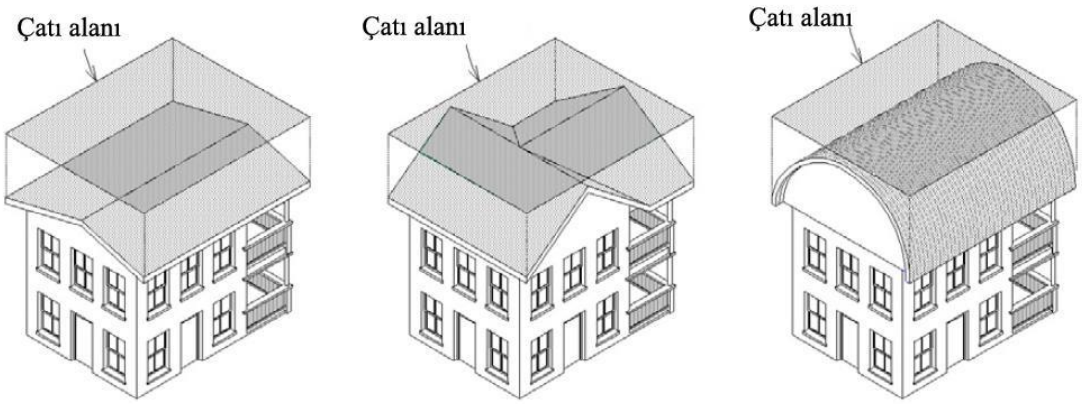
$$S=A \times P \times c \times \mu \qquad (2.1)$$

Yağmur toplama alanı (A): Üzerinde çatı bulunan alandır. Çünkü Şekil 2.27'de görüldüğü üzere çatı alanı ne olursa olsun üzerinde çatı bulunan zemin alanına düşen yağış miktarı değişmemektedir. (m^2)

Yağış miktarı (P): Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen toplam yıllık yağış miktarıdır. (mm)

Çatı katsayısı (c): Alman standartları tarafından DIN1989'da 0,8 olarak belirtilen katsayıdır. Çatıya düşen bütün yağmurun geri dönüştürülemeyeceğini ifade etmektedir.

Filtre etkinlik katsayısı (μ)*:* Alman standartları tarafından DIN1989'da belirtilen katsayıdır (0,9). Çatıdan elde edilen yağmur suyunun, görünen katı maddelerden ayrıştırılması için geçirilen ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır. Suyun bir miktarının buradan geçemeyeceği hesaplanarak verilen bir katsayıdır.



Şekil 2.27 : Çatı izdüşüm alanı örnekleri [59].

Ayrıca çatıya düşen yağış miktarının hesaplanmasında çatı alanı değil de üzerinde çatı bulunan alan esas alınmaktadır. Çünkü yağışın yeryüzünde metrekareye düşen miktarı dikkate alındığından dolayı çatı alanı ne olursa olsun üzerinde çatı bulunan zemin alanına düşen yağış miktarı değişmemektedir.

İkinci olarak evsel birim su tüketim verileri kullanılarak yıllık ihtiyaç debisi hesaplanmakta ve elde edilen yağmursuyu verimi ile kıyaslanarak tasarruf miktarı belirlenmektedir.

Hasat edilen yağışın depolanması için gereken hacim hesaplanırken haftalık veya aylık toplanan suyun en az gri su olarak kullanılabilecek miktarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu amaçla yıl içerisindeki en fazla yağış alan ayın ortalama değeri dikkate alınarak verim hesapları yapılmaktadır (denklem 2.2). Ayrıca iklim değişikliği vb. etkiler neticesinde devam eden yıllardaki olası yağış artışını değerlendirebilmek için hesaplanan depo hacmine (denklem 2.3)'te görüldüğü gibi %20'lik oranda bir değişim katsayısının ilave edilmesi gerekmektedir.

$$Smax = Mmax \; x \; A \; x \; C \; x \; \mu \qquad (2.2)$$

Smax = Aylık depolanabilecek en fazla ortalama su miktarı (m^3)

Mmax = En yağışlı ayın yağış ortalaması (mm)

$$V = Smax \; x \; 1.2 \qquad (2.3)$$

V = Gerekli depo hacmi (m^3)

2.2.5. En iyi uygulamalar

2.2.5.1. Dünyadaki uygulamalar

ABC Sular Programı- ABC Waters

Aktif, Güzel, Temiz (ABC) Sular programı, Singapur'un sürdürülebilir şehir planlamasının yağmur suyu yönetimi ile nasıl entegre edildiğinin iyi bir örneğidir. Çizelge 2.12'de ABC Sular Programının açılımdaki aktif, güzel ve temiz ifadeleri ile hedeflenenler özetlenmiştir.

Çizelge 2.12 : ABC Sular Programı'nın açılımı [60].

Aktif (Active)	Güzel (Beautiful)	Temiz (Clean)
İnsanları suya yaklaştırıp toplumla iç içe rekreasyon alanları oluşturan.	Beton su yollarını, kentsel çevre ile entegre edilmiş estetik su manzaralarına dönüştüren.	Temiz su kaynaklarının ve halk eğitiminin bütünsel yönetimi sayesinde su kalitesini iyileştiren.

Singapur, kentin arazi kullanım planından en verimli şekilde faydalanabilmek adına su yollarının konut, ticari ve rekreasyon alanlarıyla entegre edilmesini ve tüm şehrin bir yağmursuyu toplama havzası olarak görülmesini kabul etmektedir. Kanallar, nehirler aracılığıyla toplanan yağmursuları ham su kaynağı olarak işlem görmek üzere rezervuarlarda (barajlarda) toplanmaktadır. Bu strateji ile Singapur'un su yolları potansiyelinin en yükseğe çıkarılması hedeflenmektedir.

ABC Sular Programı bir dizi kurumsal ve politik değişikliğin ardından uygulanabilmiştir. Öncelikle 2001 yılında su, atıksu, drenaj, su ve deniz suyu arıtma, geri kazanım suyu gibi tüm görevler tek bir çatı altında toplanmıştır. Böylelikle Singapur'un su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak için bütünsel olarak çalışılabilmiştir.

2006 yılında Singapur Ulusal Su Ajansı (PUB) tarafından başlatılan ABC Sular Programı, barajlar ve su kanalları etrafında "yeşil" ile "mavi"nin birleştirildiği, toplumla iç içe, rekreasyon amaçlı kullanımına izin verilen temiz ve güzel nehirler, göller yaratmak amacıyla başlatılmıştır. *Marina Barrage Projesi* ise ülkede bu program kapsamında hayata geçirilen birçok projeden biridir.

Proje ile Marina'nın ağzında tatlı su rezervi olarak hizmet edecek ve aynı zamanda taşkın kontrolünü sağlayacak bir göl oluşturulmuştur. Membran teknolojisindeki gelişmelerle birlikte kentleşmiş havzalardan elde edilen ham suyun, içme suyu üretmek için uygun maliyetli bir şekilde arıtılması hedeflenmiştir. Ayrıca kentin dokusunda su kaynağı olarak kullanılacak yeni barajlar için ayrı, rekreasyon amaçlı kullanım için ayrı alanların tahsis edilmesine gerek kalmamıştır.

Marina Barajı Projesinin Singapur'a sağladığı faydalar:

- 10.000 hektar yüz ölçümüne sahip adanın en büyük su havzası oluşturularak ülkenin su arzı artırılmıştır. (Singapur'un su ihtiyacının %10'u bu barajdan sağlanmaktadır.)
- Alt havzalardaki taşkın riskini azaltmıştır.
- Halka açık bir rezerv alanı olması sebebiyle son on yılda, 15 milyona yakın kişi turizm, piknik, su sporları ve diğer etkinlikler için barajı ziyaret etmiştir.

ABC Sular Programı'nın anlamlı ve değerli sonuçlarından biri de Kallang Nehri üzerindeki *Bishan-Ang Mo Kio Park* dönüşümüdür. Park, ABC Waters Programı başlatılmadan önce iki yerleşim alanı arasında tampon görevi görmek üzere inşa edilmiş bir yeşil alan ve kuvvetli sağanak yağışlar esnasında drenaj ve taşkın kontrolünü sağlaması öngörülen beton bir su kanalından oluşmaktaydı. Kent yetkilileri tarafından park, nehir ve yerleşim alanlarının birleştirilebilmesi için biyomühendislik tekniklerinin uygulanmasına karar verilmiştir. Geleneksel mühendisliği doğal sistemlerle birleştiren bu yaklaşım sulak alan bitkilerinin kirletici giderme özelliğinden de faydalanmaktadır. Ayrıca biyomühendislik yaklaşımlarıyla nehrin su taşıma kapasitesi de artmıştır.

Proje öncesinde beton bir kanalla parktan ayrılan kent sakinleri artık yağışsız havalarda su ve balıklarla eğlenmek için nehre inebilmektedirler.(Şekil 2.28) Kelebek çeken bitkilerin kullanılması ve biyoçeşitlilik toplum tarafından oldukça ilgi çekmektedir.



Şekil 2.28 : ABC Sular Programı ile iyileştirilen Bishan-Ang Mo Kio Parkı [61].

ABC Sular Programı ile yenilenerek tekrar açılan park; Dünya Mimari Festivali Ödülleri'nde Yılın Manzarası Ödülü, Waterfront Center Ödülleri'nde Çevre Ödülü ve Singapur'da Başkanın Tasarım Ödülü'ne layık görülmüştür. Bu proje çeşitli kurumları, özel ve kamu sektörlerini kapsayıcı bir şekilde bir araya getirmenin, gerçekten entegre, muhteşem manzaralar yaratabileceğini göstermektedir.

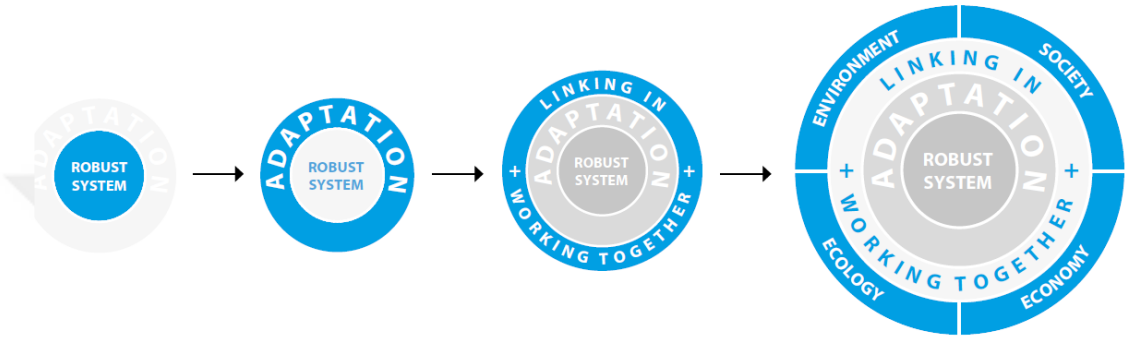
ABC Sular Programı'nın başarıya ulaşmasındaki 3 faktör:

- Net görüş ve kendini adamış liderlik.
- Harekete geçme zorunluluğu: Yakın geçmişteki tecrübeler ve uzun vadeli eğilimler, Singapur'un ekonomik kalkınmasının desteklenmesi ve ulusal güvenliğinin sağlanması için etkili ve verimli su yönetimi çözümlerinin geliştirmesini gerektirmiştir.
- Esneklik ve yenilik: Singapur liderlerinin yeni fikirlere açık olmasıdır.

Program, suyun kentsel alanlardaki rolünü ortaya koymakla birlikte suyun yaşanabilir şehirlerin gelişiminde nasıl hayati bir bileşen olduğunu göstermektedir. Ayrıca sahip olunan su kaynaklarının potansiyelini tamamen kullanarak su ve yaşam kalitesini iyileştirmek için gerçekleştirilen stratejik bir girişimdir.

İklime dayanıklı şehir- Rotterdam ZoHo

Hollanda'nın Rotterdam İklim Uyum Stratejisi'nin bölgesel ölçekte uygulanmasına Zomerhofkwartier - ZoHo, pilot alanı örnek verilebilir.



Şekil 2.29 : Rotterdam İklim Uyum Stratejisi prensipleri [23].

Şekil 2.29'daki Rotterdam İklim Uyum Stratejisinin temel prensiplerini uygulamaya koyarak kentteki bir bölgenin tamamen yenilenmesi amacıyla tasarım, peyzaj, sanat ve toplum projelerini başarıyla entegre eden *"Zoho-Zomerhofkwartier"*, çeşitli paydaş katılımlarıyla ortaya çıkan bir projedir [23].

Su meydanları (Watersquares), yağmursuyunun geçici depolanması ile şiddetli yağış anında oluşabilecek taşkın hadiselerini önleyebilmek adına tasarlanmış kentsel kamusal alanlardır.

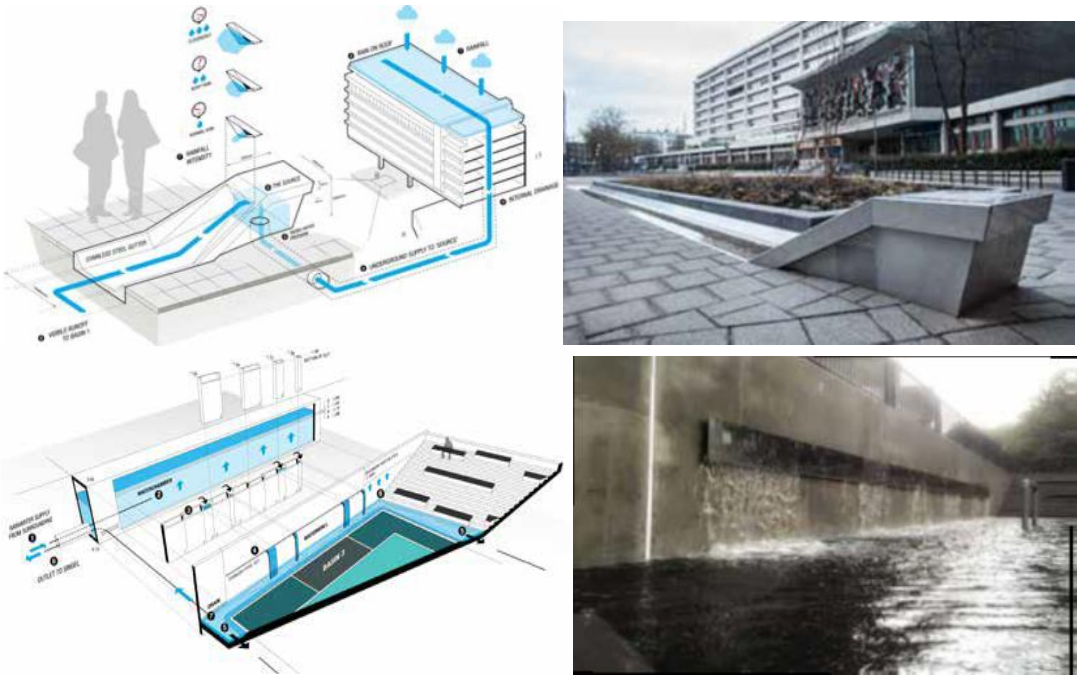
Su meydanı fikri, kentin tüm altyapı tesislerinde köklü bir değişikliğe gidilmesi yerine yeni üst yapı projeleriyle düşük maliyetli alternatiflerin değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Yağmursuyu problemini çözerken kentsel alanların kimliğinde yarattığı değişimle birlikte çok fonksiyonlu yapılar olarak değerlendirilebilmektedir.



Şekil 2.30 : Water square, Benthemplein [23].

Su meydanları, zemin seviyesinin altında spor ve oyun alanı olmak üzere genellikle iki kısma ayrılmakta ve spor alanı basamaklarla çevrili şekilde tasarlanmaktadır (Şekil 2.30). Ayrıca kısa süreli sağanak yağışlarda sadece oyun alanının bazı kısımları doldurularak çocukların oynayabilecekleri göletler oluşturulmakta, şiddetli yağış anında ise yağmursuları spor alanına iletilerek su meydanı tamamen bir su deposuna dönüştürülmektedir.

Yağmur suyu çatılardan meydandaki oluklara iletilmekte yağmur duvarı ise çevreden toplanan yağmursularını meydanın derin kısmına yönlendirmektedir.(Şekil 2.31)



Şekil 2.31 : Yağmur duvarları [23].

Şiddetli yağış anında meydandaki güvenliği sağlamak adına suyun derinliğine göre renk değiştiren ışıklı bir sistem tasarlanmaktadır.

Su meydanları yalnızca su problemini ortadan kaldırmak amacıyla kullanılan bir alan olmanın ötesinde toplumun farklı kesimlerine hitap ederek kitap okumak, spor yapmak ve oturmak için de kullanılabilecek bir çekim merkezi haline gelmektedir.

Rotterdam Su Planı ile de iklim değişikliği sorunu doğru bir şekilde yönetilerek su tehdidi su fırsatına dönüştürülmüştür.

Yağmura dayanıklı Amsterdam

Yağmura dayanıklı Amsterdam (Amsterdam Rainproof), aşırı yağışlarla başa çıkmada daha dayanıklı bir şehir yaratmak için farklı paydaşları harekete geçiren ve teşvik eden bir platformdur. Hollanda'nın Amsterdam şehri ve çevresinin tanınmış yenilikçi su işletmesi olan Waternet, Amsterdam Rainproof fikrini ortaya çıkarmıştır [62].

Projenin amacı, geçirimli zemin ve yeşil çatı gibi uygulamalar ile her bir yağmur damlasını yakalayarak Amsterdam'ı yağmur geçirmez bir şehre dönüştürmektir [63].

Şekil 2.32'de verilen yeşil-mavi çatılar olarak da bilinen polder çatılar ise yeşil katmanın altında yağmur suyunu depolayan ekstra bir katmana sahiptir. Yenilikçi valf teknolojisi tarafından kontrol edilen sistem, suyun yağmurdan sonra haznedeki açıklıklardan yavaşça akmasını sağlamaktadır [64].



Şekil 2.32 : Polder çatı,Vesteda – De Boel, Amsterdam [65].

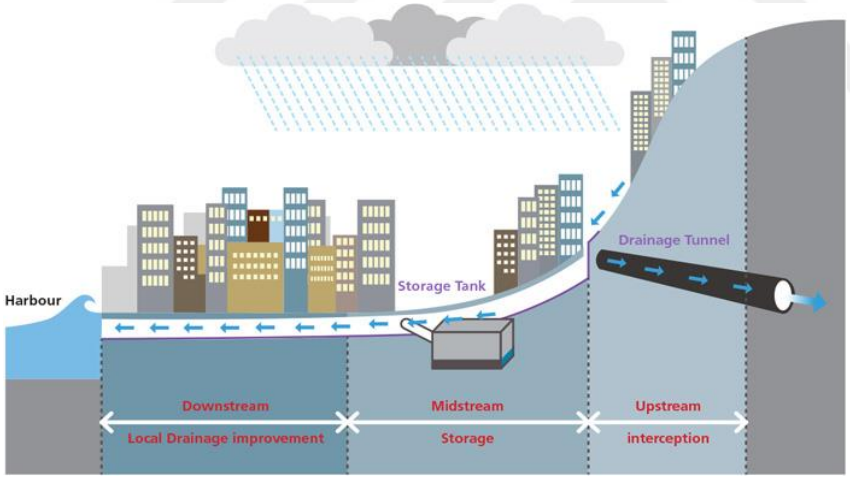
Sünger şehir

Çin'in Hong Kong şehri, sürdürülebilir yağmursuyu yönetimi kapsamında drenaj altyapısını planlarken doğayı esnek bir şekilde takip etme anlayışını, *"sünger şehir"* kavramını benimsemiştir.

Sünger Şehir ise bir kentin iklim değişikliği etkileri ve doğal afetler karşısında fazlasıyla "esnekliği" olan, örneğin yağışlı havalarda yağmursuyunu emerek depolayan, taşkın riski ortadan kalktığında ise serbest bırakan bir sünger gibi davranması anlamına gelmektedir.

Ayrıca sünger şehirler verimli arazi kullanımı, taşkın geciktirme yapıları, yağmur suyunun arıtıldıktan sonra yeniden kullanımı, yeşil çatı ve geçirimli zeminlerin yaygınlaştırılması gibi uygulamaları da içermektedir.

Şekil 2.33'teki gibi yağmur suyu önleme, taşkın depolama ve drenaj iyileştirmesinden oluşan üç yönlü taşkın önleme stratejisi ile kentteki su baskını risklerinin azaltılması hedeflenmektedir.



Şekil 2.33 : Üç yönlü taşkın önleme stratejisi [66].

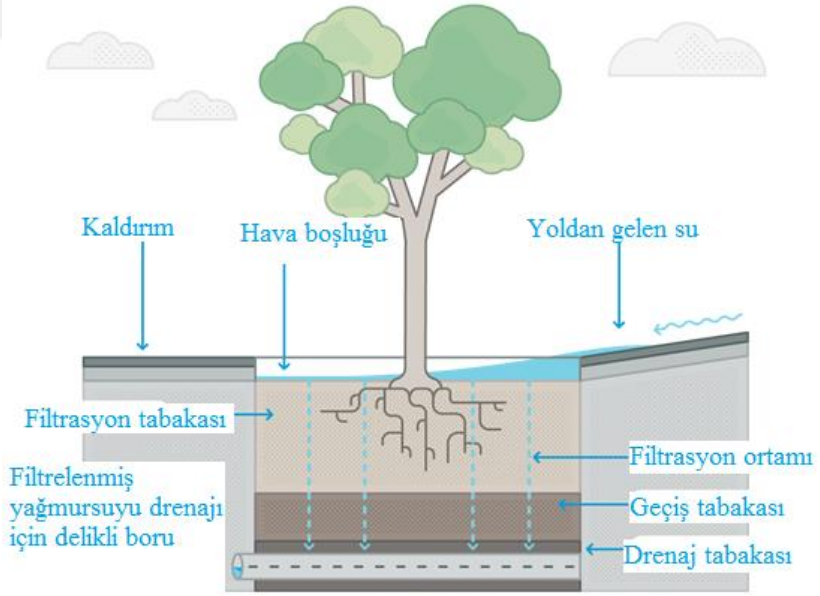
Suya dirençli kentler- Interreg Projesi

Mechelen, Zanpoortvest'da Dijle Nehri kenarları, insanların serbestçe kullanabildiği, yoğun yağışlar sırasında tampon görevini üstelenen alanlar olarak yeniden tasarlanmıştır. Hafif eğimli olan nehrin kenarlarına biyolojik çeşitliliği artıran kır çiçekleri ekilmiştir. Nehir yakınındaki bir üniversitenin girişindeki geniş taş basamaklar insanları meydandan güzel bir sahil alanına yönlendirmektedir. Sazlıklar arasındaki bir iskelede küçük tekneler demirleyebilmektedir [67].



Şekil 2.34 : Mechelen, Dijle Nehri [67].

Belçika'nın ilk yağmur bahçesi ağaç çukurları Mechelen'de kurulmuştur. Ağacın altında kök büyümesi için toprağı da içeren su depolama hücreleri, suyun birleşik kanalizasyon sistemine akmasını önlemektedir. Bu sistemle şehir merkezinde yağmursuyunun toprağa sızması sağlanarak kanalizasyon siteminin yükü hafifletilmektedir.

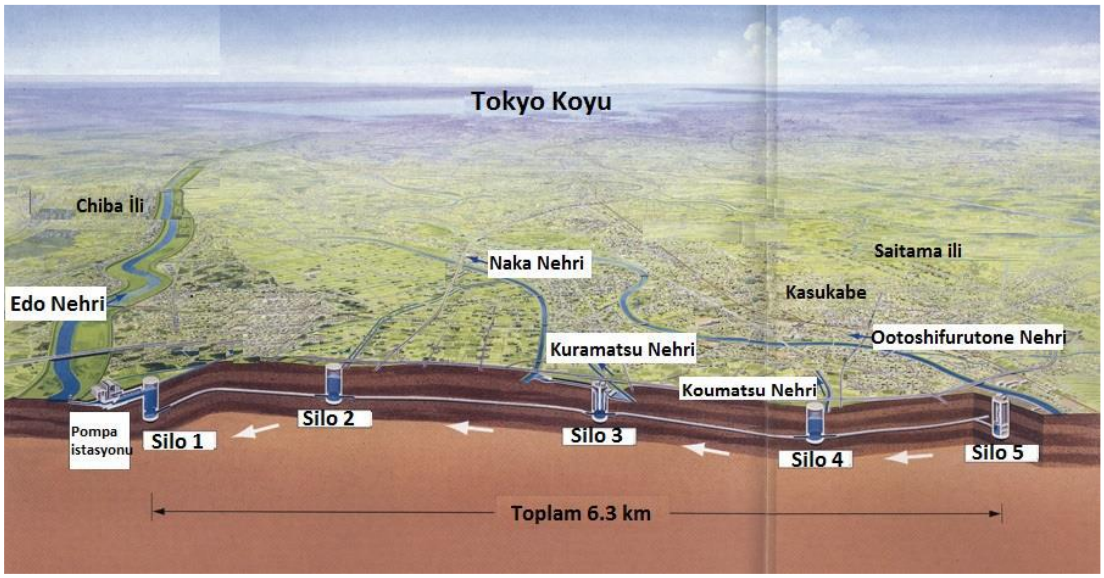


Şekil 2.35 : Ağaç çukuru kesiti [68].

G-CANS Projesi

Dünyanın en yüksek nüfus yoğunluğuna sahip ülkelerden biri olan Japonya, kısıtlı arazi koşulları nedeniyle yer üstünde büyük kapasitede depolama/geciktirme yapıları inşa edemediğinden, yağışlı günlerde sel ve taşkın hadiselerini önleyebilmek amacıyla "Kent Alanı Dışındaki Yeraltı Deşarj Kanalları" (G-CANS) projesini hayata geçirmiştir.

İnsan eliyle yapılan en büyük drenaj sistemi olarak nitelendirilen G-CANS uygulamasına 1992 yılında başlanmış ve proje 2006 yılının başlarında tamamlanmıştır.



Şekil 2.36 : G-CANS Proje haritası [69].

G-CANS uygulaması Şekil 2.36 ve Şekil 2.37'den görüleceği üzere ,tünellerle birbirine bağlı 5 adet betonarme silo ve bir adet büyük depolama tankından oluşmaktadır.

Nehirlerden taşan sular tüneller vasıtasıyla önce silolara iletilmekte sonrasında ise su tankında depolanmaktadır. Burada depolanan su ise daha sonra Edo Nehri'ne pompalanmaktadır.

Her bir silonun yüksekliği 65 metre, çapları 32 metre iken siloları birbirine bağlayan tünellerin çapı ise 10,6 metredir. Tünellerin toplam uzunluğu ise yaklaşık 6,3 km civarındadır.

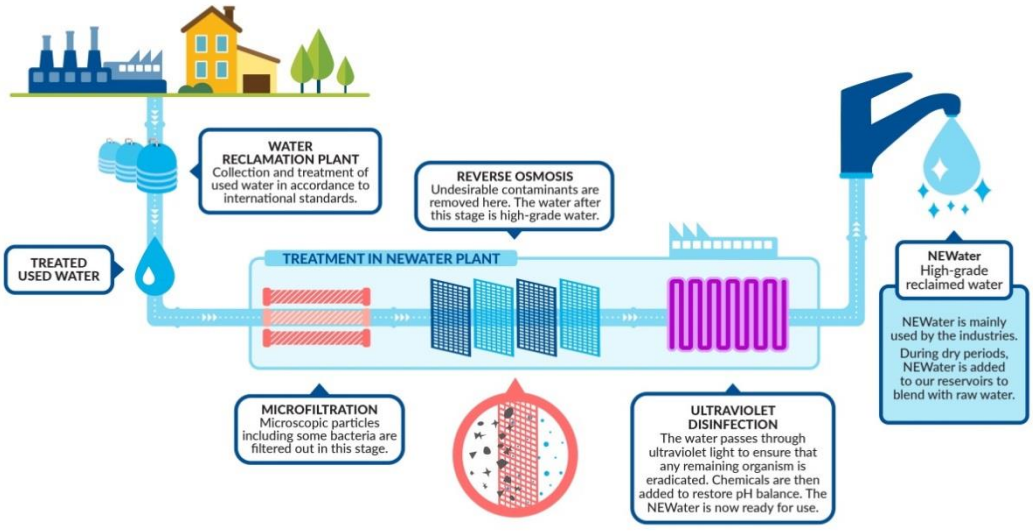
Yeraltı Tapınağı olarak adlandırılan depolama tankı ise 350.000 m^3 hacme sahip olup saniyede 200 m^3 su Edo Nehri'ne pompalanabilmektedir [69].



Şekil 2.37 : G-CANS Projesi'ne ait şematik görünüm [64].

NEWater Projesi

Singapur menşeili NEWater projesi, resmi olarak 9 Ağustos 2002 tarihinde atıksuların arıtıldıktan sonra tekrar kullanılması amacıyla başlatılmıştır. Şekil 2.38'de görüldüğü üzere atıksular atıksu arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra ileri arıtım için NEWater prosesine iletilmektedirler ve sırasıyla mikrofiltrasyon, ters osmoz ve UV filtrasyonu işlemlerinden geçerek yüksek kalitede içmesuyuna dönüşmektedirler [70].



Şekil 2.38 : NEWater kullanılmış su arıtma şeması [70].

NEWater çoğunlukla endüstrilerde kullanılmakla birlikte kurak dönemler boyunca ham suyla karıştırılmak üzere rezervuarlara verilmekte, çeşme suyu olarak tüketicilere sunulmadan önce su depolarında arıtılmaktadır.

Böylelikle kurak havalarda bile su temini noktasında herhangi bir sıkıntı yaşanmamaktadır. Bugün, Singapur'un mevcut su ihtiyacının% 40'ını karşılayan beş NEWater tesisi bulunmakta olup 2060 yılına kadar NEWater'ın Singapur'un gelecekteki su ihtiyacının % 55'ini karşılaması beklenmektedir. Şekil 2.39'da ise NEWater tesisi ve bu tesis çıkışından elde edilen şişelenmiş içmesuyu yer almaktadır.



Şekil 2.39 : NEWater tesisi ve elde edilen içme suyu [71,72].

Deniz suyu arıtım sistemlerine de sahip olan Singapur'un 2060 yılı hedefi ise su talebinin %60'ını arıtılmış atıksulardan sağlamaktır.

Diğer Uluslararası Uygulamalar

İsrail Tel Aviv'de 1994 yılından beri hizmette olan 300.000 m^3/gün kapasiteli geri kazanım tesisi çıkış suyu ile sebze, meyve ve çiçekçilik üretimi yapılan 16.000 ha'lık alanın sulaması gerçekleştirilmektedir.

Ayrıca İsrail'de arıtılmış atıksular, biyolojik arıtmadan geçirildikten sonra depolama amacıyla akiferlere iletilmekte, yeterli bekletme süresine ulaştıktan sonra (6-12 ay) tarımsal faaliyetlerde kullanılmaktadır [44].

İspanya Almeria'da, 1997 yılında hizmete giren 32.000 m^3 /gün debiye sahip kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyu ile 3.000 ha'lık alanda meyve ve sebze tarımı yapılmaktadır.

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ABD'de yaygınlaşan bir uygulamadır. Özellikle Arizona, Kaliforniya ve Teksas eyaletlerinde su kaynakları üzerindeki baskının giderek artması ile atıksular arıtma tesislerinde sanayi ve sulamada kullanılmak üzere arıtılmaktadırlar.

Kaliforniya, Arizona, Teksas, Florida ve Nevada eyaletlerinde ise geri dönüşüm suyunu soğutma ve kazan besleme suyu olarak kullanan büyük sanayi tesisleri bulunmaktadır. Arıtılmış atıksuların kağıt hamurunda kullanılması da Kaliforniya'daki uygulamalardan biridir.

Akifer besleme yönteminin başarıyla yönetildiği uygulamalara ise ABD'nin Yeraltı Suyu İkmal Sistemi (GWRS) örnek gösterilebilmektedir.

GWRS; ABD'nin Orange County Su Bölgesi (OCWD) ve Orange County Sanitasyon Bölgesi (OCSD) tarafından ortaklaşa geliştirilen, 2008 yılında dolaylı içilebilir yeniden kullanım için kurulan, dünyanın en büyük su arıtma sistemidir.

Atıksu MF ve TO sistemlerinin ardından UV ve hidrojen peroksit ile dezenfeksiyon işlemlerinden geçmektedir. Arıtılan suyun bir kısmı göletler yardımıyla yeraltı suyuna sızdırılarak içme ve kullanma suyu olarak değerlendirilmekte, diğer kısım ise Pasifik Okyanusu'ndan gelecek deniz suyu girişimine bariyer oluşturmak üzere kuyular yardımıyla yer altı suyuna basılmaktadır [73].

San Diego eyaletinde ise sulama amacıyla geri kazanım sularının kullanılması, deniz suyunun arıtılması/tuzsuzlaştırılmasına kıyasla daha ekonomik bir uygulama olarak görülmektedir.

Japonya'da Tokyo kentinin Shinjuku bölgesinde 30 yılı aşkın süredir günlük 8.000 m^3 arıtılmış atıksuyun çift şebeke sistemi ile dağıtımı yapılmaktadır.

İsrail'de geri kazanılmış atıksuyun nehirlerin üst havzasına deşarj edilmesi ile kirlenmiş nehirlerin ıslahı amaçlanmaktadır. Ayrıca tarım bitkilerinin sulanması, parkların sulanması gibi amaçlarla da kullanılmaktadır.

Pekin'de geri kazanılmış atıksular, bölgedeki termik santrallerin soğutma suyu ihtiyacını karşılamaktadır ve yerel yönetim tarafından bu uygulama zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca yine Çin'de arıtılmış evsel atıksuların kağıt sanayinde kullanıldığı örnekler de bulunmaktadır [38].

2.2.5.2. Türkiye'deki uygulamalar

Organize sanayi bölgeleri ve fabrikalarıyla Türkiye'nin sanayi başkenti olan Kocaeli'nde endüstri tesislerinin üretim süreçlerinde kullandıkları suyun üçte birlik kısmı geri kazanım suyundan sağlanmaktadır. 2018 yılında endüstride tüketilen 38.922.834 m^3 suyun 12.086.848 m^3'ü geri dönüşüm suyundan elde edilmiştir. [74]

2012 yılında işletmeye alınan 3.600 m^3/gün kapasiteli Konya Büyükşehir Belediyesi Konya Evsel Atıksu Arıtma Tesisi'nde ise geri kazanılan atıksular mor şebeke hatları ile yeşil alan sulamasında kullanılmaktadır [75].

2018 yılı içerisinde Konya ilinde yeşil alan sulaması için toplam 208.306 m^3 atıksu geri kazanılarak, yaklaşık 3.300.000 m^2 (330 ha)'lik bir alanın sulaması gerçekleştirilmiştir.

İstanbul'da Paşaköy İleri Biyolojik Atık Su Arıtma Tesisi'nde Kum filtresi ve UV dezenfeksiyon ünitesinden geçen 100.000 m^3/gün kapasiteli geri kazanım suyu, inşa edilen 49 km'lik mor şebeke hattı ile park ve bahçelere yeniden kullanılmak üzere dağıtılmaktadır. Dericiler OSB, Tuzla İBAAT, Maltepe - Pendik Sahil Yolu'nun sulaması bu tesiste geri kazanılan sular ile gerçekleştirilmektedir [76].



Şekil 2.40 : Paşaköy İBAAT çıkışı mor şebeke hattı [77].

Tesis çıkışında dezenfekte edilen sular, 20.03.2010 tarih, 27527 sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği "Sulamada Geri Kullanılacak Arıtılmış Atıksuların Sınıflandırılması" tablosundaki (Çizelge 2.13) "A sınıfı" kriterlerini sağlamaktadır.

Çizelge 2.13 : A sınıfı su kalite kriterleri [5].

Parametre	Birim	Deşarj Limiti
$BOİ_5$	mg/L	< 20
Bulanıklık	NTU	< 2
pH	-	6 - 9
Fekal Koliform	CFU/100 ml	0
Bakiye klor	mg/L	> 1

Yine İstanbul'da Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (İBAAT) geri kazanım ünitesi inşaat aşamasında olup İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde arıtılan atıksuların; birinci kademede 25.000 m^3/gün'lük kısmı, ikinci kademede ise 50.000 m^3/gün'lük kısmı endüstrilerde ve yeşil alanlarda kullanılmak üzere geri kazanım ünitesinde dezenfekte edilecektir.

Geri kazanım ünitesi tasarımı filtrasyon ve klor temas ünitelerinden oluşmaktadır. Arıtılmış atıksu öncelikle mekanik filtrelere terfi ettirilmekte, ardından aktif karbon filtrasyonundan geçirilerek ultrafiltrasyon (UF) sistemine girmektedir. Fiziksel arıtımı gerçekleşen su, patojenlerinden arındırılmak üzere klor temas tankına alınmakta ve buradan temiz su tankına iletilmektedir.

Projenin uygulanmasıyla ilk aşamada taleplerin tankerlerle karşılanması, doğacak ihtiyaca ve talebe uygun olarak daha sonra geri kazanılmış atık suların mor şebeke ile gerekli yerlere ulaştırılması planlanmaktadır.

Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde arıtılan atıksuların, ilk kademede 20.000 m^3/gün, ikinci kademede ise ilave 30.000 m^3/gün kapasiteli olmak üzere toplam 50.000 m^3/gün kapasiteli MBR arıtma tesisi ile geri kazanımı tasarlanmış olup tesis 2019 yılında devreye alınmıştır [76].

Aktif Çamur havalandırma prosesinden geçen atıksular MBR sistemine daha sonra da dezenfeksiyonun gerçekleştirilmesi için klor temas tankına iletilmektedir.

Netice itibariyle, Türkiye'de debisi 2.000 m^3/gün'ün üzerinde olan 603 evsel atıksu arıtma tesisi bulunmakta olup bu tesislerin toplam debisi 16,7 milyon m^3/gün'dür. 603 AAT'nin 221'inden çıkan arıtılmış kullanılmış sular fiili olarak sulamada kullanılmakta (6,7 milyon m^3/gün) bunların sadece 42'sinde dezenfeksiyon ünitesi

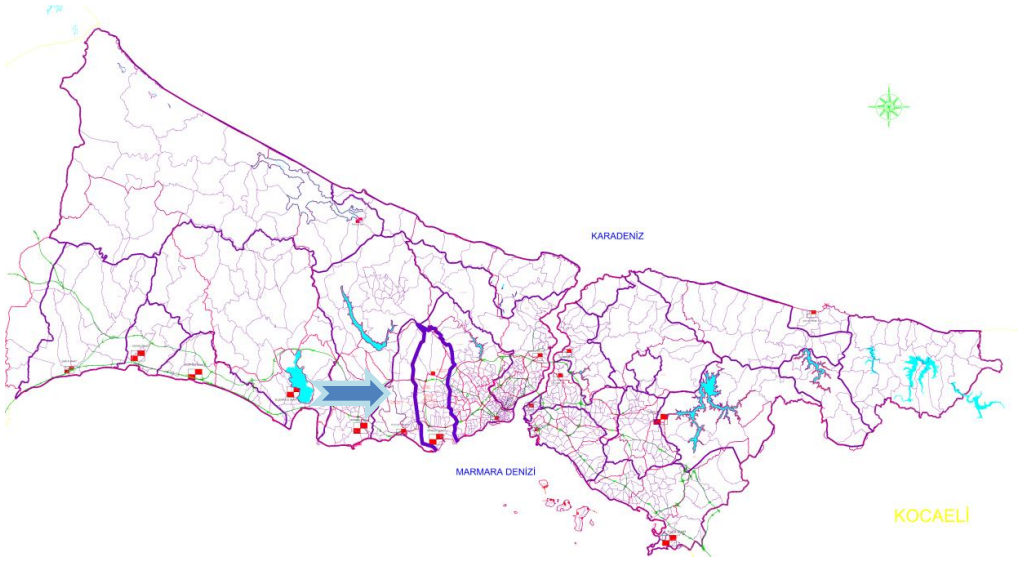
bulunmaktadır. Ancak sahada yapılan tespitler ile dezenfeksiyon ünitelerinin sadece 13'ünün çalıştırıldığı görülmekte olup bu rakamların arttırılarak geri kazanım hedeflerimizin yükseltilmesi gerekmektedir [32].

3. ÖRNEK BİR HAVZANIN SUYA DUYARLI KENT OLABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI –ATAKÖY ATIKSU TOPLAMA HAVZASI

Bu bölümde, Suya Duyarlı Kente geçiş çerçevesinde yağmursuyu, gri su ve arıtılmış atıksu kullanımı ile doğal kaynakların korunarak sürdürülebilirliğin sağlanmasını esas alan su döngüsü adımının "İstanbul Ataköy Atıksu Toplama Havzası"nda uygulanabilirliği değerlendirilmektedir.

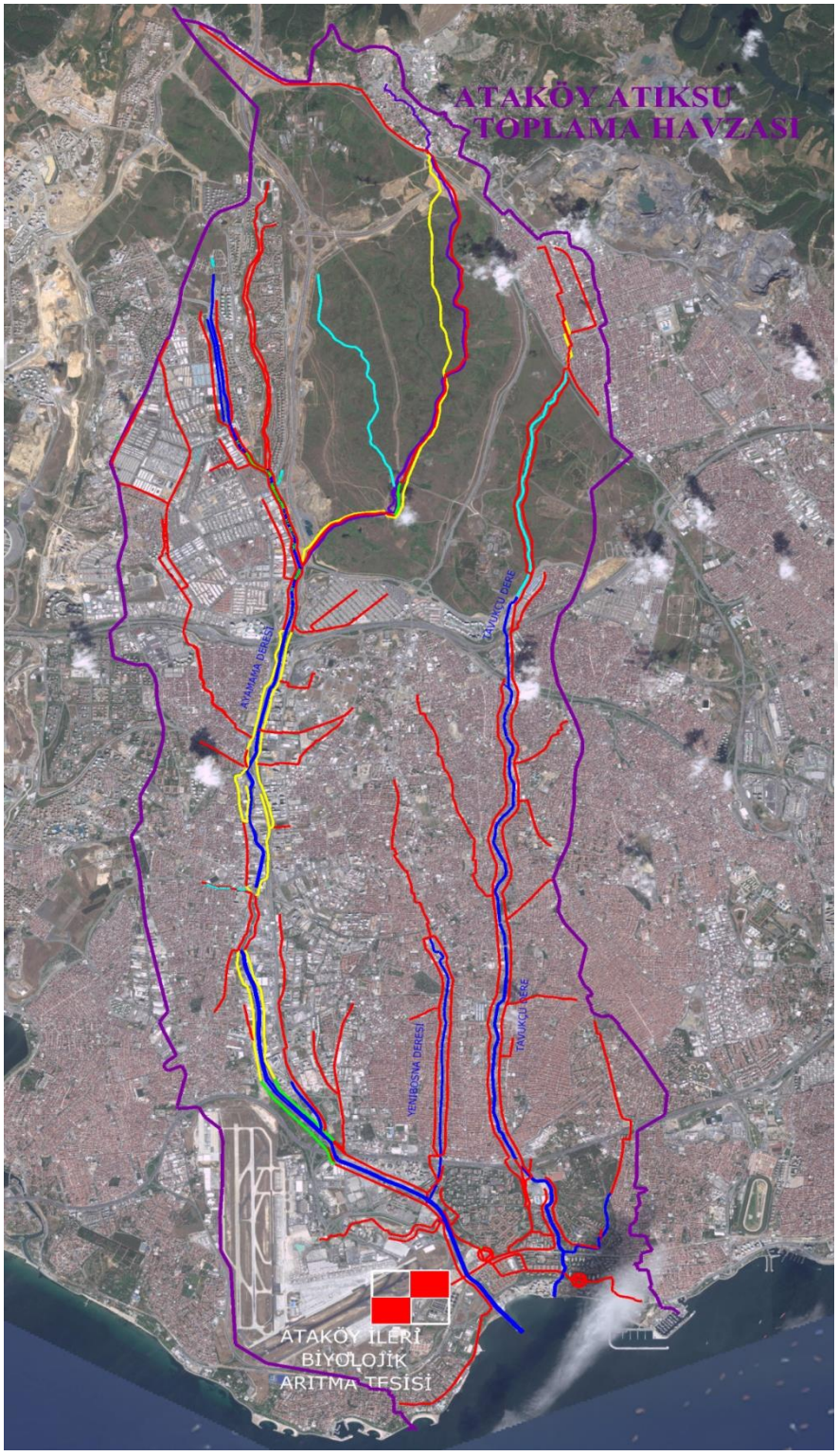
3.1. Havzanın Tanıtılması

Ataköy Atıksu Toplama Havzası coğrafi konum olarak Marmara Bölgesi'nde, İstanbul'un Avrupa yakasında, Sazlıdere Barajı'nın güneydoğusunda, Küçükçekmece Gölü'nün doğusunda, Alibey Barajı'nın ise batısında yer almaktadır. İdari yönden Ataköy Atıksu Toplama Havzası'nın tümü İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin sınırları içerisinde yer almakta olup Şekil 3.1'de görüldüğü üzere Bakırköy, Bahçelievler, Bağcılar ilçelerinin tamamı ile Başakşehir, Küçükçekmece, Sultangazi ilçelerinin bir bölümünü kapsamaktadır.



Şekil 3.1 : Ataköy Atıksu Toplama Havzası'nın İstanbul'daki diğer atıksu toplama havzaları içerisindeki konumu.

Su ve kanalizasyon hizmetleri ise İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından yürütülmekte olup havzadan kaynaklanan atıksular, Tavukçu ve Ayamama Deresi ana toplayıcı hatları vasıtasıyla Ataköy İBAAT'a iletilmekte ve arıtıldıktan sonra Ayamama Deresi'ne deşarj edilerek Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır.



Şekil 3.2 : Ataköy Atıksu Toplama Havzası ve atıksu ana kolektörleri.

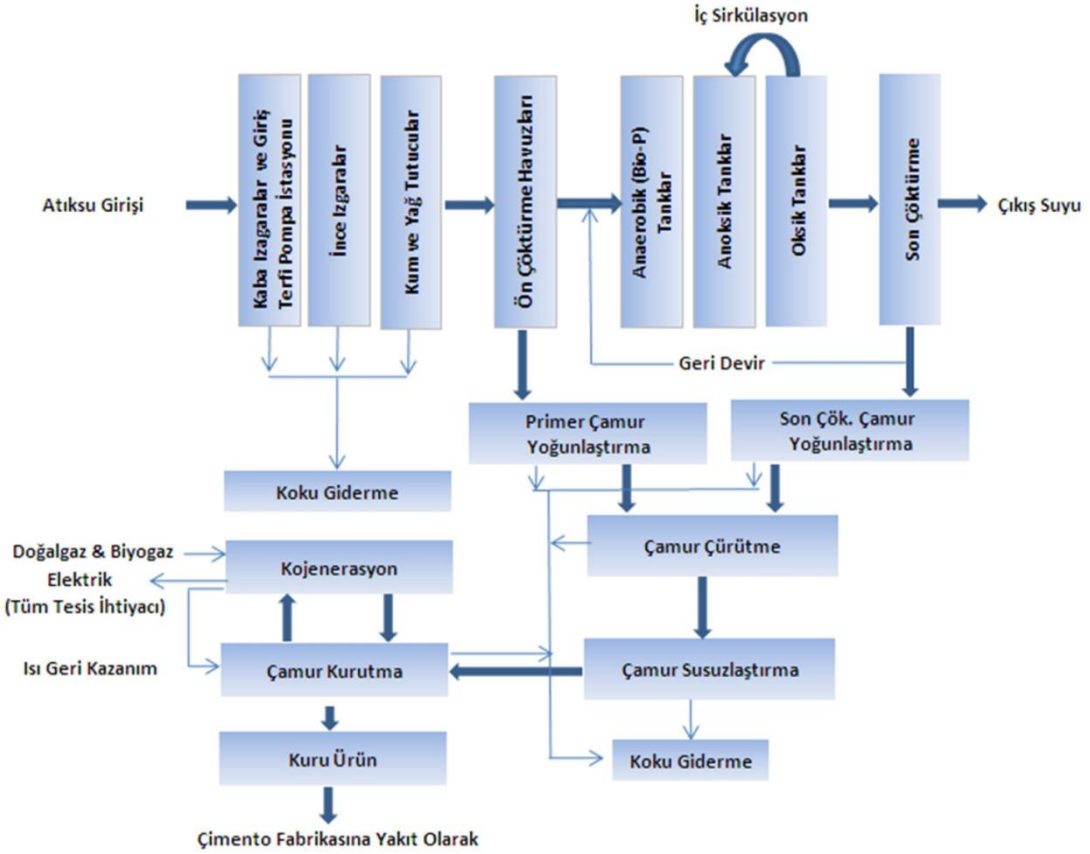
Ataköy İBAAT, X = 4538247.514; Y = 402336.014 koordinatlarında yer almaktadır. Arıtma tesisinin bölge içerisindeki konumu ve tesisin gösterimi sırasıyla, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 ile verilmektedir.



Şekil 3.3 : Ataköy İBAAT konumu.



Şekil 3.4 : Ataköy İBAAT genel görünümü [77].



Şekil 3.5 : Ataköy İBAAT proses akış şeması [77].

Şekil 3.5'te akım şeması verilen tesis, 2 kademe şeklinde planlanmıştır. Nihai olarak hizmet verilebilecek nüfus ise Çizelge 3.1'de verildiği üzere 2.400.000 kişidir. 2018 yılı itibariyle arıtma tesisi havzasının güncel nüfusu ise 1.786.503 kişiye ulaşmış olup toplamda 150.106.337 m^3 atıksu arıtılmıştır.

Çizelge 3.1 : Tesisin kapasite bilgileri [77].

	1.Kademe	**2.Kademe**	**Nihai**
Proje debisi (ort.)	390.000.m^3/gün	600.000 m^3/gün	
Eşdeğer nüfus	1.600.000 kişi	2.400.000 kişi	
İşletmeye alınma yılı	2010	2019	
Tesis alanı (m^2)			430.000 m^2

İkitelli Organize Sanayi Bölgesi dahil olmak üzere havza içerisindeki endüstriyel atıksuya sahip tesislerin sektörel dağılımı ve debi bilgileri Çizelge 3.2'de verilmektedir. Toplamda 825 adet endüstriyel tesis bulunmakta olup 2018 yılı toplam debi miktarı 7.014 m^3'tür.

Çizelge 3.2 : Endüstriyel atıksuyu olan firmaların atıksu debileri [78].

Sektör	**Tesis Sayısı**	**Debi (m^3/gün)**
Metal Sanayi	188	986
Gıda Sanayi	58	370
Kimya Sanayi	98	119
Deri Sanayi	5	8,3
Ağaca Bağlı Sanayi	10	1.032
Metal Dışı Mineral Sanayi	3	0,06
Petrol ve Kömüre Bağlı Sanayi	227	691
Tekstil	234	3.686
Toplu Konut Turizm Tesisleri	2	121
Toplam	825	7.014

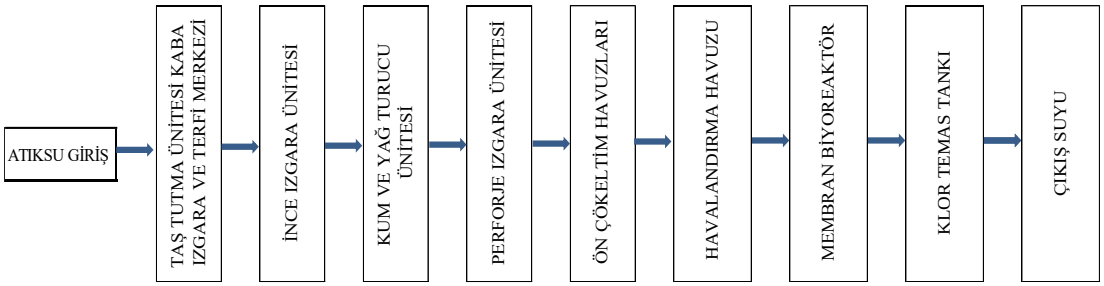
Ayrıca yağışlı dönemde arıtma tesisine ulaşan atıksu miktarı, özellikle çatı sularının atıksu sistemine dahil olması ile kurak dönem debisine kıyasla daha fazla olmaktadır.

3.2. Ataköy İBAAT Çıkış Suyunun Endüstride Kullanılması

Bu çalışma ile Ataköy İBAAT geri kazanım ünitesinden çıkan arıtılmış atıksuyun, Ataköy Atıksu Toplama Havzası'nda yer alan endüstrilerde proses ve/veya soğutma suyu olarak kullanılabilirliği ve çıkış suyunun basınçlı mor şebeke hattı vasıtasıyla bu endüstrilere ulaştırılabilirliği üzerinde durulacaktır.

Ataköy İBAAT'ta arıtılan atıksuların, ilk kademede 20.000 m³/gün, ikinci kademede ise ilave 30.000 m³/gün kapasiteli olmak üzere toplam 50.000 m³/gün kapasiteli MBR arıtma tesisi ile geri kazanımı tasarlanmış olup tesis 2019 yılında devreye alınmıştır. Tesisten geri kazanılan suların İSKİ tarafından yeşil alan sulamasında kullanılması planlanmaktadır.

Sırasıyla kaba ızgara, ince ızgara, kum ve yağ tutucu, perfore ızgara ve ön çökeltim ünitelerinden geçen atıksuyun 20.000 m³/günlük kısmı, ayrı olarak tasarlanmış MBR arıtma tesisine iletilmektedir. MBR ünitesi içinde de sırasıyla atıksu, 2 mm ve 1 mm'lik ince ızgaralardan geçirilerek çok küçük boyutlu atıklardan arındırılmakta bu sayede membranların tıkanması önlenmektedir.



Şekil 3.6 : Geri kazanım ünitesi akım şeması [77].

Izgara ünitesinden çıkan atıksu, terfi pompaları ile havalandırma havuzlarına iletilerek biyolojik arıtım gerçekleştirilmektedir. Önde denitrifikasyon prosesine göre dizayn edilen havalandırma havuzlarından çıkan atıksu MBR havuzlarına iletilmektedir. Son olarak MBR havuzunda emiş pompaları vasıtasıyla vakum yapılarak süzdürülen atıksu klor temas tankına iletilmektedir.

Membran yüzeyindeki çamur tabakası ise kaba kabarcıklı hava kullanılarak sürekli olarak süpürülmektedir. Membran sistemi tıkanmaya başladığı zaman, fark basınç sistemine bağlı olarak geri yıkama ve kimyasal yıkama sistemi çalışmaktadır. Membran ünitesindeki geri devir çamuru, öncelikle deoksidasyon tankına alınıp, çamur içerisindeki çözünmüş oksijen tüketildikten sonra havalandırma havuzu anoksik bölümüne iletilmektedir.

Membran Biyoreaktör (MBR) Sistemleri evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların ileri seviyede arıtılarak geri kazanılması amacıyla kullanılmaktadır.

Klasik aktif çamur proseslerinde havalandırma havuzlarında oluşan biyokütlenin son çökeltme havuzlarında atıksu bünyesinden çöktürülerek uzaklaştırılması gerçekleştirilirken, MBR prosesinde ise daha yüksek yoğunluklu bu biyokütlenin membran yüzeylerinde filtre edilmesi suretiyle atıksu bünyesinden uzaklaştırılması esastır.

Sistem sayesinde atıksuyun AKM, bakteriler, çözünmüş makromoleküller ve virüslerden arındırılması sağlanmaktadır.

MBR sonrası arıtılmış atıksular dezenfeksiyon amacıyla klor temas tankına iletilmektedir. MBR ünitesinde uygulanan ultrafiltrasyon ile atıksudaki Giyardiya ve Kriptosporidyum gibi protozoalar giderildiğinden klor ile dezenfeksiyonun getirdiği dezavantajlar Ataköy İBAAT'ta görülmemektedir.

Endüstrilerde kullanılmak üzere öncelikle atıksuyun ikinci kademe arıtımı ve dezenfeksiyonunun gerçekleşmesi gerekmekte olup Çizelge 2.5 gereği Ataköy İBAAT geri kazanım ünitesinin çıkış suyunun endüstriyel soğutma suyu olarak kullanımı mevzuat açısından da uygun görülmektedir. Ancak proses suyu olarak kullanılmak istendiğinde ters osmoz ünitesinin eklenmesi ileri arıtım sağlanması açısından gerekli görülmektedir.

Ataköy Havzası'nda yer alan endüstri sektörleri içerisinde Çizelge 3.3'te görüldüğü üzere yüksek atıksu debisine sahip metal, tekstil ve ağaca bağlı sanayi grupları, mor şebeke hattı vasıtasıyla temin edilen suyu endüstride soğutma suyu olarak ya da ilave bir arıtma ünitesi ile proseslerinde kullanabileceklerdir.

Çizelge 3.3 : Ataköy Havzası'nda mor şebeke suyu kullanabilecek endüstriyel tesisler ve debileri [78].

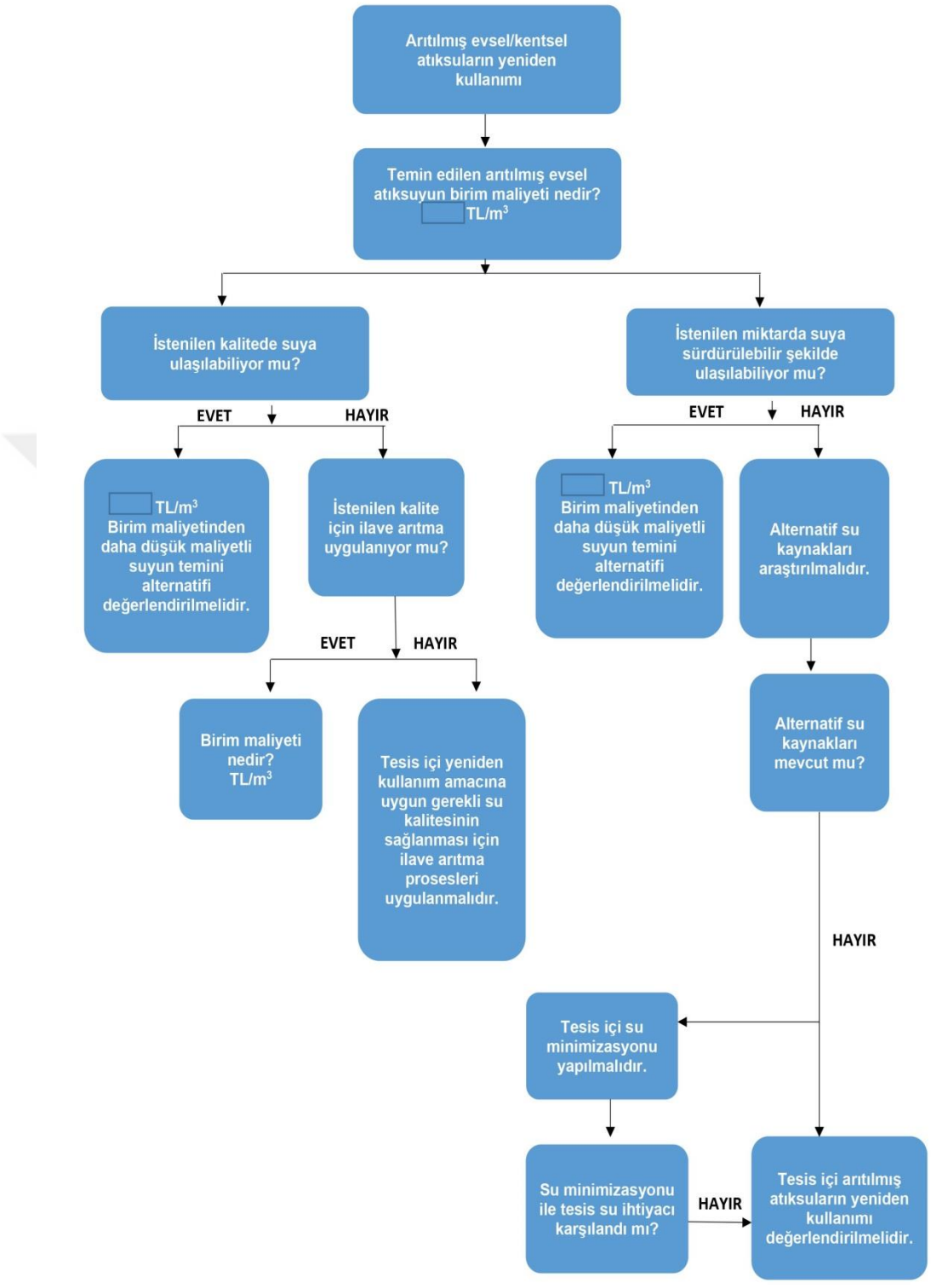
Tesis Adı	**Endüstriyel Debi**	**İlçe Adı**
Özsel Tekstil Yıkama	80,00	Bahçelievler
Ece Doruk Tekstil	180,00	Küçükçekmece
Erson Giyim Sanayi	100,00	Küçükçekmece
Onz Tekstil	70,00	Küçükçekmece
Bahariye Mensucat	95,20	Küçükçekmece
Pisa Tekstil	404,59	Küçükçekmece
Dengeteks	120,00	Bağcılar
Özak Tekstil	150,00	Başakşehir
Galvanoteknik Metal	397,20	Başakşehir
İstanbulcila veNikelajcılar	88,68	Başakşehir
Kadifeteks Mensucat	214,50	Başakşehir
Saray Döküm	45,33	Bağcılar
Halkalı Kağıt Karton	1.029,00	Küçükçekmece
Toplam	2.975,00	

Ataköy İBAAT'tan çıkan arıtılmış atıksuların Şekil 3.7'deki güzergah kullanılarak 23,5 km uzunluğundaki basınçlı hat vasıtasıyla Ataköy Havzası'nın muhtelif ilçelerinde faaliyet gösteren nispeten yüksek su tüketimi bulunan 13 adet endüstriyel

tesise iletilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, mor şebeke hatları ile arıtılmış atıksuların kullanıcıya iletilene kadarki risk yönetimi yerel yönetimlerin sorumluluğundadır.



Şekil 3.7 : Geri kazanım suyunun iletileceği endüstriyel tesisler ve planlanan mor şebeke hattı.



Şekil 3.8 : Arıtılmış evsel/kentsel atıksu kaynağından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanım karar ağacı [32].

Bu aşamada endüstrilerin su kaynağı olarak arıtılmış evsel atıksu kullanması halinde suyun nitelik, miktar ve birim fiyatlarının diğer alternatifler ile mukayesesinin yapılması gerekmektedir. Şekil 3.8'deki karar ağacı, endüstri/sanayi tesislerini suyun minimum tüketimi ve yeniden kullanımına yönlendiren bir algoritmadır.

20.05.2019 tarihi itibariyle İSKİ tarafından işyerleri için birim su fiyatı 10,74 ₺/m^3 olarak belirlenmişken geri dönüşüm suyu ise 0,36 ₺/m^3 fiyatından faturalandırılmaktadır. Arıtılmış atıksuyun kullanılması halinde eğer istenilen kalitede suya erişilebiliyorsa suyun her bir m^3'ünde 10,38 ₺ kar elde edilebileceği açıkça görülmektedir. Kazan besleme ve soğutma suyu olarak kullanılabilmesinde sakınca olmayan arıtılmış atıksuların proses suyu olarak kullanılması halinde ilave arıtım gerekmektedir. İleri arıtım teknolojileri kullanılarak (ters osmoz vb. gibi) üretim sürecinde kullanılabilecek kalitede su elde edilmekte olup işletme ve bakım maliyeti göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılabilmektedir.

Atıksu arıtma tesisleri işletilmeye devam ettiği sürece istenilen miktarda suya sürdürülebilir şekilde erişim sağlanabileceğinden Şekil 3.8'deki karar ağacına göre tek seçim kriteri suyun birim maliyetidir. Daha düşük maliyetli suya ulaşımın mümkün olup olmadığı araştırılmalıdır. Bu durumda ilk akla gelen yeraltı suyu kullanımı olmakla birlikte bu suların sertlik değerlerinin genellikle yüksek olması endüstriyel kullanım açısından uygun olmadığını göstermektedir.

Tesisin su ihtiyacının karşılanmasında alternatif su kaynaklarından istenilen kalite ve maliyette suya ulaşılamıyor ise tesis içi yeniden kullanım seçeneği göz önünde bulundurulmalıdır.

Endüstriyel atıksuyun tesis içinde geri çevrimi ise, şebeke suyunun geri kazanım suyundan daha yüksek maliyetli olması nedeniyle, prosesin bir parçası şeklinde uygulanan ekonomik bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca endüstrilerin geri kazanım suyu kullanma nedenlerinden biri ise yeşil bina sertifikası almak istemeleridir.

Çizelge 3.4 : Arıtılmış atıksu kullanılması halinde endüstrilerin elde edebileceği yıllık tasarruf miktarları (₺).

Tesis Adı	**Endüstriyel Debi (m^3/gün)**	**Tüm Kullanımlar Yıllık Tasarruf**	**Soğutma+Kazan suyu Yıllık Tasarruf**
Özsel Tekstil Yıkama	80,00	303.096	50.920

Çizelge 3.4 (devam) : Arıtılmış atıksu kullanılması halinde endüstrilerin elde edebileceği yıllık tasarruf miktarları (₺).

Tesis Adı	Endüstriyel Debi (m^3/gün)	Tüm Kullanımlar Yıllık Tasarruf	Soğutma+Kazan suyu Yıllık Tasarruf
Ece Doruk Tekstil	180,00	681.966	114.570
Erson Giyim Sanayi	100,00	378.870	63.650
Onz Tekstil	70,00	265.209	44.555
Bahariye Mensucat	95,20	360.684	60.595
Pisa Tekstil	404,59	1.532.870	257.522
Dengeteks	120,00	454.644	76.380
Özak Tekstil	150,00	568.305	95.475
Galvanoteknik Metal Kaplama	397,20	1.504.872	116.928
İstanbulcila ve Nikelajcılar	88,68	335.981	26.106
Kadifeteks Mensucat	214,50	812.676	136.530
Saray Döküm	45,33	171.741	13.344
Halkalı Kağıt Karton	1.029,00	3.898.572	640.146
Toplam	2.975,00	10.908.802	1.696.722

Çizelge 3.4'te görüldüğü üzere Ataköy İBAAT geri kazanım ünitesinden çıkan arıtılmış atıksuların ilave bir arıtma işlemine tabi tutulmadan bu çalışmaya konu olan 13 adet endüstriyel tesis tarafından soğutma ve kazan suyu (toplam debinin %16,8'i) olarak kullanılması halinde endüstriler tarafından yıllık toplam 1.696.722 ₺'lik bir maddi tasarruf elde edilebilecektir.

Ancak proses suyu olarak kullanılmak istendiğinde daha ileri bir teknoloji ile arıtılması ihtiyacı doğmakta olup her bir tesis özelinde ters osmoz sisteminin kurulması halinde yıllık toplam 10.908.802 ₺'lik bir kazanç sağlanacaktır. Ters osmoz ünitesinin kurulum ve işletme maliyetlerinin bu rakamdan düşülmesi halinde elde edilebilecek net kazanç hesaplanabilecektir.

Ayrıca arıtılmış atıksuyu basınçlı şebeke hatları ile endüstrilere ulaştırabilmek için İSKİ'nin yapacağı yatırımın bedelinin hesaplanabilmesi için Hazen -Williams formülü (denklem 3.1, 3.2) kullanılarak öncelikle boru çapları belirlenecektir.

$$V = 0{,}85\ C_{wh}\ R^{0{,}63}\ J^{0{,}54} \quad (3.1)$$

veya

$$Q = 0{,}279\ C_{wh}\ D^{2{,}63}\ J^{0{,}54} \quad (3.2)$$

Cwh : Hazen-William formülünde pürüzlülük katsayısı, boyutsuz

V: Su hızı (m/sn)

Q:Debi (m^3/sn)

R: Hidrolik yarıçap

D: Boru çapı

J: Hidrolik eğim

EK A'da görüldüğü üzere A ve 1 noktaları arasındaki

Q= 2.975 m^3/gün=34,4 lt/sn debi dikkate alındığında ,

D=315 mm polietilen boru ($D_{i=}$ 245 mm) seçilmesi halinde,

V=0,73 m/sn, J=0,001818 olarak hesaplanmıştır.

Su darbesi ve boru hatlarındaki supresyon/depresyon hesaplarının yapılması halinde ilave basınçların oluşacağı öngörüldüğünden basınç sınıfı olarak PN20 kabul edilmiştir.

Çizelge 3.5'te mor şebeke hattının boru çapı, cinsi ve metrajları verilmektedir.

Çizelge 3.5 : Planlanan mor şebeke çap ve metrajları.

Boru çapı ve cinsi	**Metraj (m)**
110 PE	10.323
180 PE	4.335
200 PE	346
280 PE	4.097
315 PE	4.494

Boru çapları ve basınç sınıfları belirlendikten sonra pompanın terfi yüksekliğinin bulunabilmesi için öncelikle yük kayıpları (denklem 3.3-3.5) hesaplanmıştır.

$$J.L \quad (3.3)$$

$$H_y: H_{ks}. 0,20 \quad (3.4)$$

$$H_k: H_s + H_y \quad (3.5)$$

H_s: Sürekli yük kaybı (m)

H_y: Yersel yük kaybı (m)

H_k: Toplam yük kaybı (m)

L: Terfi hattı uzunluğu (m)

Ek A'daki A ve 1 noktaları arasında yük kaybı,

L:4.228 m J: 0,001818 ise

H_k: 9,22 olarak hesaplanmıştır.

Planlanan mor şebeke hattında oluşacak yük kayıpları Çizelge 3.6'da verilmektedir.

Çizelge 3.6 : Yük kaybı hesabı.

	A-1	**1- 2**	**2- 3**	**3- 4**	**4- 5**	**5- 6**	**6- 7**	**7- 8**
D_i	245	245	229,2	229,2	183,6	147,2	147,2	90
J	0,001818	0,00175	0,00175	0,00175	0,00175	0,00175	0,00175	0,00175
V	0,73	0,71	0,58	0,55	0,41	0,58	0,52	0,27
L	4.228	266	3.468	629	346	555	2.202	1.578
h_k	9,22	0,55	5,40	0,89	0,65	1,45	4,62	1,79
Q (lt/sn)	34,31	33,39	23,99	22,83	10,92	9,9	8,8	1,73
Q (m^3/sn)	0,03431	0,03339	0,02399	0,02283	0,01092	0,0099	0,0088	0,00173

H_m : Manometrik basma yüksekliği (m)

$$H_m = (\text{max. kot-terfi kotu}) + \sum H_k + \text{işletme basıncı} \quad (3.6)$$

$$H_m = (132,42-3,65)+1,79+4,62+1,45+0,65+0,89+5,40+0,55+9,22+20$$

= 173,34 m olarak hesaplanmıştır. İşletme basıncı 20 mss (2 bar) olarak kabul edilmiştir.

Seçilen H_m=175 m

Pompa seçiminin yapılabilmesi için (denklem 3.7) kullanılarak güç hesabı yapılmıştır.

$$N= Q.H_m.\rho /102\ \eta \qquad (3.7)$$

N : Pompa gücü (kW)

Q : Debi (m^3/sn)

ρ : Akışkan yoğunluğu (kg/m^3)

η: Pompa verimini ifade etmektedir. (Pompa Verimi %78 kabul edilmiştir. Farklı pompalara göre bu değer değişmektedir.)

Q 0,03431 m^3/sn

H_m = 175 m kapasitesindeki pompanın gücü;

N = 0,03431 *175 *1000 /102*0,78

= 75,46 kW olarak hesaplanmış ve bir asıl bir yedek olmak üzere 80 kW gücünde pompa seçilmiştir.

3.3. Ataköy İBAAT Çıkış Suyu ile Yeraltı Suyu Beslemesi

Bu çalışma ile Ataköy İBAAT geri kazanım ünitesinden çıkan arıtılmış atıksuyun, ilave ters osmoz işlemine tabi tutulduktan sonra bölgedeki yeraltı suyunun beslenmesi amacıyla kullanılabilirliği üzerinde durulacaktır.

Ataköy İBAAT'ta bulunan 25.000 m^3/gün kapasiteli Membran Biyoreaktör ünitesinin çıkış sularının ters osmoz membranı ile arıtımı sonrasında 2.000 m^3/gün (730.000 m^3/yıl) kapasitede yeraltı suyuna beslenebileceği ve bu beslemenin 365 gün boyunca devam edeceği öngörülmüştür.

Yeraltı suyu seviyesindeki değişimler besleme sonrasında izlenerek gerekmesi halinde besleme miktarı değiştirilebilecektir. Böylece, deniz suyu girişimi var ise bu girişim en aza indirgenebilecek ve kullanılabilir tatlı su rezervi oluşturulabilecektir.

Doğrudan enjeksiyon kuyusu sistemi tasarlanırken, geri kazanılan suyun göçünü etkileyecek olan hedef akifer ve çevreleyen hapsetme hidroliğinin tam olarak karakterize edilmesi kritik önem taşımaktadır. Ek olarak, doğrudan enjeksiyon sisteminin geliştirilmesinde yeniden kullanım sistemi ve hedef akiferdeki su kalitesi son kullanıcının ihtiyaçları ile birlikte dengelenmelidir.

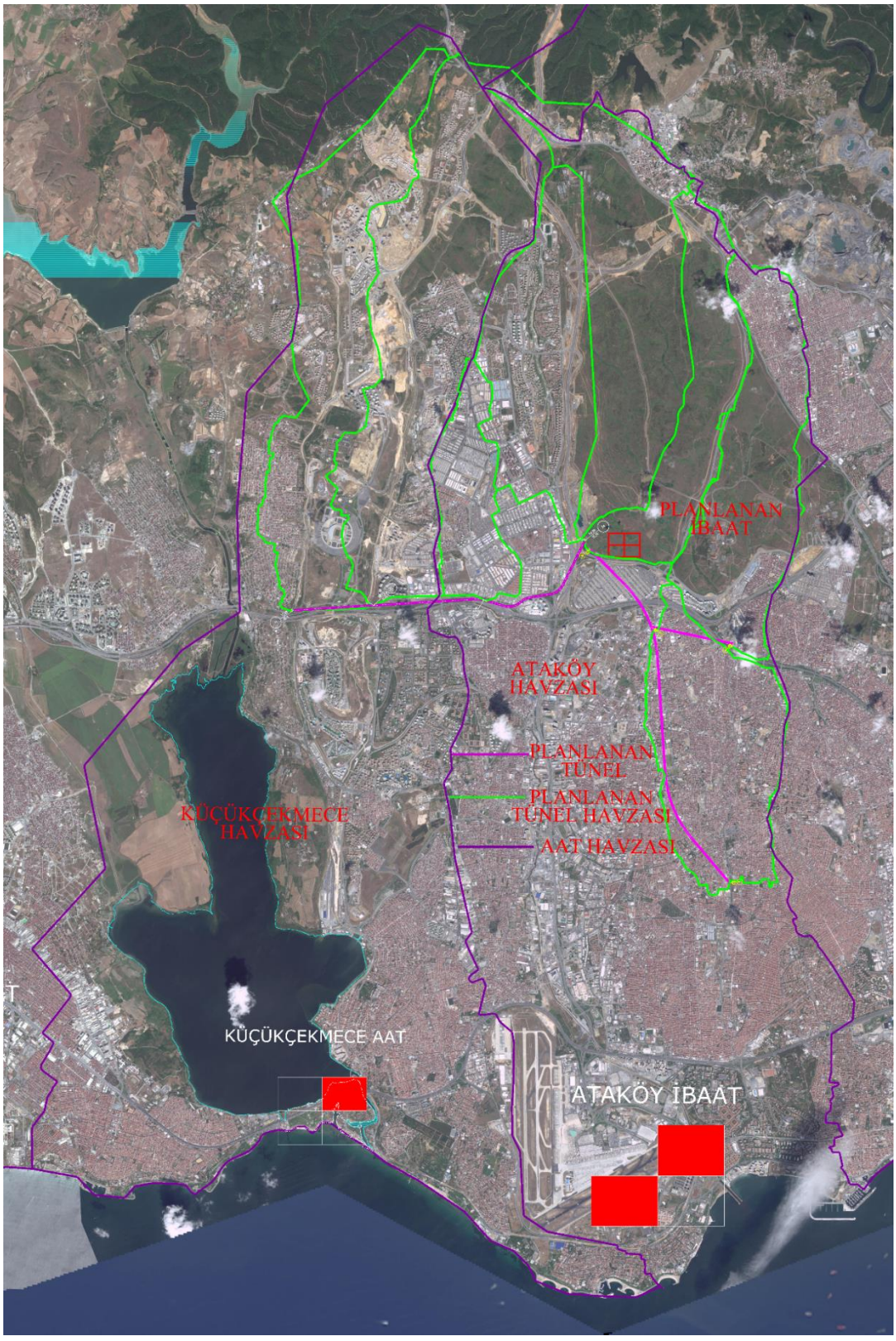
3.4. Esenler Askeri Bölge İBAAT Planlaması

Bu çalışma ile Esenler Askeri Bölge'de bir ileri arıtma tesisi planlanması halinde tesis çıkış sularının; metal kaplama, tekstil, plastik vb. sanayi kolları başta olmak üzere 37 kooperatiften 35'inin aktif olarak faaliyet gösterdiği İkitelli Organize Sanayi Bölgesi'ne iletilerek proses ve/veya soğutma suyu olarak endüstrilerde yeniden kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.

Öncelikle bölgede yeni bir arıtma tesisi planlanmasının sebebi; Tavukçu Deresi ana toplayıcı hatları kapasitesinin artan nüfus karşısında yetersiz kalması ve dere havzası atıksularının bir kısmının şekil 3.9'da güzergahı gösterilen ø 2.200 mm çaplı atıksu tüneli vasıtasıyla söz konusu arıtma tesisine yönlendirilmek istenmesidir.

Ayrıca, Kanalistanbul projesinin uygulamaya geçirilmesiyle iptal edilecek olan Küçükçekmece Ön Arıtma Tesisi Havzası atıksularının bir kısmı Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'ne iletilmek zorunda kalacak, bu durum da mevcut arıtma tesisinin kapasitesini zorlayacaktır. Bu durumda yine Başakşehir bölgesinin atıksularının toplanarak Şekil 3.9'da gösterildiği üzere ø 3.200 mm çaplı atıksu tüneli ile Esenler Askeri Bölgesi'nde planlanacak olan atıksu arıtma tesisine mansaplanması ve Ataköy İBAAT'ın yükünün azaltılması hedeflenmektedir [74].

Bu kapsamda İSKİ tarafından hazırlanan Tavukçu Deresi ve Başakşehir atıksu tünellerinin projeleri incelenmiş ve planlanan atıksu arıtma tesisinin ilk kademesi için eşdeğer nüfus 1.600.000 kişi olarak hesaplanmıştır. Bölgede 400.000 m^3/gün kapasiteli arıtma tesisinde uygulanacak teknoloji ve proses seçiminin, arıtılmış atıksuyun endüstrilerde yeniden kullanılabilme olanağına göre yapılması büyük öneme sahiptir. Bu noktada atıksuların öncelikle; ızgara, kum ve yağ tutucu, ön çökeltim havuzu, biyofosfor havuzu, havalandırma havuzu ve son çökeltim havuzu gibi ileri biyolojik arıtma proseslerinden geçerek geri kazanım ünitesine iletilmesi planlanmıştır. Arıtılmış atıksu öncelikle mekanik filtrelere terfi ettirilecek, ardından aktif karbon filtresinden geçirilerek ultrafiltrasyon (UF) sistemine girecektir.



Şekil 3.9 : Mevcut ve planlanan arıtmalar ile planlanan atıksu tüneli [79].

Son olarak klor temas tankına iletilen atıksulardaki patojen mikroorganizmalar da giderilmiş olacaktır. 25.000 m^3/gün kapasiteye sahip olacak şekilde tasarlanacak geri

kazanım ünitesi çıkış suları İkitelli OSB'de faaliyet gösteren endüstrilerde proses suyu, kazan ve soğutma suyu olarak kullanılabilecektir.

Sanayi bölgesinin Şekil 3.10'da görüldüğü üzere konum itibariyle planlanan arıtma tesisine yakınlığı, arıtılmış atıksuların iletiminde döşenecek olan basınçlı mor şebeke hattının inşaat ve işletme maliyetlerinde avantaj sağlayacaktır. Ayrıca bu projelerin uygulanması ile Ataköy İBAAT'ın 240.000 m^3/gün kapasiteli 3. kademe planlamasına kısa vadede ihtiyaç duyulmayacaktır.



Şekil 3.10 : Esenler Askeri Bölge'de planlanan İBAAT ile İkitelli OSB konumu ve vaziyet planı [80].

3.5. Ataköy Havzası'nda Yağmursuyu Hasadı ve Gri Su Uygulamaları

Bu çalışma ile Ataköy Atıksu Toplama havzasında yer alan Başakşehir ve Bakırköy ilçelerinde örnek alınan iki site ile Bağcılar ilçesindeki bir ticaret merkezinin çatı sularının toplanarak yeniden kullanımı yoluyla elde edilebilecek ekonomik/çevresel tasarrufların tespitleri ve kıyaslamaları yapılacaktır.

- Tarabya Sitesi

Başakşehir ilçesinde yer alan sitede 9 katlı 40'ar dairelik 15 adet blok bulunmaktadır. Her bir dairede minimum 4 kişinin ikamet ettiği varsayımıyla sitenin toplam nüfusunun 2.400 kişi olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.11 : Başakşehir Tarabya Sitesi.

- Koru Florya Sitesi

Yağmursuyu veriminin hesaplanacağı bir diğer yerleşim ise Bakırköy ilçesinde yer alan Koru Florya Sitesi'dir. 7 blok ve 298 dairenin bulunduğu site nüfusu yaklaşık 1.192 kişidir. Site mevcut durumda Küçükçekmece Havzası'nda yer almakta olup Kanalistanbul projesinin uygulanması ile değişecek toplama havzası sınırlarına göre Ataköy Havzası'nda kabul edilmiştir.



Şekil 3.12 : Bakırköy Koru Florya Sitesi.

- İSTOÇ Ticaret Merkezi

Çalışmaya konu olan İstanbul Toptancılar Çarşısı (İSTOÇ); Fatih bölgesinde yer alan çeşitli sektör esnaflarının 1979 yılında kurduğu bir kooperatif olup 1984 yılından bu yana Bağcılar ilçesi Mahmutbey semtinde 1 milyon 100 bin m^2'lik alanda faaliyet göstermektedir.

İSTOÇ'ta yaklaşık 35 meslek kolundan 6.900 adet dükkan, mağaza ve imalathane yer almakta olup çalışan personel sayısı ise 36.000 kişidir. Günlük ziyaretçi sayısından dolayı 100.000 civarında hareketli nüfusa sahip olduğu görülmektedir [81].



Şekil 3.13 : İSTOÇ Ticaret Merkezi.

Çatı yüzeyinden yağmursuyu hasadı yöntemiyle toplanarak kullanılabilecek su miktarı yağmursuyu verimi hesabı ile belirlenmektedir.

Yağmur suyu verimi*: Yağmur toplama alanı x yağış miktarı x çatı katsayısı x filtre etkinlik katsayısı.*

$$S=Ax\ P\ x\ c\ x\ \mu$$

Tarabya Sitesi için çatı alanı (A) : 7.500 m^2

Koru Florya için çatı alanı (A) : 12.560 m^2

İSTOÇ için çatı alanı (A) : 221.433 m^2

Çatı katsayısı (c) : 0,8

Filtre etkinlik katsayısı (μ) :0,9

Yağış miktarı (P) : 919,3 mm/yıl

Yağış miktarı olarak Çizelge 3.7'de verilen değerlerin ortalaması olan 919,3 mm/yıl esas alınmıştır.

Çizelge 3.7 : 2017 yılına ait aylık yağış miktarları (mm) [82].

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ortalama
2017	*189,7*	40,3	53,0	14,9	66,4	46,7	91,6	27,5	148,4	62,9	76,8	101,1	*919,3*

2017 yılının ortalama yağış miktarı 919,3 mm olurken ocak ayı 189,7 mm yağış ile yılın en yağışlı ayı olarak gözlemlenmiştir.

Tarabya Sitesi yağmursuyu verimi =7.500 m^2 x 919 mm/yıl x 0,8 x 0,9

= 4.914 m^3/yıl = 4.914.000 lt/yıl

Koru Florya yağmursuyu verimi =12.560 m^2 x 919 mm/yıl x 0,8 x 0,9

=8.229 m^3/yıl = 8.229.000 lt/yıl

İSTOÇ yağmursuyu verimi = 221.433 m^2 x 919 mm/yıl x 0,9 x0,8

=146.517 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır.

İstanbul için yıllara göre brüt kişi başı günlük su tüketimleri Çizelge 3.8'de sunulmuştur. Bu değerlerin ortalaması alındığında sonuç *191 l/kişi/gün* çıkmaktadır.

Çizelge 3.8 : İstanbul ili için yıllara göre brüt kişi başı günlük su tüketimleri [83].

Yıllar	2001	2002	2003	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	Ortalama
Birim su tüketimi (l/kişi/gün)	223	195	202	204	190	147	195	186	181	189	189	191

Bu durumda nüfus ve ortalama günlük birim tüketim değeri (*191 l/kişi/gün*) kullanılarak Çizelge 3.9'daki yıllık su tüketim miktarlarına ulaşılabilmektedir.

Çizelge 3.9 : Nüfus ve yıllık su tüketim miktarları -1.

Yer	Nüfus	Yıllık su tüketim miktarı (lt)
Tarabya Sitesi	2.400	167.316.000
Koru Florya Sitesi	1.192	83.100.280
İSTOÇ	36.000	2.509.740.000

Ancak İstanbul için 2010-2019 yılları tahakkuk verileri kullanılarak ortalama evsel birim su tüketimi *99,42 l/kişi gün*, ortalama kamu+ ticaret birim su tüketimi 27,44 l/kişi gün, ortalama sanayi birim su tüketimi 5,73 l/kişi gün olarak hesaplanmıştır. Bu durumda birim su tüketim miktarına bağlı olarak yıllık su tüketim miktarı da değişecek olup Çizelge 3.10'da verilmektedir.

Çizelge 3.10 : Nüfus ve yıllık su tüketim miktarları -2.

Yer	Nüfus	Yıllık su tüketim miktarı (lt)
Tarabya Sitesi	2.400	87.091.920
Koru Florya Sitesi	1.192	43.255.653
İSTOÇ	36.000	360.561.600

Çizelge 3.11 : Yağmursuyu hasat miktarı.

Yer	Tarabya Sitesi		Koru Florya Sitesi		İSTOÇ	
Birim su tüketimi (lt/kişi/gün)	191	99,42	191	99,42	191	27,44
Yılık su tüketimi (m^3)	167.316	87.092	83.100	43.256	2.509.740	360.562
Yıllık hasat (m^3)	4.914		8.229		146.517	
Yıllık su tasarrufu (₺)	19.656		32.916		1.573.592	
Kar oranı (%)	2,9	5,6	9,9	19	5,8	40,6

Çizelge 3.11'den görüleceği üzere Tarabya Sitesi'ndeki yıllık su tüketim miktarı 167 milyon 316 bin litre iken, bu miktarın 4 milyon 914 bin litresi yağmur suyu ile karşılanabilmektedir. Böylelikle içmesuyu şebekesinden temin edilen sudan % 2,9 oranında bir tasarruf elde edilmektedir. 20.05.2019 tarihi itibariyle İSKİ birim fiyat tarifesinde konut başına kullanılan suyun bedeli 4,00 ₺ olarak belirlenmiştir. Çatı sularından yağmur hasadı ile elde edilen 4 milyon 914 bin litrelik su tasarrufu ise yıllık su harcamalarında 19.656 ₺'lik bir azalma sağlamaktadır.

Koru Florya Sitesi'ndeki yıllık su tüketim miktarı 83 milyon 100 bin litre iken bu miktarın 8 milyon 229 bin litresi yağmursuyu hasadından elde edilen verimle karşılanabilmektedir. Böylece içmesuyu şebekesinden % 9,9 oranında daha az su çekilmekte olup 32.916 ₺ değerinde tasarruf elde edilmektedir.

Tarabya Sitesi'ne kıyasla nüfus yoğunluğu ve dolayısıyla su tüketim değerleri daha az olan Koru Florya Sitesi'nden elde edilecek yağmursuyu hasadı veriminin daha fazla olacağı görülmektedir.

İSTOÇ Ticaret Merkezi'nde ise yıllık su tüketim miktarı 2 milyar 549 milyon 740 bin litre iken bu miktarın 146 milyon 517 bin litresi çatıdan yağmursuyu hasadı yöntemi ile karşılanabilmektedir. Böylelikle içmesuyu şebekesinden temin edilen sudan % 5,8 oranında bir tasarruf elde edilmektedir. 20.05.2019 tarihi itibariyle İSKİ birim fiyat tarifesinde iş yeri başına kullanılan suyun bedeli 10,74 ₺ olarak belirlenmiş olup yıllık su harcamalarında 1 milyon 573 bin 592 ₺ değerinde tasarruf

elde edilmektedir. Ayrıca kamu+ticaret birim su tüketim değerinin 27,44 kabul edilmesiyle yapılan hesaplamalar neticesinde içmesuyu şebekesinden % 40,6 gibi önemli bir oranda kazanç sağlanabileceği belirlenmiştir.

Toplanabilecek yağışın depolanması için gereken rezervuar hacmi ise haftalık tüketim miktarına göre değişim göstermektedir. Hasat edilen suyun en az gri su olarak tüketilebilecek miktarının depolanması gerekmektedir.

Haftalık toplam su tüketiminin %25'inin tuvalet rezervuarlarında kullanılacağı varsayımından yola çıkarak Çizelge 3.12'deki değerlere ulaşılmıştır.

Çizelge 3.12 : Sifon suyu olarak kullanılabilecek yağmursuyu miktarı.

Yer	**Tarabya Sitesi**		**Koru Florya**		**İSTOÇ**	
	Kullanım Yeri -Tuvalet					
Birim su tüketimi (lt/kişi/gün)	191	99,42	191	99,42	191	27,44
Günlük tüketim (m^3) [6]	114,6	59,65	56,91	29,62	1.719,00	246,90
Haftalık tüketim (m^3)	802,2	417,55	398,37	207,3	12.033,00	1.728,30
Haftalık hasat (m^3)	94		157		2.817	
Hacim (m^3)	100		150		3.000	

Sadece bu çalışmaya konu olan üç örnek bölgeden bir yılda 159.660 m^3 yağmursuyu toplanabileceği bir diğer deyişle ortalama 835.916 kişinin su ihtiyacının bu yolla karşılanabileceği görülmektedir.

3.6.Maliyet Analizi

Arıtılmış atıksu ve çatı sularının toplanmasıyla elde edilen yağmursuyunun, farklı alanlarda tekrar değerlendirilmesine yönelik uygulamaların maliyet hesaplamalarında kullanılacak birim fiyatlar Çizelge 3.13-Çizelge 3.16'da verilmiştir.

[6] Birim su tüketimi x Nüfus x 0,25

Çizelge 3.13 : Boru ve tünel birim fiyatları [84-86].

Sıra No	Tarif	Birim	İLBANK Altyapı Tesisleri 2019 Birim Fiyatı (₺)	ÇŞB 2019 Malzeme Rayiç Fiyatı (₺)	Toplam Birim Maliyet (Özel parça vb. dahil) (₺)	İSKİ Birim Fiyatı ($)	İSKİ Birim Fiyat (₺)
1	Dış çapı 110 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	4,93	29,0	40,72		
2	Dış çapı 180 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	8,13	73,8	98,32		
3	Dış çapı 200 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	8,20	96,0	125,04		
4	Dış çapı 280 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	11,46	170,0	217,75		
5	Dış çapı 315 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	21,85	235,0	308,22		
	2800 mm çaplı tünel inşaatı	m				2.800	14.955
	3200mm çaplı tünel inşaatı	m				3.250	17.358
	Tünel şaft inşaatı	m (derinlik)				15.000	80.118

Çizelge 3.14 : Pompa ve yaprak filtre birim fiyatları [87,89].

Sıra No	Tarif	Q (m^3/sa)	Hm (Mss)	Motor gücü (kW)	Birim	Birim Fiyat ($)	Birim Fiyat (₺)
1	Yatay Milli Kademeli Santrifüj Pompa	125	175	80	adet	5.336	28.500
2	Paslanmaz Çelik Dalgıç Pompa	10	13	2,2	adet	249	1.330
3	Paslanmaz Çelik Dalgıç Pompa	10	25	3	adet	287	1.533
4	Paslanmaz Çelik Dalgıç Pompa	70	34	11	adet	549	2.932
5	Yağmursuyu Yaprak Filtresi (700m^2 çatı alanı için)				adet		6.967

Çizelge 3.15 : Arıtma birim fiyatları [45,79].

Sıra No	Tarif	Yatırım Birim Maliyeti ($/$m^3$)	Yatırım Birim Maliyeti (₺/m^3)	İşletme Birim Maliyeti ($/$m^3$/gün)	İşletme Birim Maliyeti (₺/m^3/gün)
1	Ters Osmoz	220	1.175	0,22	1,18
2	Enjeksiyon Kuyusu	8,07	43,10	0,53	2,83

Çizelge 3.16 : Su deposu birim fiyatları [90].

Sıra No	Tarif	Birim	İSKİ Birim Maliyet (₺)
1	100 m^3 Kapasiteli Betonarme Su Deposu	adet	185.733
2	150 m^3 Kapasiteli Betonarme Su Deposu	adet	278.602
3	3000 m^3 Kapasiteli Betonarme Su Deposu	adet	2.073.679

3.6.1. Ataköy İBAAT çıkış suyunun endüstride kullanılması

Ataköy İBAAT'tan çıkan arıtılmış atıksuları endüstriyel tesislere iletecek olan pompalar ile toplam 23,5 km uzunluğunda ve ø110-315 mm arası muhtelif çaplarda polietilen cinsi basınçlı boruların maliyet bilgileri Çizelge 3.17'de verilmektedir.

Çizelge 3.17 : Boru ve pompa maliyet bilgileri.

Sıra No	Tarif	Birim	Metraj	Birim Fiyat (₺)	Maliyet (₺)
1	Dış çapı 110 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	10.323	40,72	420.352
2	Dış çapı 180 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	4.335	98,32	426.217
3	Dış çapı 200 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	346	125,04	43.264
4	Dış çapı 280 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	4.097	217,75	892.122
5	Dış çapı 315 mm, PE100 boru döşenmesi (Boru, özel parça ve baş bağlama bedeli hariç)	m	4.494	308,22	1.385.141
6	Yatay milli santrifüj pompa	adet	2	28.500	57.500
	Toplam				3.224.096

Toplam yatırım maliyeti 3.224.096 ₺'dir. Pompaların bir yıllık işletme maliyeti ise 398.240[7] ₺'dir. [73]

Bu çalışmanın uygulanması halinde İSKİ'nin gerçekleştireceği 3.224.096 ₺'lik yatırımın geri ödenme süresi hesaplanarak fayda/maliyet analizi yapılabilecektir.

Abonelere ulaştırılan içmesuyunun İSKİ'ye maliyeti m^3 başına 0,60 ₺'dir. 2.975 m^3/günlük içmesuyunun çalışmaya konu olan 13 endüstri tesisine iletilmesinde bir yılda harcanan elektrik enerjisi maliyeti 651.525 ₺ olarak hesaplanmış olup bu değerden geri dönüşüm suyunun basınçlı hatlarla iletilmesi halinde harcanan enerji maliyeti düşüldüğünde 253.285 ₺ kar elde edildiği görülmektedir. Geri dönüşüm

[7] Enerji maliyeti dikkate alınmıştır.

suyunun 0,36₺/m^3 üzerinden faturalandırıldığı dikkate alındığında 390.915 ₺ kazanç elde edilmektedir.

Bu çalışmanın İSKİ'ye toplam getirisi 644.200 ₺/yıl olup projenin geri ödeme süresi 5 yıl olarak hesaplanmıştır.

3.6.2. Ataköy İBAAT çıkış suyu ile yeraltı suyu beslemesi

1 m^3 arıtılmış atıksuyun ters osmoz membranında arıtılması için gerekli ilk yatırım maliyeti yaklaşık 220 $'dır. 2.000 m^3/gün kapasiteli tesis için ilk yatırım maliyeti yaklaşık 440.000 $'dır. Membran tesislerinin işletme maliyeti ise yaklaşık 0,22 $/$m^3$ olarak ön görülmektedir. Böylece günlük işletme maliyeti 440 $ ve yıllık arıtma maliyeti ise yaklaşık 160.600 $ olarak hesaplanmıştır.

Ataköy İBAAT geri kazanım çıkış suyunun yeraltı suyu suni beslemesinde kullanılabilmesi için tesis edilmesi gereken ilave arıtma sistemi ve enjeksiyon kuyusuna ilişkin maliyetler Çizelge 3.18'de verilmektedir.

Çizelge 3.18 : Arıtma maliyeti.

Arıtma Tipi	Debi (m^3/gün)	Yatırım Maliyeti ($)	İşletme Maliyeti ($/yıl)	Yatırım Maliyeti (₺)	İşletme Maliyeti (₺/yıl)
Ters Osmoz	2.000	440.000	160.600	2.350.128	857.956
Enjeksiyon Kuyusu	2.000	16.140	386.900	86.206	2.066.510
Toplam		896.140	547.500	2.436.334	2.924.466

3.6.3. Esenler Askeri Bölge İBAAT planlaması

Arıtılmış atıksuyun endüstriyel tesislerde kullanılabilmesi için öncelikle İkitelli OSB'ye yakın konumda planlanacak arıtma tesisine atıksu taşıyacak tünel hatlarının maliyeti hesaplanarak Çizelge 3.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.19 : Başakşehir ve Tavukçu atıksu tünel maliyetleri.

Sıra No	Tarif	Uzunluk (m)	Derinlik (m)	Maliyet (₺)
1	3.200 mm çaplı tünel	5.725		99.375.981
2	2.800 mm çaplı tünel	8.097		121.089.016
3	2.800 mm tünel şaftı		122	9.774.030
4	3.200 mm tünel şaftı		231	18.506.565
	Toplam			248.745.592

Atıksular ileri biyolojik arıtma proseslerinden geçtikten sonra geri kazanım ünitesine iletilecek olup hesaplanan kapasite bilgileri doğrultusunda arıtma maliyetleri Çizelge 3.20'deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 3.20 : Arıtma maliyeti (₺).

Kapasite (m^3/gün)	Arıtma Yöntemi	Maliyet (€)	Maliyet (₺)
400.000	İBAAT	116.500.000	712.642.150
25.000	Aktif karbon+ UF+klor	3.240.000	19.819.404
Toplam		119.740.000	732.461.554

Planlanan tünel ve arıtma maliyetleri toplamda 981.207.146 ₺ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, projenin uygulanması halinde planlanan Ataköy İBAAT'ın 3. Kademe inşaatı kısa vadede gündemden kalkacağı için (513.224.690 ₺ maliyetli) net maliyet 467.982.456 ₺ olarak hesaplanmıştır.

3.6.4. Ataköy Havzası'nda yağmursuyu hasadı ve gri su uygulamaları

Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.16'da verilen birim fiyatlar üzerinden hesaplanan maliyetler Çizelge 3.21'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.21 : Depolama ve pompa maliyeti (₺).

	Tarabya	Koru Florya	İSTOÇ
Betonarme Su Deposu	185.733	278.602	2.073679
Yağmur Filtresi	104.505	125.406	2.208.539
Paslanmaz Çelik Dalgıç Pompa	1.330	1.533	2.932
Toplam	213.313	272.879	4.285.150

Bu proje ile İSTOÇ için yıllık 1. 573.592 ₺ değerinde su tasarrufu gerçekleşecek olup 4.285.150 ₺'lik yatırım maliyeti 2,7 yılda geri ödenecektir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; suyun sadece bir kaynak olarak değil kentin yaşanabilirlik ve sürdürülebilirliğine katkı sağlayan çevresel bir varlık olarak görüldüğü ve tüm potansiyelinin açığa çıkarıldığı "Suya Duyarlı Kent" kavramı üzerinde durulmuştur.

Suya Duyarlı Kent olma yolunda atılacak adımlardan biri olan "*su döngüsü*"nün sağlanmasına yönelik olarak bir atıksu toplama havzasında arıtılmış atıksuyun endüstriyel alanlarda kullanımı ve yağmursuyu hasadının gri su olarak değerlendirilmesi ile elde edilebilecek tasarruf oranları münferit örnekler üzerinden hesaplanarak kent ölçeğinde uygulanabilecek çalışmalara yol göstermesi amaçlanmıştır.

Ataköy İBAAT'ta arıtılmış atıksuların aynı havzanın muhtelif ilçelerinde faaliyet gösteren 13 adet endüstriyel tesise iletilmesi halinde su tasarrufundan elde edilecek yıllık kazanç 1.696.722 ₺ iken 23,5 km uzunluğunda basınçlı hattın yatırım maliyeti 3.224.096 ₺ olarak belirlenmiştir. Bu durumda sistemin geri ödeme süresi 5 yıl olarak hesaplanmıştır.

Kanalistanbul Projesi'nin uygulamaya geçirilmesiyle iptal edilecek olan Küçükçekmece Ön Arıtma Tesisi Havzası atıksularının bir kısmı Ataköy İBAAT'a iletilmek zorunda kalacağından, mevcut arıtma tesisinin kapasitesi aşılacağı ve bu durumda Ataköy'e 3. Kademe tesis inşa edilmesi yerine TEM otoyolunun kuzeyinde Esenler Askeri Bölge içerisinde planlanacak İBAAT'ın çıkış sularının İkitelli OSB'de kullanılmasının daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Aynı zamanda Ataköy İBAAT geri kazanım ünitesinden çıkan arıtılmış atıksuyun, ilave ters osmoz işlemine tabi tutulduktan sonra yeraltı suyunun beslenmesi amacıyla kullanılmasının yüksek işletme maliyetlerini beraberinde getirdiği görülmüştür.

Yağmursuyu ve gri su uygulamaları ile ilgili bu çalışmaya konu olan üç örnek bölgeden bir yılda 159.660 m^3 yağmursuyu toplanabileceği bir diğer deyişle ortalama 835.916 kişinin su ihtiyacının bu yolla karşılanabileceği görülmüştür. Söz konusu uygulamalar ile su tasarrufundan 1.626.164 ₺ yıllık maddi kazanç elde edilebileceği

ve sistemin kurulabilmesi için gereken yatırım maliyeti olan 4.771.342 ₺ ile kıyaslandığında kısa vadede ekonomik ve sürdürülebilir faydalar sağladığı sonucuna varılmıştır.

Ayrıca bu araştırmada, gelecek nesillere aktarmamız gereken en önemli doğal kaynağımız olan suyun daha verimli kullanılmasının sağlanması ve suya duyarlı kent bilinci oluşturulmasının önemi anlaşılmış olup bu kapsamda aşağıda sıralanan bazı öneriler geliştirilmiştir:

Evsel su tüketim modellerini değiştirmeyi amaçlayan kamu eğitim programlarını uygulanmalıdır. Okullar, iş dünyası, televizyon, gazeteler, reklam panoları bu kapsamda kullanılabilir.

Düşük akışlı duş başlıkları, vakumlu (susuz) tuvaletler, gri su geri dönüşümü ve yağmur suyu hasadı dahil olmak üzere, su verimliliğinde güçlendirme ve kurulumları teşvik etmek için bir indirim ve / veya destek sistemi uygulanmalıdır.

Kişi başı su tüketiminin azaltılması hedeflenerek brüt aşırı tüketiminin ise ceza oranları ile fiyatlandırılması ve tekrar etmesi halinde cezaların katlanarak arttırılacağı bir sistemin uygulamasına geçilmelidir. Ayrıca sosyoekonomik koşulların dikkate alındığı ücretlendirme politikası geliştirilmelidir.

Yerel yönetimler ve bağlı kuruluşları su kanal idareleri tarafından vatandaşlara su faturalarıyla birlikte tasarrufun önemini ve tedbirlerini anlatan kitapçıklar gönderilerek toplumsal farkındalığın oluşturulmasına katkı sağlanmalıdır.

Yerel yönetimlerce öncelikle su, atıksu ve yağmursuyu konularının birlikte ele alındığı entegre bir yönetim anlayışı benimsenmelidir.

Suyun entegre yönetilmesi ile su kaynaklarının korunması, altyapı şebekesinin rehabilite edilerek kayıp, kaçakların azaltılması, atıksuyun arıtıldıktan sonra mor şebeke sistemiyle dağıtılarak sulama ve sanayide kullanılması, yağmursuyu hasadı gibi yöntemlerle kentlerdeki sel ve taşkın olaylarının önüne geçilerek aynı zamanda depolanan suyun tekrar kullanılması, gri su kullanımının yaygınlaştırılması sağlanmalıdır.

Akıllı şebekeler gibi uygulamalarla desteklenen akıllı şehirler inşa edilmeli, kentsel planlar hazırlanırken su tasarrufu sağlayan verimli sistemler planlanmalıdır. Gri su

tesisatları yasallaştırılmalı, tüm yeni bina ve tadilatlarda su tasarrufu uygulamaları zorunlu hale getirilmelidir.

Netice itibariyle, tek elden su döngüsünü yöneterek mavi ile yeşilin bütünleştiği, insanların beton kanallarla sudan uzak tutulduğu değil de suyla temas ettiği, yağmursuyu depoları ve gri su kullanımı ile sudan tasarruf edilirken peyzaj özelliğinden, estetik değerinden faydalanıldığı "Suya Duyarlı" bir yönetim stratejisine geçilmesi gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır.

En önemlisi de "Hiçbir şey geleceğin öngörülemezliğinden açık değildir." mantığıyla suyun sınırsız bir kaynak olmadığı konusunda kent bilincinin oluşturulması, suyun verimli tüketilmesinin teşviki sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Wong, T. ve H. F. Brown, R. R.** (2009). The Water Sensitive City: Principles for Practice, *Water Science and Technology*, 60(3), 673-682.

[2]Url-1<https://bestpractices.powerh2020.eu/?location= featuredChallenge&load4 >erişim tarihi 17.04.2020.

[3] **T.C Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı**. (2019). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023).*Ankara

[4] **İBB-İSTAÇ.** (2019). *İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı İklim Senaryoları,* İstanbul

[5] **Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. (**2010). T. C. Resmi Gazete, 27527, 20 Mart 2010.

[6] **Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik.** (2017). T.C Resmi Gazete, 29940, 6 Ocak 2017.

[7] **Eremektar, G., Tanık, A., Arslan, İ., Gürel, M., Övez, S., Orhon, D.** (2005). Türkiye'de Doğal Arıtma Uygulamaları ve Projeleri, *Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı*, 9-10 Haziran 2005, İstanbul.

[8] **Ünal U. ve Akyüz D. E.** (2017). Sürdürülebilirlik Açısından Yağmur Hendekleri. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(3), 71-82.

[9] **Demir, D.** (2012) *Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmursuyu Sistemlerinin Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] **Avdan, Z.Y, Yıldız, D., Çabuk, A.** (2015). *Yağmur Suyu Yönetimi Açısından Yeşil Altyapı Sistemlerinin Değerlendirilmesi*, ISBS 28-30 Mayıs 2015, Ankara

[11] **Aras, B. B**. (2019). Kentsel Sürdürülebilirlik Kapsamında Yeşil Çatı Uygulamaları, *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(1), 469 – 504.

[12] **İstanbul İmar Yönetmeliği.** (2018). T. C. Resmi Gazete, 30426, 20 Mayıs 2018

[13] Url-2 <https://www.ekoyapidergisi.org/3215-kucukcekmece-belediyesinde-btm-yesil-cati-sistemleri-kullanildi.html>, erişim tarihi:06.06.2020.

[14] Url-3 <https://www.researchgate.net/figure/Rotterdams-largest-green-roof-known-as-Dak-Park-meaning-Roof-Park-source-City-of_fig5_324455458>, erişim tarihi 07.05.2020.

[15]Url-4<https://www.facilitairjournaal.nl/artikel/Konijnen-teisteren-Dakpark-Rotterdam->, erişim tarihi 02.03.2020.

[16]Url-5<*https://www.epa.gov/greeningepa/stormwater-management-practices-epa-facilities*>, erişim tarihi 02.03.2020.

[17] **Dane County Erosion control and Stormwater Management Manual.** (2007). "*Appendix1 –Bioretention Basin*."

[18] **T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2018). *Yağmur Bahçesi Hazırlama Kılavuzu*

[19] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (**2019). Türkiye Mekânsal Strateji Planının Hazırlanması Projesi I. Etabı- Türkiye Mekânsal Strateji Planı Vizyonu, Öncelikleri ve Mekânsal Gelişme Senaryosu Raporu. Ankara

[20] **HET Peyzaj Kentsel Tasarım Ar-ge Ltd. Şti.** (2018) İSKİ Ayamama Deresi Peyzaj Projesi [PowerPoint sunum], Aralık 2018. İstanbul

[21] **Tunçay, H. E**. (2017). *Kentsel Drenaj ve Kent Ekolojisi*- İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Sürdürülebilir Kentler Birliği [PowerPoint sunum]

http://www.skb.gov.tr/wp-content/uploads/2017/11/Hayriye-ESBAH-TUNCAY.pdf

[22] Url-6<http://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/industry/treatment-types/what-is-porous-pavement/>, erişim tarihi 28.05.2020.

[23] Url-7< https://www.aanpakagniesebuurt.nl/content/uploads/2019/10/ZoHo-Climate-Proof-A5-booklet.pdf> , erişim tarihi 01.03.2020.

[24] Url-8 <https://www.angeluspavingstones.com/permeable-collections/permeable-holland/> erişim tarihi: 12.07.2020

[25] **Korkut, A., Gültürk, P., Üstün Topal, T. (2016).** *Kentsel Peyzaj Yapılarında Zemin Geçirimliliği Üzerine Bir Araştırma: Tekirdağ Örneği* Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 16 (2): 412-422

[26] Url-9 < https://www.haberturk com/gundem/haber/954333-istanbullu-bu-fotografi-konusuyor> erişim tarihi: 21.09.2019.

[27] **Alan, V.** (2008). Türkiye'de Su Potansiyeli ve Atıksuların Geri Kullanımı- *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi (s.273-277).*

[28] **German ATV Rules and Standarts,** (1998). Advisory Leaflet ATV-M 205 E *"Disinfection of Biologically Treated Wastewater"*

[29] **T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,** (2016). *Türkiye Çevre Durum Raporu*, Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü. Ankara

[30] **Koyuncu, İ.** (2015). Dezenfeksiyon,. *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, 81.sayı, (54-62)

[31] **Katip, A.** (2018). Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (2), *541-557*.

[32] **T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2019)** *Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi*, Ankara

[33] **U.S. Environmental Protection Agency.** (2012). *Guidelines for Water Reuse,* AR-1530, EPA/600/R-12/618 .

[34] Url-10<http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019>,erişim tarihi: 8.04.2020

[35] **Gönüllü, M. T.,** Endüstriyel Kirlenme Kontrolü-1, Birsen Yayınları, [PowerPoint sunum]

https://avesis.yildiz.edu.tr/resume/downloadfile/ukurt?key=c67d259b-6569-4368-98b8-aa4fc9b7c0f8

[36] **Sarptaş, H., Dölgen, D., Alpaslan N.** (2012). Endüstriyel İşletmelerde Suyun Geri Kullanımı OSB Örneği, *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, Sayı 53. (Sayfa 30-36)

[37] **Europan Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law.** (2018). *Report on Urban Water Reuse, Integrated Water Approach and Urban Water Reuse Project.*

[38] **Devlet Su İşleri.** (2017). *Su ve Atıksu Bilgi Notu*

[39] **U.S. Environmental Protection Agency.** (2004). *Guidelines for Water Reuse,* EPA/625/R-04/108.

[40] **Gümüşlü, E.** (2016). *Pişirici Cihaz Üretiminde Tesis İçi Su Geri Kazanımının Değerlendirilmesi,* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[41] **Dumlu, L**. (2014). *Kağıt Endüstrisi Atıksularına Uygun Arıtma Teknolojilerinin Belirlenmesi ve Türkiye'deki Mevcut Durumun Analizi*, (Uzmanlık Tezi).T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Su ve Toprak Yönetimi Daire Başkanlığı, Ankara

[42] **T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı CBS Genel Müdürlüğü.** (2017) *Türkiye Jeoloji Veri Standartlarının Belirlenmesi ve Jeoloji Temasının Hazırlanması,* Analiz Raporu Ankara.

[43] **T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.** (2016) *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Proje Nihai Raporu – EK 29.*

[44] **Öztürk, İ., Tanık, A., Cüceloğlu, G. (2015).** *Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri (El Kitabı),* Türkiye Belediyeler Birliği. 2.Baskı. Ankara

[45] **Page, D., Bekele E., Vanderzalm, J., Sidhu, J.** (2018). *Managed Aquifer Recharge (MAR) in Sustainable Urban Water Management,* MDPI, **2018**, *10*(3), 239; https://doi.org/10.3390/w10030239

[46] **Duman, H.** (2017) *Arıtılmış Kentsel Atıksuların Sulamada Yeniden Kullanımı; Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Örneği,* (Uzmanlık Tezi), Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Ankara

[47] **Baykal, B. B., Allar, A. D.** (2007). ECOSAN: Ekolojik Evsel Atıksu Yönetimi, *İTÜ Dergisi/Su Kirlenmesi Kontrolü,* (17/3),

[48] **Üstün, G. E., Tırpancı, A.** (2015). Gri Suyun Arıtımı ve Yeniden Kullanımı, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(2), 119-139.

[49] **Aybuğa, K.** (2018). *Su Kaynakları Üzerindeki Baskıların Hafifletilmesi Maksadıyla Konutlarda Yağmur Suyu ve Gri Su Kullanımı: Ankara Örneği. (Yüksek Lisans Tezi*) Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[50] **Baykal, B. B.** (2018). Gri Su ve Kentsel Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme, *Uluslararası Kent ve Sağlık Kongresi,11-14 Aralık 2018, Bursa* [PowerPoint sunum]

http://www.skb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/12/Bilsen-Beler-Baykal.pdf

[51] **Karahan, A.** (2009). *Gri Suyun Değerlendirilmesi*, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Seminer Bildirisi, Mayıs 2009,İzmir (1155-1164)

[52] Url-11 < https://www.tankplast.com/yagmur-suyu-gri-su-tanklari>, erişim tarihi:

[53] **İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.** (2015). *İSKİ Sıhhi Tesisat Eğitim ve Uygulama Esasları Yönetmeliği.*

[54] **Esin, T., Yüksek İ.,** (2008). *"Yapılarda su etkinliği için bir uygulama; Yağmur suyunun yeniden kullanılması",* 4th International Symposium, Edirne. (225-230)

[55] **Tanık, A.** (2017). "*Yağmur Suyu Toplama, Biriktirme ve Geri Kullanımı"***,** Su Kaynakları ve Kentler Konferansı, Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği, Kahramanmaraş,25-27 Ekim 2017

http://www.skb.gov.tr/wp-content/uploads/2017/11/Prof.-Dr.-Aysegul-TANIK.pdf

[56] **Kantaroğlu, Ö.** (2009). *Yağmursuyu Hasadı Plan ve Hesaplama Prensipleri,* IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Seminer Bildirisi, Mayıs 2009, İzmir (1147-1151).

[57] **Baharash Architecture,** Water Boulevards
https://www.re-thinkingthefuture.com/urban-design/water-boulevards/

[58] **Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik.** (2017). T. C. Resmi Gazete, 30105, 23 Haziran 2017

[59] **İncebel, C.,** (2012), *"Alternatif Su Kaynaklarının Endüstriyel Kullanıma Kazandırılması İçin Çatı Yağmur Suyu Hasadı (Ostim Örneği)"* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 52

[60] **Centre For Liveable Cities**. (2017). *Urban System Studies The Active, Beautiful, Clean Waters Programme: Water As An Environmental Asset*., Singapur.

[61] **Atelier dreiseitl.** (2012) Bishan - Ang Mo Kio Park and Kallang River, Singapur

Url-12<http://blogs.gsd.harvard.edu/loeb-fellows/files/2012/11/AD-Ref_Singapore_Bishan-Park.pdf>, erişim tarihi: 12.04.2020.

[62]Url-13< *https://amsterdamsmartcity.com/projects/amsterdam-rainproof* >,erişim tarihi: 01.03.2020.

[63]Url-14< *https://www.tuinenstichting.nl/nieuws/amsterdam-rainproof/* >, erişim tarihi: 13.02.2020

[64] Url-15< *https://www.rainproof.nl/het-polderdak*>, erişim tarihi: 28.02.2020.

[65] Url-16< *https://iwa-network.org/city/amsterdam/*>, erişim tarihi: 27.02.2020.

[66] Url-17 < *https://www.dsd.gov.hk/Documents/SustainabilityReports/1617/en/sponge_city.html*> , erişim tarihi: 21.04.2019.

[67]Url-18< *https://waterresilientcities.eu/category/news/*> , erişim tarihi 21.05.2020

[68] Url-19< *http://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/industry/treatmenttypes/raingarde-tree-pits/*>, erişim tarihi: 21.05.2020.

[69] **Kesgin, E., Tan, R.İ., Coşar A. vd., (2016).** *Meriç Havzası Taşkınlarına Alternatif Çözüm Örneği: Kent Alanı Dışındaki Yeraltı Deşarj Kanalları (G-CANS) Projesi*, 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu. Kasım 2016 [PowerPoint sunum] http://www.dsi.gov.tr/docs/sempozyumlar/31-meri%C3%A7-havzas%C4%B1-ta%C5%9Fk%C4%B1nlar%C4%B1na-alternatif-%C3%A7%C3%B6z%C3%BCm-%C3%B6rne%C4%9Fi-kent-alan%C4%B1-d%C4%B1%C5%9F%C4%B1ndaki-yeralt%C4%B1-de%C5%9Farj-kanallar%C4%B1-(g-cans)-projesi-(e-kesgin)B2FDA53C46DC.pdf?sfvrsn=2

[70] Url-20< *https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater*>, *erişim tarihi: 10.03.2020*

[71] Url-21 < https://edition.cnn.com/2014/09/23/living/newater-singapore/index.html>, erişim tarihi: 24.01.2020

[72] Url-22 <https://www.seisakukikaku.metro.tokyo.lg.jp/gaimubu/anmc21/anmc21org/english/bestpractice/Singapore5.html>, erişim tarihi: 03.02.2020

[73] **T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2014).** *Turizmde Çevre Dostu Atıksu Yönetimi Rehberi 5128703 (ÇTÜE.14.173) Gebze, Kocaeli.*

[74] **Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.** (2018). *Faaliyet Raporu.*

[75] **Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.** (2018). *Faaliyet Raporu.*

[76] **İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.** (2018). *Atıksu Arıtma Dairesi Faaliyet Raporu.*

[77] **İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.** (2020). Atıksu Arıtma Dairesi Arşivi.

[78] **İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.** (2018). Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı Arşivi.

[79] **İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.** (2019). Atıksu İnşaat Dairesi Başkanlığı, Kanal Proje Şube Müdürlüğü Arşivi.

[80] Url- 23 < http://www.iosb.org.tr/haritaosb/haritaosb.htm>, erişim tarihi: 16.01.2020

[81] Url-24<https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/haberler1/haberler detay/istoc-un-altyapisi-modernize-ediliyor|> , erişim tarihi: 09.04.2020

[82] **T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü.** (2018). Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı, 45966, 26.11.2018.

[83] **TÜİK. (**2018). Belediye Su İstatistikleri:

Url-24< https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=121&locale=tr.> , erişim tarihi: 08.10.2019

[84] **T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2019). 2019 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları. Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı.(sayfa 127,128)

[85] **İLBANK, Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı.** (2019). 2019 Yılı Altyapı Tesisleri Birim Fiyatları, Ankara.

[86] **IMC**. (1999). *İSKİ Su Temini, Atıksu Toplama ve Arıtma, Yeraltısuyu Toplama ve Dere Islahları Master Planı.* İstanbul Master Plan Konsorsiyumu.

[87] **MAS DAF Makine Sanayi A.Ş.** (2020). Fiyat Teklifi.

[88] **META Arıtma Sanayi Tic. Ltd. Şti.** (2020). Fiyat Teklifi.

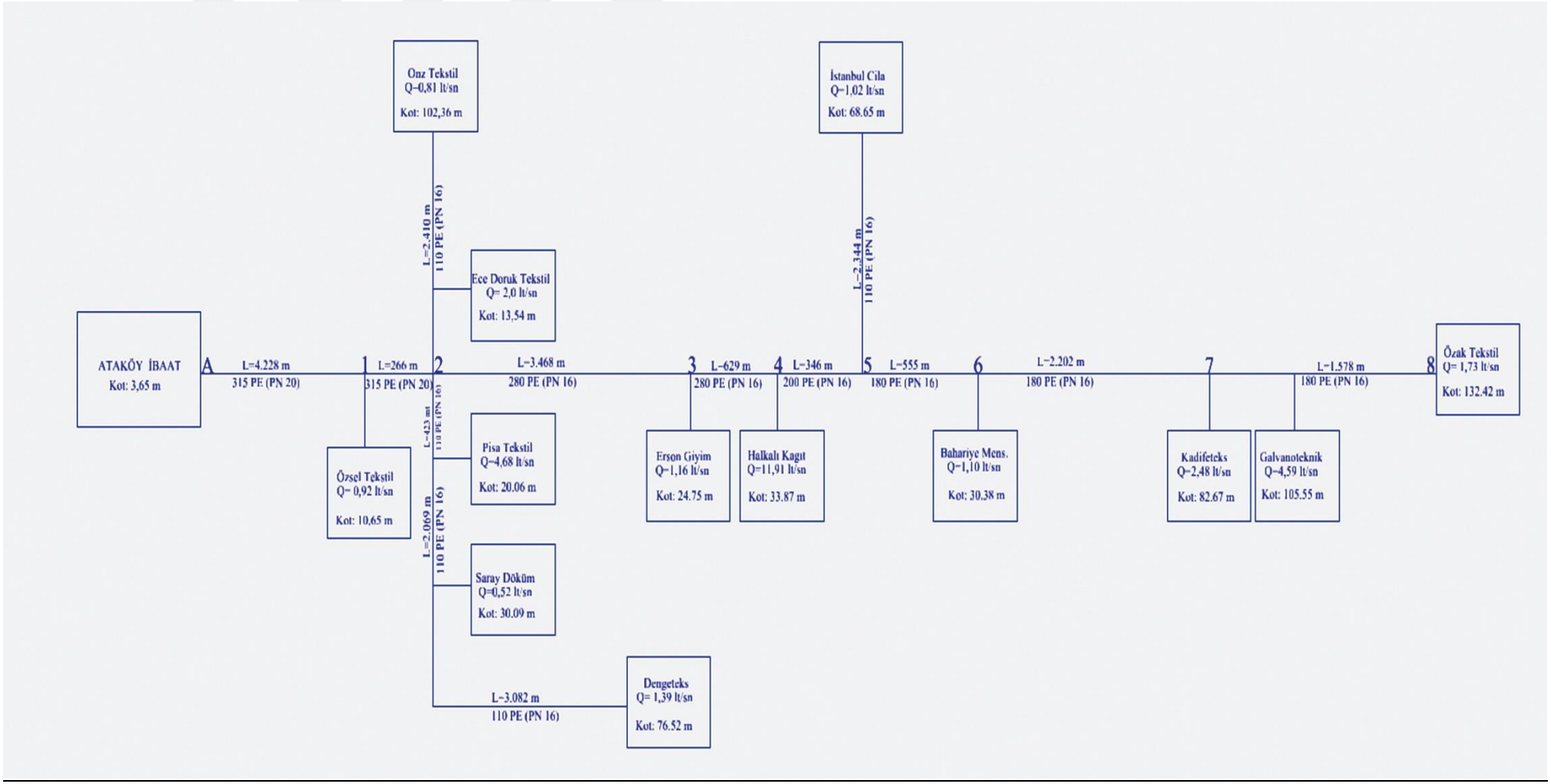
[89] **MSP Submersible Pumps & Motors.(**2018).MSP 2018 Fiyat Listesi.

[90] **İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.** (2020). Su İnşaat Dairesi Başkanlığı Arşivi

EKLER

EK A: Şematik çizim

EK A:


Onz Tekstil
Q=0,81 lt/sn
Kot: 102,36 m
İstanbul Cila
Q=1,02 lt/sn
Kot: 68.65 m
L=2.410 m
110 PE (PN 16)
L=2.344 m
110 PE (PN 16)
Ece Doruk Tekstil
Q= 2,0 lt/sn
Kot: 13,54 m
ATAKÖY İBAAT
Kot: 3,65 m
A
L=4.228 m
315 PE (PN 20)
1
L=266 m
315 PE (PN 20)
2
L=3.468 m
280 PE (PN 16)
3
L=629 m
280 PE (PN 16)
4
L=346 m
200 PE (PN 16)
5
L=555 m
180 PE (PN 16)
6
L=2.202 m
180 PE (PN 16)
7
L=1.578 m
180 PE (PN 16)
8
Özak Tekstil
Q= 1,73 lt/sn
Kot: 132.42 m
L=423 mt
110 PE (PN 16)
Özsel Tekstil
Q= 0,92 lt/sn
Kot: 10,65 m
Pisa Tekstil
Q=4,68 lt/sn
Kot: 20.06 m
Erson Giyim
Q=1,16 lt/sn
Kot: 24.75 m
Halkalı Kagıt
Q=11,91 lt/sn
Kot: 33.87 m
Bahariye Mens.
Q=1,10 lt/sn
Kot: 30.38 m
Kadifeteks
Q=2,48 lt/sn
Kot: 82.67 m
Galvanoteknik
Q=4,59 lt/sn
Kot: 105.55 m
L=2.069 m
110 PE (PN 16)
Saray Döküm
Q=0,52 lt/sn
Kot: 30.09 m
Dengeteks
Q= 1,39 lt/sn
Kot: 76.52 m
L=3.082 m
110 PE (PN 16)

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **: Hatice KAPLAN**

Doğum Tarihi ve Yeri **: 29.11.1983 /İSTANBUL**

E-posta **:** htcdurmus@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans **:**2005, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği

Yüksek lisans **:** 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği ve Yönetimi Programı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2006-2008 yılları arasında İSBAŞ A.Ş Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisi'nde işletme şefi, çevre mühendisi olarak çalıştı.
- 2008-…., İSKİ, Plan Proje Dairesi Başkanlığı bünyesinde, İstanbul genelinde atıksu, yağmursuyu, dere ve atıksu arıtma tesisi projelendirme işlerinde kontrol mühendisi olarak çalıştı. Halen Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı'nda "İçmesuyu ve Kanalizasyon Master Plan" işi kapsamında kontrol mühendisi olarak görev yapmaktadır.