

**YEREL YÖNETİMLERİN
SU PLANLAMASINDA
İKLİM DEĞİŞİMİNİN ROLÜ**

**THE ROLE OF CLIMATE CHANGE IN LOCAL
GOVERNMENTS' WATER PLANNING**

*İzzet ÖZTÜRK
Gökhan CÜCELOĞLU
Elif Zeynep DENERİ*

YEREL YÖNETİMLERİN SU PLANLAMASINDA İKLİM DEĞİŞİMİNİN ROLÜ

İzzet ÖZTÜRK

İstanbul Teknik Üniversitesi

Gökhan CÜCELOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi

Elif Zeynep DENERİ

İstanbul Teknik Üniversitesi

Özet

Bu çalışma, iklim değişiminden etkilenen sektörlerden biri olan su, atık su ve yağmur suyu yönetimi (entegre su yönetimi) sektörü için farklı düzeylerde yönetim birimleri tarafından alınması önerilen önlemleri sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında öncelikle su temini (arzu) ile iklim değişimi etkileşimi incelenmiştir. Bu kapsamda Orman ve Su İşleri Bakanlığı (şimdiki Tarım ve Orman Bakanlığı) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından Akarsu Mühendislik-İO Çevre ortak girişimine 2015-2100 dönemi için Türkiye geneli ve 25 akarsu havzası için yaptırılan iklim modellemesi ve hidrolojik modelleme projesi çıktıları özetlenmiştir. Bu kapsamda Türkiye için net su fazlası/açığı tahminleri verilmiş ayrıca Marmara ve Konya Kapalı Havzaları için elde edilen Hidrolojik Model projeksiyon sonuçları özetlenmiştir. Daha sonra, Bütünleşik Su Yönetimi'nin kent ölçeğinde iklim değişimi eylem planındaki yeri ve önemi, İstanbul Örneği ile sunulmuştur. Bu çerçevede, İstanbul ve yakın çevresindeki su kaynakları için yürütülmüş olan, yüksek çözünürlüklü iklim verileri ($\sim 0,25^\circ$) ile gerçekleştirilen kapsamlı hidrolojik modelleme çalışması çıktıları özetlenmiştir. Ardından Su ve Kanalizasyon İdareleri (SUKİ) Master Planları'nda kritik önem arz eden İklim Değişimine dirençli su yönetimi yaklaşımına değinilmiş; su arzının artırılması, su kayıp kaçaklarının azaltılması, daha etkin talep yönetimi ve kademeli su tarifesi uygulanması ile su temini (arzu) güvenliğinin sağlanmasına yönelik çözümler sunulmuştur. Bütünleşik atıksu yönetimi yaklaşımı ile atıksu arıtma tesislerinin enerji ihtiyacının tamamının kendi bünyelerinde üretilen enerjiden sağlanabileceği (enerji pozitif tesis) sistemler açıklanmış; yağmursuyu drenajı (gri altyapı) ve sürdürülebilir yeşil drenaj sistemleri, yağmursuyu drenajı ve taşkın yönetimi bölümünde verilmiştir. Değerlendirme ve öneriler bölümünde ise, Su Sektörü ve SUKİ'lerin yönetim birimi bazında alması tavsiye edilen tedbirler özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

İklim değişimi, Yerel yönetimler, Su planlaması, Bütünleşik su yönetimi, Sürdürülebilir kentsel drenaj, Atıksu rafinerisi

THE ROLE OF CLIMATE CHANGE IN LOCAL GOVERNMENTS' WATER PLANNING

İzzet ÖZTÜRK

Istanbul Technical University

Gökhan CÜCELOĞLU

Gebze Technical University

Elif Zeynep DENERİ

Istanbul Technical University

Abstract

This study presents the recommended measures to be taken by management units at different levels for the water, wastewater and rainwater management (integrated water management) sector, which is one of the sectors affected by climate change. In the scope of this study, firstly, the interaction of water supply (offer) and climate change was examined. In this context, the outputs of climate modeling and hydrological modeling project were summarized for Türkiye and 25 river basins which are prepared by the Ministry of Forestry and Water Affairs (currently Ministry of Agriculture and Forestry) Water Management General Directorate (SYGM) with the joint venture of Akarsu Engineering - İO Environment for the period 2015-2100. In this context, net water surplus/deficit estimations for Türkiye were given and the hydrological model projection results obtained for Marmara and Konya Closed Basins were summarized. Then, the place and importance of Integrated Water Management at the urban scale in climate change action plans were presented with the example of Istanbul. In this context, the outputs of the comprehensive hydrological modeling study carried out with high-resolution climate data ($\sim 0.25^\circ$) for water resources in Istanbul and its surroundings were summarized. Then, the climate change-resistant water management approach, which is of critical importance in the Water and Sewerage Administrations' (SUKI) Master Plans, was mentioned. Solutions for increasing the water supply, reducing the leakage of water, providing more effective demand management and gradual water tariff implementation and ensuring water supply (offer) security were presented. With the integrated wastewater management approach, systems in which all the energy requirements of wastewater treatment plants can be met from the energy produced within their own structure (energy-positive plant) have been explained; stormwater drainage (grey infrastructure) and sustainable green drainage systems were given. In the evaluation and recommendations section, the recommended measures to be taken by the Water Sector and SUKI based on management units are summarized.

Keywords

Climate change, Local governments, Water planning, Integrated water management, Sustainable urban drainage, Wastewater refinery

1. Giriş

İklim değişimi; uzun süreli hava olaylarında meydana gelen ani, şiddetli ve önemli değişimler olarak tanımlanmaktadır. İklim değişimi, antropogenik faaliyetlerdeki artış sebebiyle içinde bulunduğumuz yüzyılda öne çıkan bir problem halini almıştır. Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli (IPCC) Beşinci Değerlendirme Raporu'na göre insan faaliyetlerine bağlı sera gazı konsantrasyonlarında ortaya çıkan artış, 20. yüzyılın ortalarından itibaren atmosferde meydana gelen ısınmanın en önemli sebeplerinden biridir. (IPPC, 2014). Bu yüzden, küresel sıcaklık son 150 yılda yaklaşık 0,8°C yükselmiş olup günümüzde de yükselmeye devam etmektedir. Dünyanın pek çok bölgesinde yağış ve su kaynaklarının dağılımdaki değişikliklerin sebebi artan sera gazı emisyonlarından kaynaklanan küresel ısınmadır. Bu durum küresel ve bölgesel hidrolojik döngülerin iklim değişiminden büyük ölçüde etkilenmesi ile sonuçlanmıştır (Brutsaert & Parlange, 1998; Solomon, vd., (2007); Hagemann, vd., 2013; Dufresne, vd., 2013). Sanayileşme öncesine göre sıcaklıklardaki 2°C'lik artışın aşılması durumunda insan ve doğa için küresel ölçekte geri döndürülemez risklerin ortaya çıkacağı öngörülmektedir (OSİB, 2016).

İklim değişiminin Türkiye üzerindeki muhtemel etkileri, çeşitli yönleri ile farklı çalışmalarda değerlendirilmiştir (Önol vd., 2006; Önal & Semazzi, 2009) (Bozkurt vd., 2011; Demir, 2011; Önal, 2012; Ünal vd., 2012; Toros, 2012; Şen vd., 2013; Kurnaz, 2014). (Karaca vd., 2000) (Ünal vd., 2013). Konu ile ilgili analizler ve geleceğe yönelik tahmin çalışmalarının büyük çoğunluğunda en önemli iklim parametreleri olan sıcaklık, yağış ve ekstrem olaylar üzerine odaklanılmıştır. İklim projeksiyonları, sıcaklığın içinde bulunduğumuz yüzyılın sonuna kadar (2010-2100 dönemi) çok daha artacağını ortaya koymaktadır. Bu sebeple Güneydoğu Avrupa ve Doğu Akdeniz bölgesinde yer alan Türkiye'de; iklim değişiminin su kaynaklarına etkisini değerlendirmek için geleceğe yönelik projeksiyonların gelişmiş modellerle farklı senaryolar için gerçekleştirilmesi ve yüksek çözünürlüklü simülasyonlarla elde edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada öncelikle Kentsel Su Temini (arzi) ile iklim değişimi etkileşimi incelenmiştir. Bu kapsamda; ilk olarak, Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB) (şimdiki Tarım ve Orman Bakanlığı) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM)'nce Akarsu Mühendislik-İO Çevre Ortak girişimine, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Desteği ile yaptırılan, Türkiye geneli ve 25 akarsu havzasının her biri için 2015-2100 dönemini içine alan iklim modellemesi ve Hidrolojik Modelleme Projesi çıktıları özetlenmiştir (OSİB, 2016). Ardından; İstanbul ve civarındaki potansiyel su kaynakları (Marmara, İznik ve Büyük Melen (Batı Karadeniz)) alt havzaları için yakın tarihli bir doktora çalışması kapsamında yürütülen, yüksek çözünürlüklü İklim Modellemesi ve Hidrolojik Modelleme ile İstanbul'un su talebi projeksiyonları değerlendirilmiştir (Cüceloğlu, 2019). Daha sonra; İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü'nün yeni Su Yönetimi Master Planı'nda, İklim Değişimi'nin kentin 2023~2053 dönemi su temini planlaması üzerindeki etkiler ile ilgili yaklaşımı ele alınmıştır.

Çalışmanın, Su Kanalizasyon İdareleri'nin Bütünleşik Su, Atıksu ve Yağmursuyu Yönetimi Master Planlarında İklim Değişimi Etkilerinin ele alındığı üçüncü bölümünde ise; (i) Su Temini/arzu güvenliği (kuraklık ve talep yönetimi), (ii) Bütünleşik atıksu yönetimi (atıksu rafinerisi konsepti), (iii) Yağmursuyu drenajı ve taşkın yönetimi (sürdürülebilir kentsel drenaj seçenekleri, sünger şehirler ve yeşil/mavi dere koridorları) ve (iv) Kanalizasyon idarelerinde tam maliyet gerikazanımlı sürdürülebilir su-atıksu-yağmursuyu tarifesi hedef ve ilkeleri analiz edilmiştir. Dördüncü bölüm, bu konularla ilgili teknik, ekonomik ve idari sonuçlar ile bazı kritik önerilere ayrılmıştır.

2. Kentsel Su Temini (Arzu) ve İklim Değişimi Etkileşimi

2.1 Türkiye Geneli Ve 25 Su Havzasında 2015-2100 Dönemi İçin Yürütülen İklim Modellemesi Ve Hidrolojik Modelleme Çalışması Tahminleri

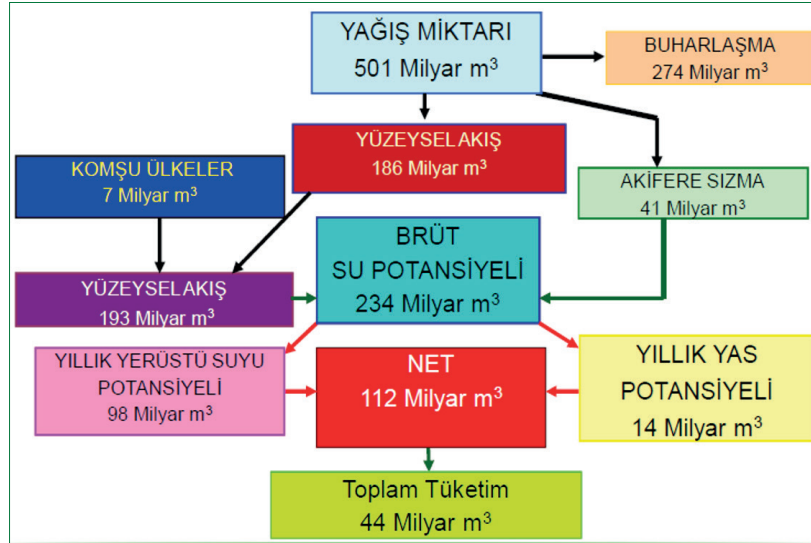
İklim Modellemesi. Türkiye’de iklim değişimi ve su kaynaklarına etkileri konusunda yapılan en kapsamlı çalışma olan “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri Projesi”nde , iklim projeksiyonları kapsamında, IPCC’nin 5. Değerlendirme Raporu’nun tabanını oluşturan CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project 5) arşivinden seçilmiş üç küresel modelin (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-5.1) çıktıları ve RCP4.5 (iyimser senaryo) ve RCP8.5 (kötümser senaryo) emisyon salım (zorlama) senaryoları ile tüm Türkiye’yi kapsayacak şekilde RegCM4.3 bölgesel iklim modeli çalıştırılmıştır (OSİB, 2016).

Toplam 8 parametre ve ekstrem durumları temsil eden 17 iklim indisine ait projeksiyonlar tüm nehir havzaları (25 havza) ölçeğinde modellenmiş, incelenen parametrelerin 1971-2000 yılı simülasyonları olarak kabul edilen *referans dönemine* göre 2100 yılına kadar farkları, 10’ar ve 30’ar yıllık dönemler için mevsimlik ve yıllık ortalamalar halinde modelleme çalışmaları kapsamında hesaplanmıştır. Akarsu Mühendislik-İO Çevre Ortak girişimince İTÜ’nün Bilimsel desteği ile gerçekleştirilen bu projede ilk kez, Türkiye için 10x10 km çözünürlükte 3 küresel iklim modelinin 2015-2100 dönemi simülasyon sonuçları elde edilmiştir (OSİB, 2016).

İklim değişimi projeksiyonları kapsamında ilk aşamada referans periyodu için başlangıç ve sınır koşulları ile önce 50x50 km sonra 10x10 km çözünürlükte simülasyon yapılmış, ardından CMIP5 veri tabanından seçilen HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-5.1 küresel iklim modellerinin 10x10 km çözünürlüğe sahip referans dönemi iklim simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Türkiye’ye özgü iklim simülasyonları, her üç küresel iklim modelinin 2100 yılında RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotalarına dayanan simülasyonlar ile RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile 2015-2100 yılları arasında 10x10 km çözünürlükte elde edilmiştir (OSİB, 2016).

Hidrolojik Modelleme. Bu kapsamda, Türkiye’de ilk kez tüm nehir havzalarının su potansiyelleri WEAP (Water Evaluation and Planning System) destekli SWAT (Soil and Water Assessment Tool) yazılımı vasıtasıyla hesaplanmıştır. İklim modellerinin çıktılarıyla hidrolojik model çalıştırılarak, yağış değerleri akış değerlerine çevrilmiş, tüm havzalarda yüzey ve yeraltı su kaynaklarının mevcut ve projeksiyon dönemleri için su potansiyelleri tahmin edilmiştir (OSİB, 2016, Öztürk, 2020a).

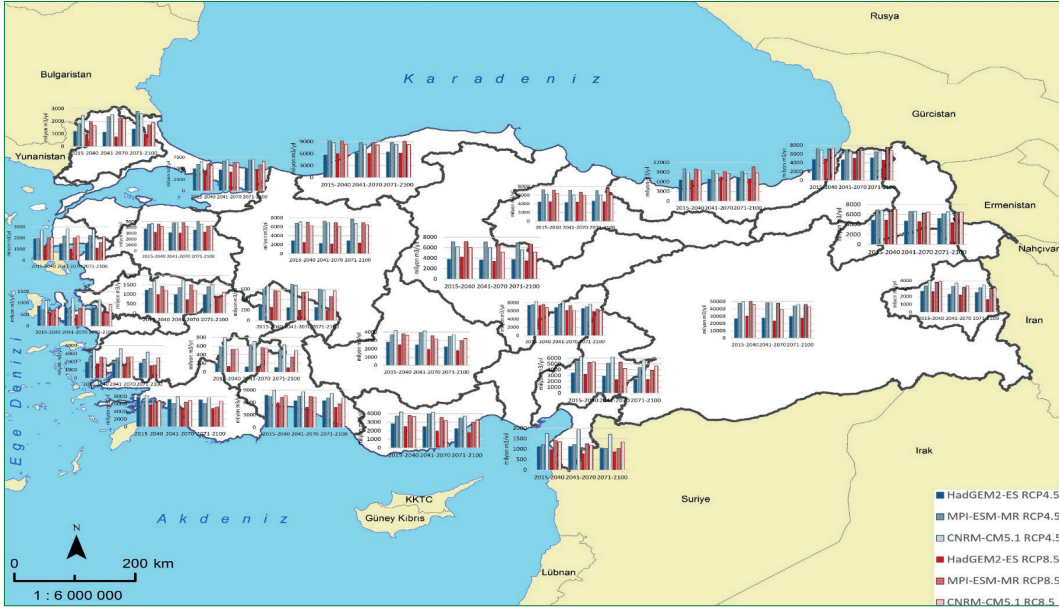
Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m³, komşu ülkelerden ülkemize ulaşan akarsulardan 3 milyar m³ olmak üzere, Türkiye’deki kullanılabilir toplam yüzeysel su potansiyeli yılda ortalama 98 milyar m³’e ulaşmaktadır. Ülkemizdeki yeraltı suyu potansiyeli ise 14 milyar m³ olarak belirlenmiştir. Bu durumda, ülkemizin çeşitli amaçlara yönelik su kullanımında teknik ve ekonomik bakımdan kullanılabilir yerüstü ve yeraltı suyu potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m³’e ulaşmakta olup, söz konusu miktarın 44 milyar m³’ü kullanılmaktadır (Şekil 1. Türkiye’nin Su Potansiyeli ve Dağılımı (OSİB, 2016)).



Şekil 1. Türkiye'nin Su Potansiyeli ve Dağılımı (OSİB, 2016).

İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri Projesi kapsamında ise, Türkiye'nin mevcut su potansiyeli yaklaşık 109 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonrası, havza bazında suyu tüketecek temel sektörler belirlenmiştir. Söz konusu temel sektörler; içme ve kullanma suyu, sanayi suyu, sulama suyu ve ekosistem hizmetleri ihtiyacı olmak üzere 4 ana sektörden oluşmaktadır. Buna göre, havzalar bazındaki nüfus, endüstri ve tarım faaliyetlerinin yanında 2100 yılına dek ekosistem hizmetleri ihtiyaçlarındaki muhtemel değişimler de tahmin edilmiştir. Havzalar özelinde muhtemel su fazlası veya açığını tespit etmek için, havza bazlı nüfus artış eğilimleri ve havza özelinde bilinen önemli yatırım planlarının yanında, havzalardaki endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin değişimleri ile ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği de ayrıca dikkate alınmıştır.

Türkiye’de toplam nehir akışlarının referans döneme göre azalacağı, söz konusu üç iklim modeli ve iki senaryo sonuçlarına bakıldığında ortaya çıkmaktadır. Hem RCP4.5 hem de RCP8.5 senaryosu sonuçları için en düşük toplam akış tahminleri HadGEM2–ES modeli ile üretilmiştir (Öztürk, 2020a). Model tahminlerinin tamamı referans dönemi değerinden (~186.000 milyon m³/yıl) düşük kalmaktadır. 30’ar yıllık ortalama tahminler referans döneme göre daha düşük kalmakla birlikte, her üç modelde aynı senaryo için 30 yıllık dönemlerdeki değişimlerin az olduğu görülmektedir (OSİB, 2016; Öztürk, 2020a). Her üç model için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarında, 25 havzada brüt su potansiyelinin 30 yıllık dönemlerdeki değişimleri Şekil 2. Türkiye Geneli için 25 Havzada İklim Projeksiyonları Senaryolarına göre 30’ar Yıllık Brüt Su Potansiyeli Haritası (OSİB, 2016).’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Türkiye Geneli için 25 Havzada İklim Projeksiyonları Senaryolarına göre 30’ar Yıllık Brüt Su Potansiyeli Haritası (OSİB, 2016).

2.2. Türkiye için Net Su Açığı/Fazlası Tahminleri

Türkiye’de akarsu havzalarının 2015-2100 dönemi için net su açığı/fazlası durumu tematik harita formatında üç model ve iki senaryo için ayrı ayrı hazırlanmış olup, MPI-ESM-MR modeli RCP8.5 senaryosu ile aşağıda sunulmaktadır (Şekil 3. Türkiye Geneli için İklim Projeksiyonları MPI-ESM-MR RCP4.5 Senaryolarına göre Havza Bazlı Su Fazlası/Açığı Gösterir Tematik Harita (2015-2040) (OSİB, 2016) – Şekil 5. Türkiye Geneli için İklim Projeksiyonları MPI-ESM-MR RCP4.5 Senaryolarına göre Havza Bazlı Su Fazlası/Açığı Gösterir Tematik Harita (2071-2100) (OSİB, 2016)). Su fazlası/açığı gösteren tematik haritalar, gelecekte komşu havzalar arasında olası su transferini belirleme amacıyla da kullanılabilir. Bütün dönemlerde en kayda değer su açığının gözlenmesinin beklendiği havzalar ise genel itibariyle Fırat Dicle, Doğu Akdeniz ve Konya Kapalı Havzalarıdır.

MPI-ESM-MR modeli RCP4.5 senaryosuna göre, tüm dönemlerde su fazlası olan havzalar Doğu Karadeniz ve Çoruh Havzaları olarak ortaya çıkmaktadır. Bütün projeksiyon dönemleri için Marmara, Susurluk, Kuzey Ege, Batı Karadeniz, Yeşilirmak, Antalya, Aras ve Van Gölü Havzalarında öngörülen net su miktarlarının, tahmini su kullanımları için yeterli olduğu öngörülmektedir.



Şekil 3. Türkiye Geneli için İklim Projeksiyonları MPI-ESM-MR RCP4.5 Senaryolarına göre Havza Bazlı Su Fazlası/Açığı gösteren Tematik Harita (2015-2040) (OSİB, 2016)
Fırat Nehri Alt Havzası için mansap ülkelerine su bırakma taahhüdü olan 500 m³/s dikkate alınmıştır. Dicle Nehri Alt Havzası için mansaba bırakılan 2011-2015 yılları arası ortalama debi değeri 342 m³/s dikkate alınmıştır.



Şekil 4. Türkiye Geneli için İklim Projeksiyonları MPI-ESM-MR RCP4.5 Senaryolarına göre Havza Bazlı Su Fazlası/Açığı gösteren Tematik Harita (2041-2070) (OSİB, 2016)
Fırat Nehri Alt Havzası için mansap ülkelerine su bırakma taahhüdü olan 500 m³/s dikkate alınmıştır. Dicle Nehri Alt Havzası için mansaba bırakılan 2011-2015 yılları arası ortalama debi değeri 342 m³/s dikkate alınmıştır.



Şekil 5. Türkiye Geneli için İklim Projeksiyonları MPI-ESM-MR RCP4.5 Senaryolarına göre Havza Bazlı Su Fazlası/Açığı Gösterir Tematik Harita (2071-2100) (OSİB, 2016)

Fırat Nehri Havzası için mansap ülkelerine su bırakma taahhüdü olan 500 m³/s dikkate alınmıştır. Dicle Nehri Havzası için mansaba bırakılan 2011-2015 yılları arası ortalama debi değeri 342 m³/s dikkate alınmıştır.

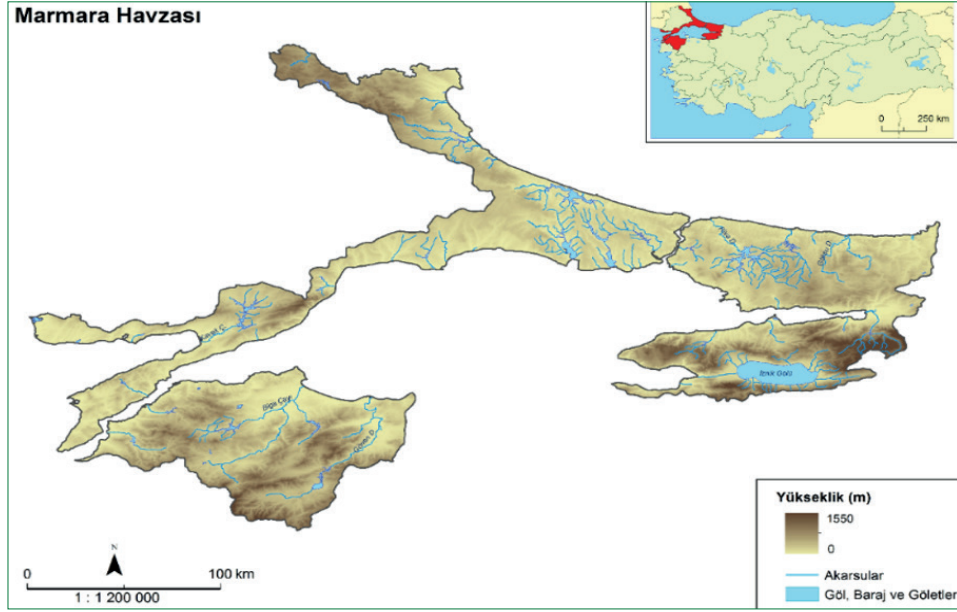
Projeksiyon dönemi başlangıcından itibaren Fırat-Dicle havzasında; özellikle 2041-2100 döneminde ise Doğu Akdeniz ve Konya Kapalı Havzaları'nda, önemli miktarlarda su açığı yaşanması beklenmektedir. Diğer havzalar için ise, tüm dönemlerde düşük mertebede su açıkları olacağı tahmin edilmektedir. 2041-2070 arası (orta dönem) dönem, Türkiye'de su mevcudiyeti açısından en kritik 30 yıllık projeksiyon dönemi olarak göze çarpmaktadır. RCP4.5 senaryoları ile HadGEM2-ES iklim modelinin RCP8.5 senaryoları büyük ölçüde paralel sonuçlar vermekte olup, daha kritik iklim şartları sebebiyle, RCP8.5 senaryolarında havzalar genelinde göreceli olarak bir miktar daha fazla su açığı öngörülmektedir (OSİB, 2016; Öztürk, 2020a).

Yukarıda Türkiye geneli ile ilgili çıktuları verilen İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri Projesi kapsamında incelenen 25 su havzasından ikisi olan Marmara ve Konya Kapalı havzaları için elde edilen projeksiyon sonuçları da aşağıda kısaca özetlenmiştir (OSİB, 2016).

3. Marmara Havzası

3.1. Havzanın Genel Özellikleri

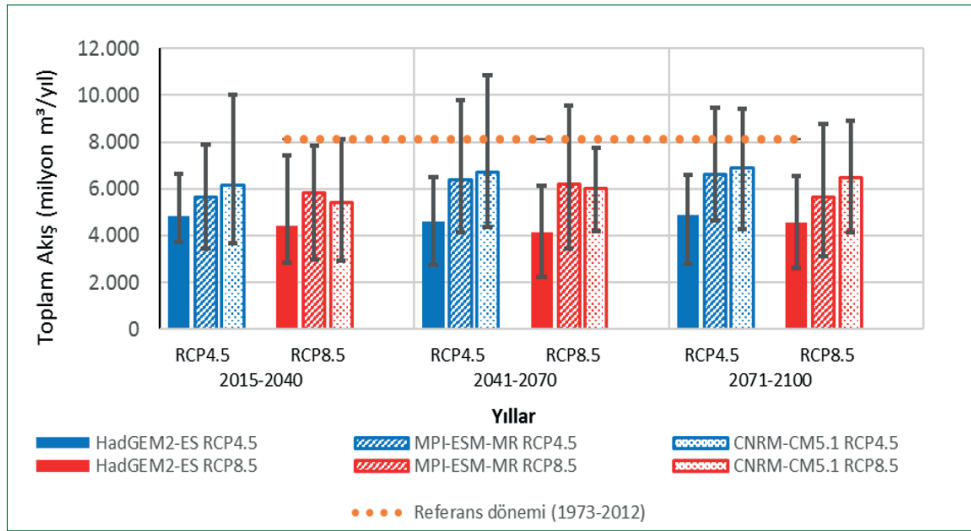
Marmara Denizi'ne dökülen Susurluk Nehri haricindeki tüm akarsuların yağış alanlarını kapsayan Marmara Havzası, Trakya'da Kuru Dağı, Ganos Dağı ve İstiranca uzantıları, Anadolu'da kuzeyden itibaren Alem Dağı, Aydos Dağı, Kayalıdağ, Gökdağ, Avdan Dağı, Katırlı Dağı ile Kaz Dağı uzantıları ve Karadağ tarafından çevrelenmektedir. Marmara Havzası'nın fiziki haritası Şekil 6. Marmara Havzası Haritası (OSİB, 2016).da görülmektedir.



Şekil 6. Marmara Havzası Haritası (OSİB, 2016).

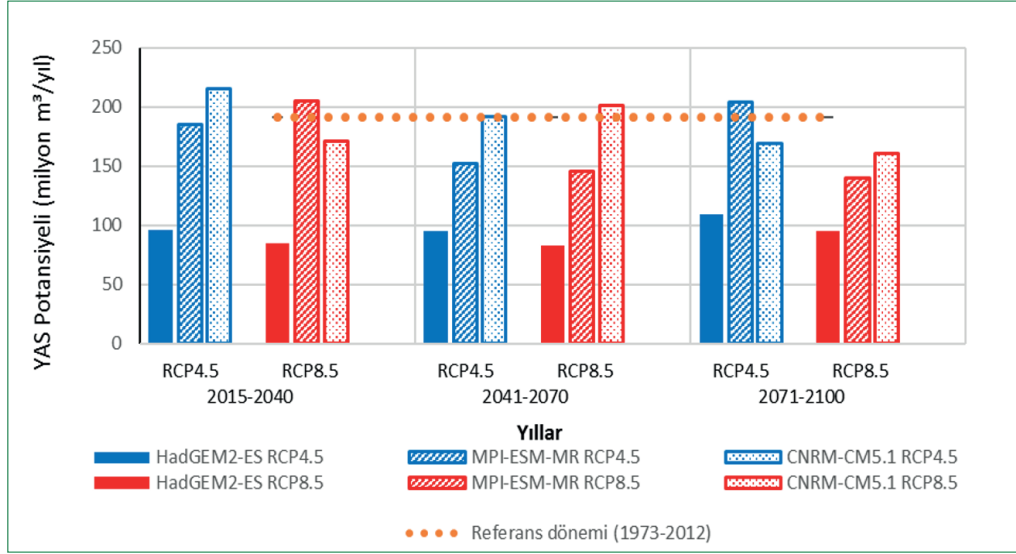
3.2. Toplam Akış

Projeksiyonlara göre Marmara Havzası'nda tahmin edilen 30 yıllık ortalama akışlar Şekil 7. Marmara Havzası İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Toplam Akış 30 Yıllık Ortalamaları (OSİB, 2016). ile gösterilmektedir.



Şekil 7. Marmara Havzası İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Toplam Akış 30 Yıllık Ortalamaları (OSİB, 2016).

30'ar yıllık dönemlerin tümünde, modeller referans dönemi değerlerinin altında sonuçlar göstermektedir. Her iki senaryo sonuçlarına bakıldığında, 3 model arasında en düşük değerleri HadGEM2-ES modeli sonuçları vermektedir. Bu durumu benzer sonuçlar üreten MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri takip etmektedir. En yüksek sonuçlar CNRM-CM5.1 modeli RCP4.5 senaryosu ile 2071-2097 döneminde, en düşük sonuçlar ise HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosu ile 2041-2070 döneminde öngörülmektedir. 30'ar yıllık ortalamalara bakıldığında Marmara havzasında toplam akış değerinin ortalama %25, bazı dönemlerde ise %49'a varan oranlarda düşmesi beklenmektedir. (Şekil 8)



Şekil 8. Marmara Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen YAS Potansiyelinin 30 Yıllık Ortalamaları (OSİB, 2016).

3.3. Net YAS Potansiyeli

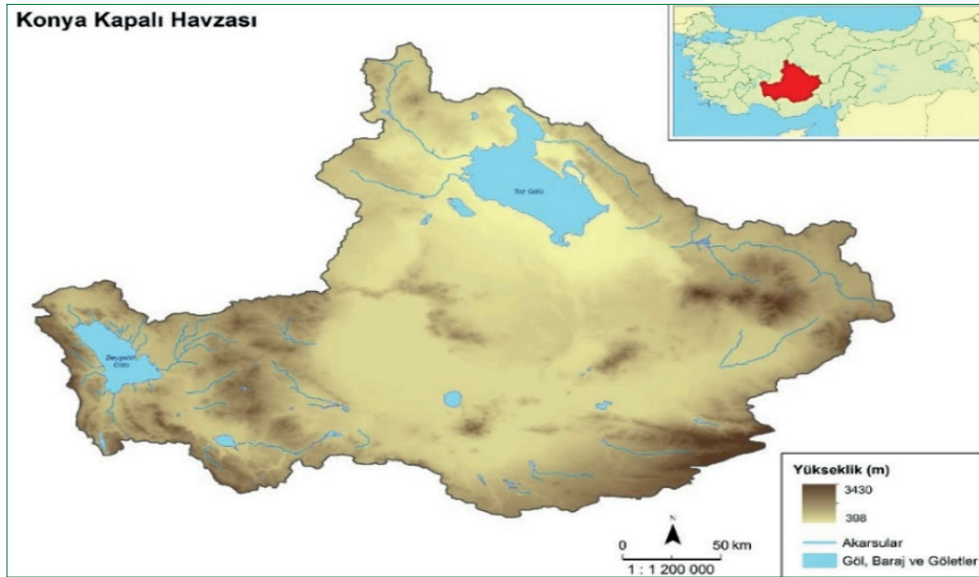
Marmara Havzası'nda tahmin edilen net YAS potansiyelinin 30 yıllık ortalamaları Şekil 8. Marmara Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen YAS Potansiyelinin 30 Yıllık Ortalamaları (OSİB, 2016). ile verilmektedir.

Tüm 30'ar yıllık dönemler boyunca referans dönemin üzerinde ya da civarında seyreden modeller MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 sonuçlarıdır. Gerek RCP4.5 gerekse RCP8.5 senaryosu sonuçları, her üç model dikkate alındığında en düşük değerlerin HadGEM2-ES ve bunu sırasıyla MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin oluşturduğu görülmektedir. İstisnai durumlar MPI-ESM-MR modelinin 2015-2040 dönemi RCP8.5 sonuçları ve 2071-2097 dönemi RCP4.5 sonuçlarında gözlenmektedir. 30'ar yıllık ortalama YAS potansiyeli sonuçlarına göre her iki senaryoda da dönem referans değerine göre ortalama %20, bazı dönemlerde ise %57'ye varan oranlarda azalma görülmektedir.

4. Konya Kapalı Havzası

Konya Kapalı Havzası Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesinde 36°51' ve 39°29' kuzey enlemleri ile 31°36' ve 34°52' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüzölçümü 4.980.534 hektar olup (SYGM, 2013), Türkiye'nin yaklaşık %7'sini teşkil etmektedir. Havzayı kuzeyde Sakarya ve Kızılırmak, doğuda Kızılırmak ve Seyhan, güneyde Doğu Akdeniz, batıda Antalya ve Akarçay havzaları çevrelemektedir. Havzanın yukarı kısmının kireç taşıyla ve volkanik dağlarla kaplı olması denize drenajını önlemekte; sularının ancak içerisindeki göllere, bataklıklara ya da yarı bataklıklara boşaltabilmesi sebebiyle kapalı havza niteliği taşımaktadır. Konya Kapalı Havzası'nın fiziki haritası Şekil 9. Konya Kapalı Havzası Fiziki Haritası (OSİB, 2016). ile verilmektedir.

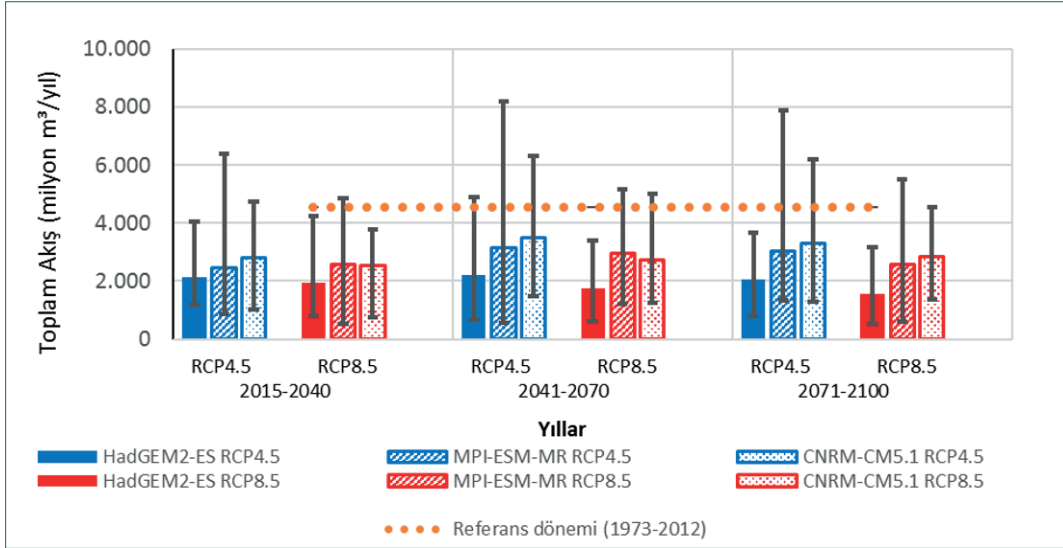
Toplam yağış alanı 56.554 km² olan Konya Kapalı Havzası'nın yıllık ortalama yağış yüksekliği 417 mm; yıllık ortalama akışı ise 192 m³/s'dir. Yıllık ortalama verimi 3,39 L/s/km² olan havzadaki akışın yağışa oranı 0,26 iken, iştirak oranı %3,29'dur (TÜBİTAK MAM, 2010).



Şekil 9. Konya Kapalı Havzası Fiziki Haritası (OSİB, 2016).

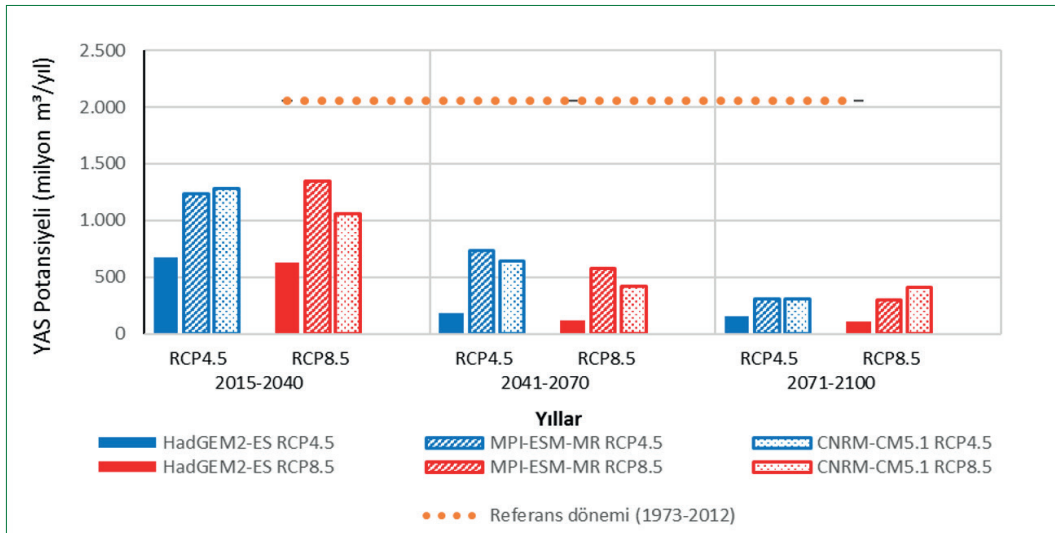
4.1. Toplam Akış

İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Konya Kapalı Havzası'nda tahmin edilen 30 yıllık ortalama akışlar Şekil 10. Konya Kapalı Havzası İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Toplam Akış 30 Yıllık Ortalamaları (OSİB, 2016). ile verilmektedir.



Şekil 10. Konya Kapalı Havzası İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen Toplam Akış 30 Yıllık Ortalamaları (OSİB, 2016).

10'ar yıllık dönemlerde gözlenen durum, 30 yıllık ortalamalara da yansımakta ve benzer gidişat daha net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. 30'ar yıllık dönemlerde tüm model sonuçlarının referans dönem değerinin altında kaldığı görülmektedir. HadGEM2-ES modelinin her iki senaryosunun sonuçları tüm 30'ar yıllık dönemlerde en düşük sonuçları üretirken önemli salınımlar yapmamaktadır. HadGEM2-ES modelini sırasıyla her iki senaryo için MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri takip etmektedir.



Şekil 11. Konya Kapalı Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen YAS Potansiyelinin 30 Yıllık Ortalamaları (OSİB, 2016).

MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerinin her iki senaryosu için elde edilen sonuçlar birbirlerine yakın seyretmekte olup tüm dönemlerde istikrarlı bir durum sergilemektedir. 30 yıllık ortalamalara göre havzadaki toplam akış değerinin ortalama %40'lar düzeyinde, en fazla 2071-2100 döneminde %65 oranında düşmesi beklenmektedir. (Şekil 11)

4.2. Net YAS Potansiyeli

Konya Kapalı Havzası'nda tahmin edilen net YAS potansiyelinin 30 yıllık ortalamaları Şekil 11. Konya Kapalı Havzası'nda İklim Değişikliği Projeksiyonlarına göre Tahmin Edilen YAS Potansiyelinin 30 Yıllık Ortalamaları (OSİB, 2016). ile verilmektedir.

10'ar yıllık dönemlerde söz konusu durum 30 yıllık ortalamalara da yansımakta ve benzer gidişat daha net bir şekilde gözlenmektedir. Tüm dönemlerde modeller tarafından üretilen sonuçlar referans dönemin altında kalmakta olup, tüm değerler ilerleyen 30'ar yıllık dönemlerde önemli ölçüde azalmaktadır. Özellikle 2071-2100 döneminde havzanın YAS potansiyeli tüm sonuçlara göre en düşük seviyeye inmekte olup, referans dönemine göre %90~%95'e varan oranlarda azalma beklenmektedir (OSİB, 2016).

5. Su, Atıksu ve Yağmursuyu Yönetiminin, Kent Ölçeğinde İklim Değişikliği Eylem Planındaki Yeri ve Önemi: İstanbul Örneği

İklim Liderleri Grubu (CHO) üyesi olan İBB, Ekim 2019'da "Deadline 2020 Taahhüdü"nü imzalamıştır. Bu kapsamda İBB İstanbul'un 2050 yılına kadar karbon nötr ve iklim değişimine dirençli bir şehir olma hedefini kabul etmiştir. Bu kapsamda İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı (İİDEP) hazırlanmıştır.

IPCC Küresel Isınma Özel Raporu'nda belirtildiği üzere; 2030 yılına kadar küresel ortalama sıcaklık artışının 1,5°C ile sınırlandırılması ve söz konusu sınırı aşmamak için sera gazı salımlarının 2030 yılında 2010 yılı eşik değerlerine oranla %45 azaltılması ve 2050 yılında net sıfır emisyonu ulaşılması gerekmektedir.

İklim değişikliğinin olası etkilerine İstanbul özelinde bakıldığında, süresi ve şiddeti giderek artan sıcaklık dalgaları, kuraklık ve değişen yağış rejimleri öne çıkmaktadır. Kent sınırları içinde karbon yutak alanlarının korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için, yeşil altyapının güçlendirilmesi ve ormanlık alanların artırılmasına öncelik verilmesi gerekmektedir. Ayrıca atık yönetimi, ulaşım ve yenilenebilir enerji yatırımları, döngüsel ekonomi, yeraltı sularının korunması, yağmur suyu hasadı ve atıksu geri kazanımının geliştirilmesi gibi konular sürdürülebilir bir çevresel tasarım için büyük önem arz etmektedir.

İstanbul'da, iklim kriziyle mücadelede emisyon azaltımı ve uyum stratejileri için uygun hedeflerin tespiti ile iklim değişikliğinden en çok etkilenecek gruplar bazında sosyal politikaların ve iklim adaletinin göz önünde bulundurulması büyük önem taşımaktadır.

İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı'nda, İBB'nin tüm plan ve çalışmalarının, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'na hizmet edecek şekilde gerçekleştirilmekte olduğu ifade edilmektedir. 2050'de karbon nötr bir şehir olmak için ilgili belgelerde, Şekil 12. Eylem Planları Arasındaki İlişki (İBB, 2021).’de de belirtildiği üzere, İİDEP ile ilişkili en önemli planlardan biri İSKİ Master Planı’dır.



Şekil 12. Eylem Planları Arasındaki İlişki (İBB, 2021).

İİDEP'te İSKİ'nin Su ve Atıksu Master Planı kapsamındaki 4 öncelikli eylem,

- Su kullanımının azaltılması
- Su kaybının azaltılması
- Atıksuların yeniden kullanımı
- Sürdürülebilir kentsel drenaj (yağmur suyu) çözümleri (yağmur bahçeleri, geçirimli yüzey kaplamaları, depolama v.b.)

başlıkları altında ele alınmaktadır.

Su ve atıksu yönetimi alt başlığı altında, İSKİ'nin gerçekleştireceği çevre dostu yatırım programı ile atıksu arıtma tesisi kapasitesinin ~1.000.000 m³/gün (~%17'lik artış) artırılarak Marmara, Boğaz ve Karadeniz'in kirlenmesinin önleneceği; ayrıca atıksu arıtma tesisi çamurlarından yenilenebilir enerji üreteceği ifade edilmektedir.

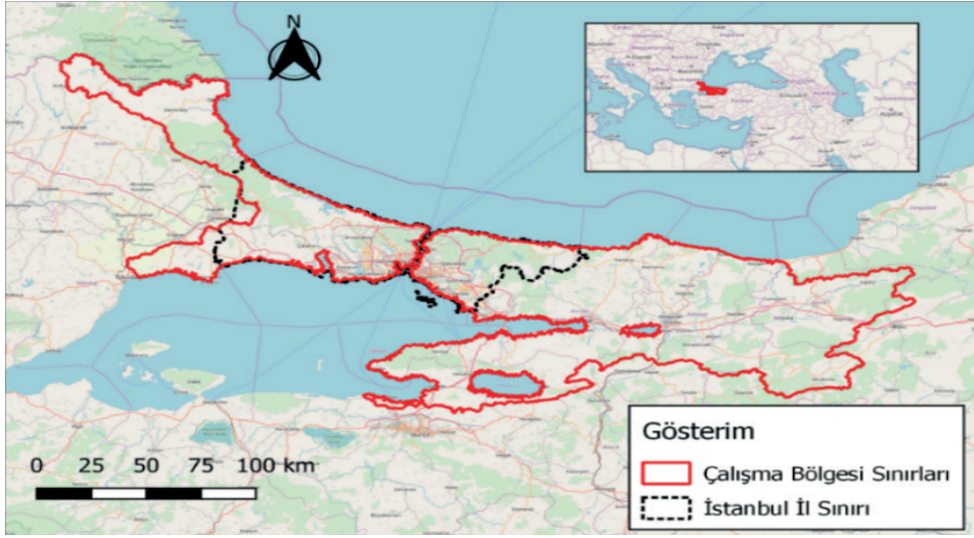
6. İstanbul ve Yakın Civarındaki Su Kaynaklarına Özgü Yüksek Çözünürlüklü İklim Modellemesi ve Hidrolojik Modelleme Çalışması

Daha önce açıklandığı üzere, IPCC'nin yayınladığı 5. Değerlendirme Raporu'nda Temsili Konsantrasyon Yolları (Representative Concentration Pathways (RCP)) olarak adlandırılan terim gelecekte ortaya çıkabilecek farklı seviyelerdeki sera gazlarını ve diğer ısınmsal zorlamaları tanımlamaktadır. 2100 yılı için (2,6, 4,5, 6,0 ve 8,5 watt/m²) geniş bir zorlama aralığını kapsayan dört senaryoda sosyoekonomik etkiler gerekli ölçüde dikkate alınmamaktadır.

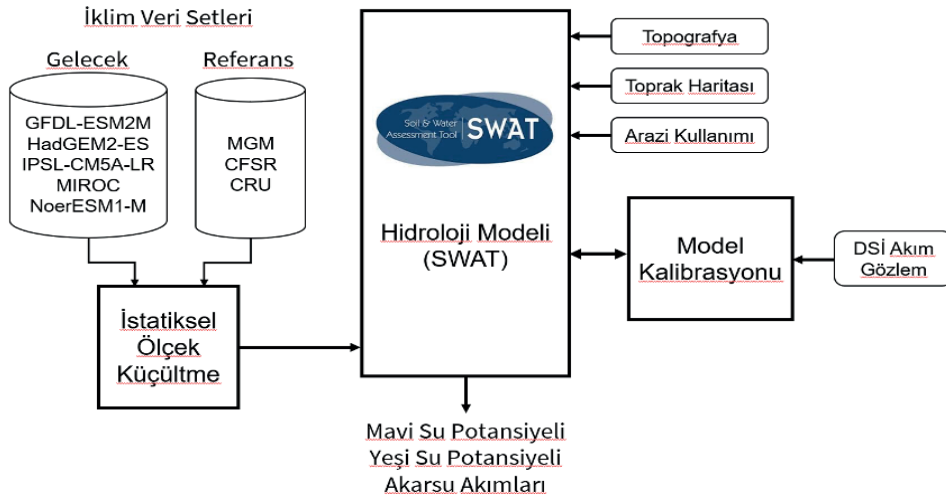
Sosyoekonomik faktörlerin gelecek yüzyılda nasıl değişebileceğinin modellemesi üzerinde çalışan başka bir grup; nüfus, ekonomik büyüme, eğitim, kentleşme ve teknolojik gelişme hızı gibi faktörleri içeren senaryolar geliştirmişlerdir. Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (Shared Socioeconomic Pathways (SSP)) adı verilen söz konusu senaryolarda, iklim politikasının yokluğunda dünyanın dönüşebileceği beş farklı durum incelenmekte ve RCP'lerin azaltma hedefleri SSP'ler ile birleştirildiğinde iklim değişikliği ile ilgili farklı düzeylerin nasıl elde edilebileceğine bakılmaktadır. RCP'ler, IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda kullanılmak üzere tanımlanmış olsa da daha karmaşık SSP'lerin geliştirilmesi çok daha uzun ve daha kapsamlı bir süreç olmuştur (URL-1, 2018). SSP'ler IPCC'nin 6. Değerlendirme Raporu'nda RCP'ler yerine kullanılmak üzere teklif edilmiştir (IPPC, 2021).

Cüceloğlu (2019) tarafından doktora tezi dolayısıyla yürütülen bir çalışmada; içme-kullanma suyunun çoğunlukla yüzeysel kaynaklardan sağlandığı İstanbul'da, iklim değişiminin yüzeysel su potansiyeline etkileri ve ileride karşılaşılabilecek krizlerde risklerin azaltılması konusu incelenmiştir. Bu kapsamda, İstanbul'un yüzeysel su kaynaklarının hidrolojik modellemesi yapılarak yüzeysel su potansiyeli belirlenmiş, iklim değişiminin su kaynaklarına olası etkileri araştırılmış; su temin sistemi ile su arz ve talepleri iklim değişimi senaryolarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen su kaynaklarının içinde yer aldığı bölge, İstanbul il sınırı ile birlikte Şekil 13. Çalışma Bölgesi Sınırları ve İstanbul İl Sınırı (Cüceloğlu, 2019).’te gösterilmektedir.

Anılan tezde, iklim değişiminin su kaynaklarına etkisinin araştırılması kapsamında IPCC'nin 5. Raporu'nda belirtilen 2 farklı senaryo (RCP8.5) ve RCP4.5) altında 5 farklı iklim modeli (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC ve NoerESM1-M) çıktıları istatistiksel ölçek küçültme yöntemi kullanılarak çalışma bölgesine uyarlanmıştır (Şekil 14. Çalışma Metodolojisi (Cüceloğlu, 2019).).



Şekil 13. Çalışma Bölgesi Sınırları ve İstanbul İl Sınırı (Cüceloğlu, 2019).



Şekil 14. Çalışma Metodolojisi (Cüceloğlu, 2019).

Günlük içme-kullanma su ihtiyacı 3 milyon m³ olan ve bu ihtiyacın büyük ölçüde yüzeysel su kaynaklarından temin edilen İstanbul'da, Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeli ile içme-kullanma suyu temin edilen havzalara ilişkin su bütçesi hesaplanmış; model, kalibrasyon ve belirsizlik analizi için ise SWAT- CUP programının içinde bulunan SUFI2 algoritması kullanılmıştır. Kalibrasyon için DSİ tarafından işletilen ve çalışma bölgesinde bulunan 25 farklı akım gözlem istasyonuna ait akım rasatlarından yararlanılmıştır. Ayrıca, yağış ve sıcaklık verileri için küresel iklim modeli (GCM) çıktıları kullanılmıştır. Referans dönemi olarak seçilen 1980-2013 verileri kullanılarak SWAT modeli çalıştırılmış, iklim değişimi projeksiyonları ise

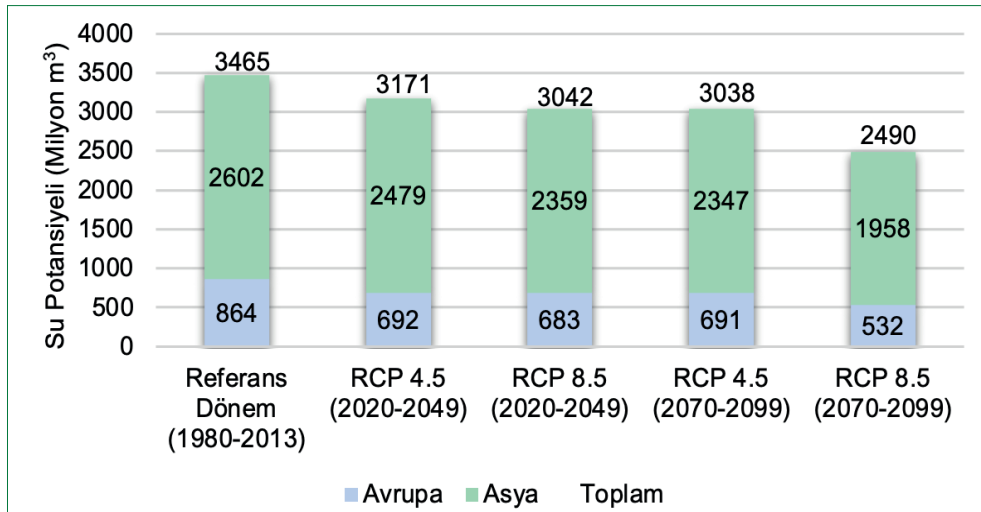
2020-2099 dönemi için yapılmıştır. Referans dönem ortalama yıllık akım (İstanbul'un tüm su kaynaklarına ulaşan toplam) değerinin 108 m³/s olduğu model sonuçları Tablo 1. RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryoları için Baraj Göllerine Ulaşan Toplam Akım Değerleri (Cüceloğlu, 2019)'de özetlenmiştir. Modelleme çalışmalarında göre söz konusu değer, 2020-2099 döneminde, RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryo simülasyonları için sırası ile 90 m³/s ve 84 m³/s olarak tahmin edilmektedir.

Tablo 1. RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryoları için Baraj Göllerine Ulaşan Toplam Akım Değerleri (Cüceloğlu, 2019)

Senaryo	1980-2013 (Referans) Dönemi	2020-2049 Dönemi Ortalama Debi (m ³ /s)	2070-2099 Dönemi Ortalama Debi (m ³ /s)	2020-2049 Dönemi Değişim (%)	2070-2099 Dönemi Değişim (%)
RCP 4.5	108	95	88	12	19
RCP 8.5	108	92	76	15	30

Çalışma sonuçlarına göre, İstanbul'un toplam su potansiyelinin yakın (2020-2049) dönemde RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre sırası ile %12 ve %15 oranında, uzak (2070-2099) dönemde ise RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre sırası ile %19 ve %30 oranında azalması beklenmektedir.

Şekil 15. İklim modellerinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının göre toplam su potansiyelindeki (milyon m³) değişimlerin Asya ve Avrupa bölgesindeki dağılımı (Cüceloğlu, 2019).te İklim modellerinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için toplam su potansiyelindeki (milyon m³) değişimlerin Asya ve Avrupa bölgesindeki dağılımı verilmiştir.



Şekil 15. İklim modellerinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarının göre toplam su potansiyelindeki (milyon m³) değişimlerin Asya ve Avrupa bölgesindeki dağılımı (Cüceloğlu, 2019).

Bu şekilde göre, Avrupa bölgesinde yer alan su kaynaklarının potansiyelindeki azalma Asya bölgesinden daha fazladır. Bu duruma ek olarak, şehrin nüfusunun büyük çoğunluğunun Avrupa yakasında ikamet etmesi nedeni ile İstanbul su temini sisteminin gelecekte karşılaşılabileceği uzun dönem kuraklıkların yol açacağı su eksikliğinden Avrupa bölgesinin daha fazla etkilenmesi beklenmektedir (Cüceloğlu, 2019).

Hidrolojik model sonuçlarına göre Melen Havzası ile birlikte İstanbul'un 1980-2013 referans dönemi için mavi su (akarsu/nehir akışları) potansiyeli 3,5 milyar m³/yıl, yeşil su (zemin nemi/suyu) akışı 2,9 milyar m³/yıl ve yeşil su deposu 0,9 milyar m³/yıl olarak belirlenmiştir. Melen Havzası 1,05 milyar m³/yıl'lık su potansiyeli ile şehrin su potansiyelinin %45'ini oluşturmaktadır ve İstanbul için en önemli su kaynağı konumundadır.

Su bütçesi simülasyonlarına göre, Melen Barajı'nın devreye alınmaması ve yalnızca regülatörden su transferi yapılması söz konusu olduğunda (Melen Projesi 2. Aşama) İstanbul'un içme-kullanma suyu ihtiyacının sağlanmasında 2045'lerin başından itibaren sorun yaşanabilecektir. Melen Barajı'nın tamamlanması ile birlikte toplam su depolama hacmi büyük ölçüde artacağı için, geliştirilen su temin sisteminin 2070 yılına kadar İstanbul'un su ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahip olacağı öngörülmektedir (Cüceloğlu, 2019).

7. Suki Master Planlarında İklim Değişimine Dirençli Su Yönetimi Yaklaşımı

Su ve Kanalizasyon İdareleri'nin üstlendikleri görevleri etkin ve ekonomik bir şekilde yapabilmeleri için stratejik hedef ve yükümlülükleri doğrultusunda su, atıksu ve yağmursuyu işleri ile ilgili master plan hazırlamaları ve hazırlatmaları oldukça önemlidir. İyi hazırlanmış bir master plan, gelecek 30~40 yıl için idareye iyi bir yol haritası oluşturacaktır. Bir master plan idareye aşağıdaki konularda rehberlik edecektir:

- Mevcut tesislerin ıslahı
- Gelecekte ihtiyaç duyulacak tesislerin tipleri, boyutları, kapasiteleri
- İklim ve çevresel etkiler
- Yıllık yatırım programı
- Tarifeler ve tarife yapısı
- Kurumsal yapı, gerekli kurumsal kapasite
- İşletme modeli ve varlık yönetimi

Master planların su ve atıksu yönetimindeki önemi sebebiyle, bazı ülkelerde master plan hazırlanması ya zorunlu tutulmakta veya ulusal seviyede hazırlanmış olan el kitapları ile su ve atıksu idarelerine yardımcı olunmaktadır (Sarıkaya, 2017).

Hazırlanacak master planın coğrafi kapsamı, su ve kanalizasyon idarelerinin hizmet alanları ile sınırlı olacaktır. Türkiye’de su ve kanalizasyon idarelerinin sorumluluk alanları, il sınırları olarak belirlendiği için coğrafi kapsamda il sınırları olacaktır. İstanbul’da olduğu gibi su kaynakları il sınırları dışında olursa, bu kaynakların korunması ve geliştirilmesi ile ilgili faaliyetler de master plan kapsamı içinde ele alınmalıdır.

SUKİ Master Planları için en iyi örneklerden biri, İstanbul Master Planı Konsorsiyumu (IMC) tarafından İSKİ için 1994-1999 yılları arasında hazırlanan İSKİ Su, Atıksu ve Yağmursuyu Yönetimi Master Planı’dır (IMC, 1999). İSKİ Master Planı’nda 2000-2020 dönemindeki Su Temini, Atıksu ve Yağmursuyu yatırımları ile mevcut altyapının sürdürülebilirliği için öngörülen toplam yatırım miktarı 9.661 milyar \$’dır. Söz konusu Su ve Atıksu yatırımları (~8,5 milyar \$) ile işletme ve bakım için gerekli harcamaların, ~3,3 milyar \$ dış kredi kullanılarak, ~1,1 \$/m³’lük bir su atıksu tarifesi ile İSKİ’ce finanse edilebileceği ortaya konmuştur. Yağmursuyu ve dere ıslah yatırımları tutarı olan 1,21 milyar \$’ın ise, İSKİ görev alanı dışındaki bir hizmet olduğu için İBB tarafından ayrıca finanse edilmesi önerilmiştir. İSKİ Master Planı’nda takvime bağlanan Su, Atıksu ve Yağmursuyu yatırımları, sınırlı revizyonlarla, öngörülen takvime uygun olarak %80’in üzerinde bir oranda gerçekleştirilmiştir.

İSKİ’nin 1999 yılında yayınlanan söz konusu Master Planı, başka bir uluslararası konsorsiyum (Royal Haskoning DHV-Yüksel Proje-Dolsar Mühendislik) tarafından 2018-2022 döneminde “Suya Duyarlı Kent” önceliği ile güncellenmektedir. İstanbul’un 2023-2053 dönemi ihtiyaçlarını planlamak üzere yürütülen bu çalışmada, İstanbul’a su sağlayan yüzeysel su kaynaklarındaki toplam akışlarda, İklim değişimi kaynaklı olarak Cüceloğlu (2019) tarafından önerildiği üzere, ~%15 oranındaki azalma olabileceği esası ile planlama yapılmaktadır (İSKİ, 2021).

8. Su Temini (Arzı) Güvenliği

Daha önceki bölümlerde özetle değinilen, OSİB “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi” sonuçlarına göre, Türkiye’nin Kuzey ve Kuzeydoğu Kesimi (Karadeniz ve Kuzeydoğu Anadolu) hariç, diğer bölgelerde iklim değişimi etkileri dolayısıyla 2015-2100 döneminde, yüzeysel su potansiyelinde (nehir akışları/mavi su) %15~40 arasında azalmalar beklenmektedir. Özellikle büyükşehirlerimize su sağlayan yüzeysel su kaynaklarında ortaya çıkması kaçınılmaz olan muhtemel su açığının giderilebilmesi/karşılanabilmesi için aşağıdaki seçenekler söz konusu olabilir:

- **Su Arzının Artırılması.** Varsa ilave yeni su kaynaklarının planlanıp devreye alınması
- **Su Kayıp ve Kaçaklarının Azaltılması.** Türkiye’de ortalama %35~40 aralığında seyreden su şebekesi kayıpları; basınç denetimi, mikro bölgeleme, yenileme vb. uygulamalar ile dünya ölçeğinde makul limit olarak kabul edilen %10~15 aralığına

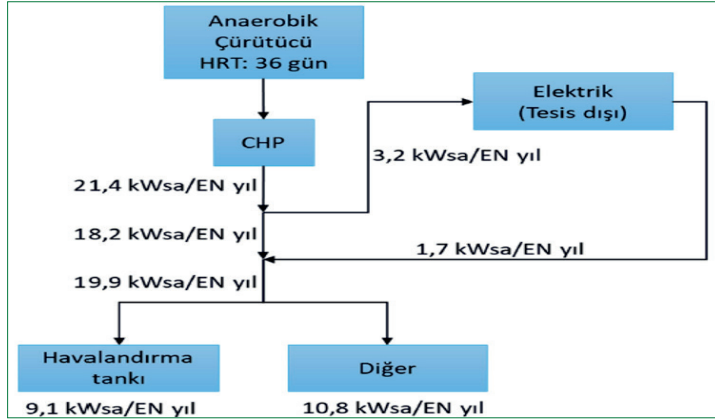
çekilmek suretiyle mevcut su temin sistemi kapasitesinin ~%15-20'sine karşı gelen miktarda bir kaynak sağlanabilir. Örneğin İstanbul'da ~%25 düzeyindeki mevcut şebeke kayıp kaçak oranı %15'e çekilerek günlük olarak $3.000.000 \times 0,10 = 300.000$ m³ (yılda 110 milyon m³) ilave su kaynağı oluşturabilir. En ucuz kaynak, eldeki su daha etkin kullanılarak elde edilebilir.

- **Daha etkin bir talep yönetimi.** Bu kapsamda başlıca; evlerde tasarruflu armatür, sifon haznesi ve ev aletleri kullanımı, daha hassas sayaç kullanımı, tuvaletlerde gri su veya arıtılmış atıksu (mor şebeke) kullanımının teşviki, kentsel yeşil alan sulaması ve araç yıkamada arıtılmış atıksu kullanımı ile yeni geliştirilen/dönüştürülen bölgelerde ikili şebeke uygulamaları gibi seçenekler düşünülebilir. Bu sayede su talebinde %40'lara varan oranlarda azaltım sağlanabilmektedir.
- **Kademeli su tarifesi uygulaması.** Medyan harcanabilir hane halkı gelirinini ~%2-2,5'ini aşmayan, tüketilen su miktarına göre artan kademeli ve sürdürülebilir bir su tarifesi uygulayarak kişi başına su tüketimi (özellikle orta ve düşük gelirli ailelerde) makul seviyelerde tutulabilir (Öztürk vd., 2020b). Örneğin, kademeli tarifesi uygulanan İstanbul'da yıllık ortalama birim su tüketimi ~133 L/kişi.gün (4 kişilik bir hane için ~194 m³/yıl) seviyesinde tutulabilmektedir. Bu değer Avrupa Birliği (AB) büyükşehirlerindeki ortalamalar civarındadır.

Yukarıda belirtilen talep yönetimi ağırlıklı su tasarrufu tedbirleri ile birim su tüketiminin, temizlik konforuna zarar vermeksizin, 60~80 L/kişi.gün seviyelerine kadar düşürülebileceği beklenmektedir.

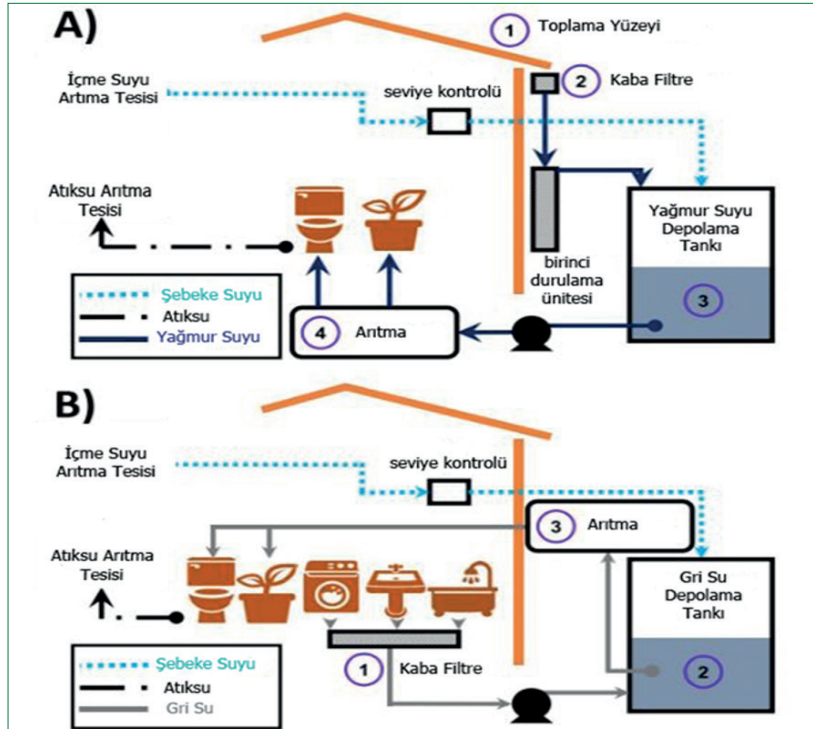
9. Bütünleşik Atıksu Yönetimi

Nüfus artışı, hızlı kentleşme ve kalabalık şehir yaşamı gibi etkenler dolayısıyla atıksu arıtma tesisleri (AAT)'ne olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Tesis kapasiteleri ve sayılarının artışına bağlı olarak işletme için gerekli enerji ihtiyacı da artış göstermektedir. Bu kapsamda işletimde olan AAT'lerde enerji tüketiminin azaltılması ile madde ve su geri kazanımının sağlanması günümüzde önem arz etmektedir. Söz konusu enerji ve madde geri kazanımı, geleneksel aktif çamur (AÇ) proseslerinin uygulandığı AAT'lerde yüksek seviyelerde sağlanamadığından, yenilikçi arıtma proseslerinin uygulanması konusu öne çıkmaktadır. Tasarlanan yenilikçi prosesler ile AAT'lerin enerji nötr hatta enerji pozitif hale getirilmesi sayesinde, atıksudaki faydalı maddelerin geri kazanımı mümkün hale gelmektedir. AAT'lerde sağlanan proses optimizasyonu ile enerji tüketiminin düşürülmesi ve arıtma çamurlarının enerji muhtevasının artırılması mümkündür (Şekil 16. Strass AAT (EN= 90.000~200.000 kişi)enerji dengesi (Nowak vd., 2011)). Arıtma sonrası açığa çıkan çamur farklı işlemlerden geçirilerek toprak şartlandırıcısı (kompost) veya yardımcı yakıt olarak kullanılabilir. çürütücü yan akımlarından çeşitli formlarda azot ve fosfor geri kazanımı sağlanabilmektedir. AAT'lerde ileri arıtma teknolojilerinin uygulanması neticesinde sulama suyu, sanayide kullanım suyu, tuvalet sifon suyu vb. gibi farklı alanlarda kullanılmak üzere su geri kazanımı mümkündür. AAT'lerden enerji, madde ve su geri kazanımının maksimum şekilde sağlanmasıyla AAT'ler atıksu rafinerilerine dönüştürülebilirler (Erşahin vd., 2022).



Şekil 16. Strass AAT (EN= 90.000~200.000 kişi) enerji dengesi (Nowak vd., 2011)

Bütünleşik atıksu yönetimini destekleyen diğer bir seçenek de yağmursuyu hasadı ve gri su geri kazanımı uygulamasıdır. Şekil 17. Binalarda, (A) yağmursuyu toplama sistemi ve (B) gri su tekrar kullanım sistemi örneği (Leong, vd., 2019). ile şematize edilen bu yöntem sayesinde, evlerdeki banyo/duş, lavabo (mutfak hariç) ve çamaşır suları (gri sular) ayrı bir tesisatta toplanıp arıtıldıktan sonra WC sifon suyu olarak yeniden kullanılabilir. Bu sistemin yağmur suyu hasadı ile de entegre edilmesi sonucu, su talebinde %50'ye varan tasarruf elde edilebilmektedir.



Şekil 17. Binalarda, (A) yağmursuyu toplama sistemi ve (B) gri su tekrar kullanım

10. Yağmursuyu Drenajı ve Taşkın Yönetimi

Türkiye’de Büyükşehir Belediye sınırları içindeki yağmursuyu şebekelerinin yapımı ilçe belediyeleri sorumluluğundadır. Yağmursuyu şebeke mansapları ile dere ıslahları ise Büyükşehir Belediyeleri tarafından planlanıp inşa edilmektedir. Büyükşehir belediyeleri kendi sorumluluk alanındaki yağmursuyu projelerinin yapımını, gerekli bütçeyi ayrıca aktarmak suretiyle, özel protokolle SUKİ’lere vermektedir.

Yağmursuyu şebeke ve mansapları (dereler) altyapısı mülkiyeti, ilçe ve Büyükşehir Belediyelerine ait olduğundan yağmursuyu yönetimi SUKİ’lerin görev alanı dışında kalmakta ve Su-Atıksu tarifelerinde bu konuda bir hizmet bedeli karşılığı yer almamaktadır. Giderek büyüyen bir sorunun haline gelen bu konuyu çözmek üzere SUKİ temel kanunu olan İSKİ Kanunu’nda değişiklik yapılarak yağmursuyu yönetiminin de bütünüyle SUKİ’lere verilmesine ilişkin olarak Türkiye Belediyeler Birliği koordinasyonunda yürütülen çalışmanın yakın vadede sonuçlanması beklenmektedir. Bu kapsamda ilçe ve büyükşehir belediyelerine ait mevcut yağmursuyu şebeke ve dere ıslah altyapısının da, bedelsiz olarak, SUKİ’lere devrinin sağlanarak, mevcut su+ atıksu tarife bedellerinin, tam maliyet gerikazanımı esasıyla, su+atıksu+yağmursuyu hizmetlerini kapsamak üzere yeniden belirlenmesi gerekmektedir.

10.1. Geleneksel Yağmursuyu Drenajı (Gri Altyapı)

Dünya genelinde Kentsel Yağmursuyu Drenajı’nda uygulanan klasik (geleneksel) yöntem, meskûn mahallerin yer aldığı coğrafi konum ve meteorolojik şartlar dikkate alınarak, 2 veya 3 yılda bir tekerrürlü yağışlar için, kapalı (boru ve/veya açık kanallı) yağmursuyu şebekesinin tasarlanıp yapılmasıdır. Bu şebekeye mansap teşkil eden akarsu ve derelerde ise, genelde 100 yıllık taşkınla (Q_{100}) gelecek debinin taşmadan sert kesit (yatak) içerisinde tutulması; bunun üzerindeki taşkınların (Q_{200} veya Q_{500}) ise derelerin her iki tarafındaki yeşil koridorlarda, bina su basma kotlarının altında kalacak şekilde kontrollü olarak taşımaya müsaade edilmesi ve bu koridora komşu (taşkın riski altında) yerlerdeki bodrum kat yapımına izin verilmemesi veya (varsa) mevcut bodrum katların konut ve işyeri olarak kullanımlarının yasaklanması yoluna gidilmektedir.

Yukarıda özetle değinilen bu tür geleneksel kentsel yağmursuyu yönetimi, Türkiye’deki gibi yoğun çarpık yapılaşma bulunan ve çoğu dere yataklarında bina ve işyerlerinin yer aldığı durumlarda çok ciddi sorunlara yol açmaktadır. İklim değişimi dolayısıyla aşırı doğa olaylarının sıklık ve şiddetlerinin giderek artma eğiliminin, mevcut sorunları daha da büyütmesi beklenmektedir. Mevcut durum itibarı ile ülke genelinde, yağmursuyu şebekeleri ile toplanan drenaj sularını tahliye edecek doğal dere yatakları üzerinde yer alan ve daha önce imar/iskân izni verilmiş yapıların tahliyesi, çoğu kez belediyelerin kendi imkanları ile altından kalkamayacakları kamulaştırma bedellerinin ödenmesini gerektirmektedir. Bu kronik sorunu çözmek üzere, 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanunun kapsamı, depremle birlikte taşkın riski altındaki alanları da (dere yatakları) içermek üzere genişletilerek; bu tür

alanlardaki yapılar belli bir süreçte kentsel dönüşüm kapsamına alınmak suretiyle, meskûn bölge içindeki dere yatakları boyunca yeşil koridorların oluşturulmaları sağlanabilir. Bu yolla çarpık yapılardan arındırılan kent içi derelerin ıslahı DSİ ve/veya ilgili SUKİ'lerce, peyzajlı dere konseptine uygun olarak gerçekleştirilebilir.

10.2. Sürdürülebilir veya Yeşil Drenaj Sistemleri

Yeşil Altyapı Sistemleri

Stratejik şekilde planlanmış ve tasarlanmış doğal ve yarı doğal unsurların entegre olarak bir araya getirilmesi ile şehirlerin gri altyapıya olan yönelimini azaltıp büyük ölçüde sosyal, ekonomik ve ekosistem hizmetlerinin bir araya getirildiği sistemler “yeşil altyapı sistemleri” olarak adlandırılır (Eşbah Tuncay, 2021). İnsan yoğunluğunun yüksek olduğu konut ve ticaret alanlarındaki yeşil altyapı sistemleri incelendiğinde, karbon ve su ayakizi düşük şehir ekosistemi ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda günümüzde Çevre Dostu Bina tasarımı artmış ve konuyla ilgili belirli standartlar ön plana çıkmaya başlamıştır. Bunlardan en öncelikli olanı su tüketimini azaltarak suyu etkin ve verimli kullanmaktır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2021 yılında yayınladığı “Binalar ile Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Uygulama Tebliği”ne göre Su ve Atıksu Yönetimi bölümü altında 6 kriter bulunmaktadır (ÇŞB, 2021): Bunlar: (1) Suyun verimli ve etkin kullanımı için uygun armatür kullanımı, (2) Su dağıtımında kayıp ve kaçakların önlenmesi için ihtiyaç duyulan tedbirlerin alınması, (3) Suyaçlarla su kullanımının takip edilmesi ve kayıt altına alınması, (4) Su kalitesinin kontrolü, (5) Yağmur suyu rasadı, arıtması ve kullanılması, (6) Gri suyun geri kullanımınıdır.

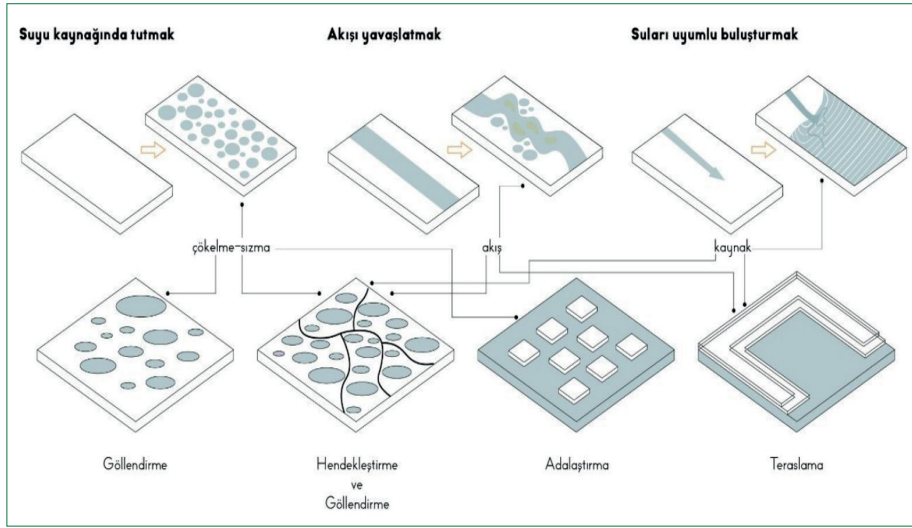
İklimle dirençli kent konseptinin gelişim sürecinde, yeni binaların bu kriterlere uygun olarak yapımının yaygınlaştırılması beklenmektedir.

Sünger Şehirler

Su odaklı ekolojik altyapı ile oluşturulmuş şehirler sünger şehirler olarak adlandırılır. Sünger şehir konseptinde su şehre entegre edilerek şehir tarafından absorbe edilir. Kentsel su havzaları korunur, su kalitesi iyileştirilir, seller ve taşkınlar suyun şehre entegre edilmesiyle önlenir, su kirliliği ve su kirliliğinin önüne geçilerek habitatlar iyileştirilir ve su şehir içine estetik bir öğe olarak dahil olur.

Suyun şehirden tahliyesini baz alan gri altyapıda (yağmursuyu şebekesi) su bir atık olarak ele alınırken yeşil altyapıda su kaynak vazifesi görmektedir. Nehir, sulak alan, orman, makro ve mikro ölçekteki kentsel boşlukları; su ve biyoçeşitlilik gözetilerek sosyal manada kapsayıcı mekanlara dönüştürmek, yeşil altyapı sistemlerinin ana amacıdır (Eşbah Tuncay, 2022).

Sünger şehir konseptindeki 3 bileşen suyu kaynağında tutmak, akışı yavaşlatmak ve suları doğayla uyumlu biçimde buluşturmadır. Bu konseptin ayrıntıları Şekil 18. Sünger şehirler teknikleri (teraslama, göllendirme, seddeleme ve göllendirme, adalaştırma)'de verilmiştir.



Şekil 18. Sünger şehirler teknikleri (teraslama, göllendirme, seddeleme ve göllendirme, adalaştırma) (Eşbah Tuncay, 2021).

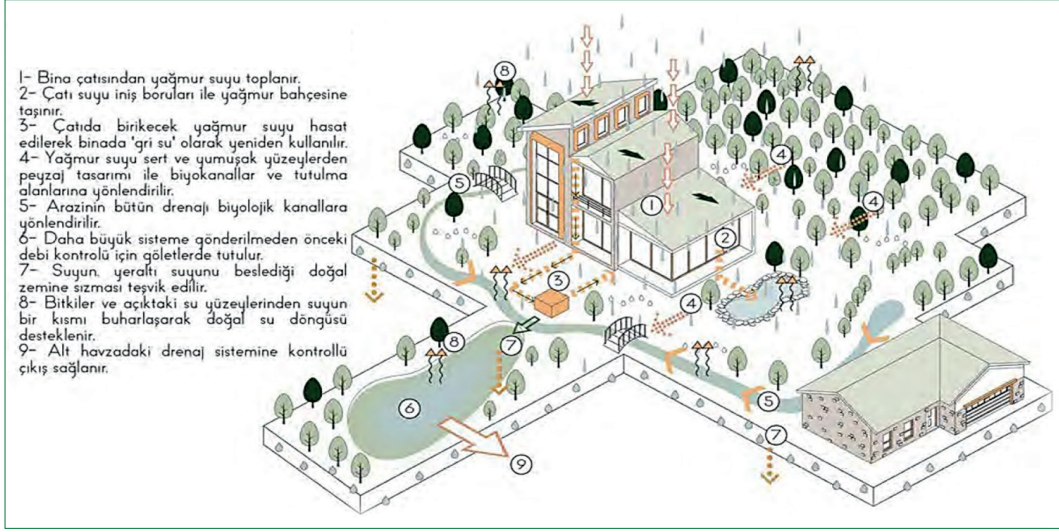
Sünger şehir tasarımında dikkat edilen hususlardan bir diğeri de projelerdeki kazı dolgu oranlarını dengeleyerek kullanılan malzeme miktarının azaltılması ve ekolojik ayak izinin düşürülmesidir (Shen, 2010). Sünger şehirlerde sürdürülebilir drenajı sağlamak için gri çözümler ile yeşil çözümlerin entegrasyonu sağlanabilir.

Bu tür bir entegrasyonda dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Eşbah Tuncay, 2022):

- Planlama süreçlerine erken aşamada dahil olmak
- Yüzeysel suyu bir kaynak olarak görmek
- Yağışı düştüğü yerde kontrol etmek
- Suyu yüzeyde yönetmek
- Kirliliği yönetmek
- Yüzeysel akışı azaltmak

10.3. Sürdürülebilir Kentsel Drenaj

Sürdürülebilir kentsel drenaj, yüzeysel akıştaki suyun yönetimi için suyun debisi, su kalitesi, biyoçeşitliliği ve estetik açıdan uygun bir yönetim sistemi kurmayı hedefleyen sistem bütünüdür. Sürdürülebilir kentsel drenaj sisteminde yağmursuyu bir sorun olarak değil bir kaynak olarak ele alınır ve gerekli proselerden geçirilerek kullanımı sağlanır. Bu durumda, arıtma tesisine gönderilen atıksu miktarındaki azalma, tesis kapasitesini düşürerek tesisin enerji ihtiyacını azaltır ve sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri; uygun yöntemlerle toplanan yağmursuyunun verimli şekilde kullanılmasıyla kent içinde estetik ve yeşil altyapı sistemlerinin oluşmasına katkıda bulunur. Yağmursuyunun uygun yöntemlerle toplanıp yeşil altyapı sistemleriyle drenajı Şekil 19. Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Yaklaşımı (Eşbah Tuncay, 2021)'da gösterilmektedir.



Şekil 19. Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Yaklaşımı (Eşbah Tuncay, 2021)

11. Değerlendirme ve Öneriler

Büyük kısmı Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye, küresel İklim Değişimi'nin olumsuz etkilerinin yoğun biçimde hissedileceği ülkelerden biridir. İklim değişiminin etkilerini dengeleyici ve azaltan uyum tedbirlerinin, dünya ile eş zamanlı olarak uygulamaya konarak 2053 yılı itibarı ile ülke Net Karbon Ayakizi'nin sıfırlanabilmesi için Su Sektörü ve SUKİ'ler ile ilgili aşağıdaki yasal, idari ve teknik yapılanma tedbirlerinin alınması gerektiği düşünülmektedir:

Cumhurbaşkanlığı hükümeti düzeyinde; Ulusal Su Kanunu'nun (İklim Değişimine Dirençlilik ile ilgili hususları da içermek üzere) acilen yasalaştırılması; ülke bütününde iklim değişimine uyum ve sera gazı azaltımı ile dirençliliğin artırılması; kentsel ve kırsal su-atkusu-yağmursuyu altyapısının Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (BM SKA)16 hedefleri ile uyumlu hale getirilmesi;

Bakanlıklar (ÇŞİ, Tarım Orman, Sağlık, İçişleri, Sanayi ve Teknoloji, Turizm) düzeyinde; ulusal politikalarla uyumlu üst ölçekli planlar geliştirilmesi; büyükşehirler dışındaki illerde Bütün-şehir yapılanmasına geçiş için gerekli yasal düzenleme altlığının hazırlanması; DASK ve tarım sigortaları kapsamının taşkın ve kuraklık afetlerini de içermek üzere genişletilmesine ilişkin yasal düzenleme yapılması;

Büyükşehir belediyeleri düzeyinde; alt ölçekli planlarda (İmar Planları, İçmesuyu Havzaları Koruma Planları, Dere ve Islah Planları vb.) İklim Değişimi etkilerine duyarlılık ve dirençliliği önceleyen kentlere özgü iklim eylem planlarının hazırlanması; SUKİ Temel Kanunu olan İSKİ Kanunu'nda, yağmursuyu hizmetlerinin de SUKİ'lerce yürütülmesine ilişkin düzenleme altlığının hazırlanması; Mülkiyeti İlçe ve Büyükşehir Belediyelerine ait olan yağmursuyu şebekeleri ile ıslah edilmiş dere/sanat yapılarının bedelsiz olarak SUKİ'lere devrinin yapılması; Su, Atıksu ve Yağmursuyu Yönetimi Master Planları Hazırlanması; çevre

altyapı tesislerinin ivedilikle CBS ortamına alınması; su temini, atıksu arıtma ve yağmursuyu drenaj altyapı tesislerinin iklim değişimi etkilerine dirençli hale getirilmesi; yağmursuyu toplama ve dere ıslah sisteminde yeşil drenaj (altyapı) çözümleri ile entegrasyonun sağlanması; su tarifelerinin tam maliyet gerikazanımı esası ile belirlenmesi ve siyasi popülizm aracı olmaktan çıkarılması; kent içi derelerin taşkın yatağındaki yapıların 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun kapsamında merkezi idarelerce kaldırılarak, yeşil koridorlar olarak düzenlenmesi;

Büyükşehirler dışındaki İl ve İlçe Belediyeleri düzeyinde; Bütün-Şehir SUKİ'leri olarak hizmet görmek üzere Türkiye SUKİ Genel Müdürlüğü kurulması veya DSİ'nin bu amaca hizmet etmek için, özel yetkileri haiz bir kamu şirketi olarak, yeniden yapılandırılması ile ilgili çalışmalar yürütülmesi; Bütün Şehir Su-Atıksu-Yağmursuyu Master Planlarının hazırlanması;

İl Özel İdareleri düzeyinde; Kırsal alanlardaki su-atıksu-yağmursuyu altyapı yatırımlarının DSİ ile koordineli biçimde, BM SKA16 hedeflerine uygun olarak gerçekleştirilmesi.

12. Kaynaklar / References

- Bozkurt, D.; Turuncoglu, U.; Sen, O.L.; Önoel, B.; Dalfes, B.H.N. (2011). Downscaled Simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 Global Models For The Eastern Mediterranean-Black Sea Region: Evaluation Of The Reference Period. *Climate Dynamics*.
- Brutsaert, W., & Parlange, M. (1998). Hydrologic cycle explains the evaporation paradox. *Nature*, 396(30), doi:10.1038/23845.
- Cüceloğlu, G. (2019). İklim Değişikliğinin İstanbul Yüzeysel Su Kaynaklarına Etkisi ve Kuraklık Dirençli Bütünleşik Su Yönetimi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı.
- ÇŞB (2021). Ulusal Yeşil Sertifika Değerlendirme Kılavuzu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/06/20210609M1-3-1.pdf> adresinden alınmıştır (Erişim Tarihi: 20.08.2021)
- Demir, İ. (2011). Bölgesel İklim Modeli Projeksiyonları:RCHAM5-B1. *5th Atmospheric Science Symposium*, (s. 153-160).
- Dufresne, J., Foujols, M., Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., Aumont, O., . . . Brockmann, P. (2013). Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Clim. Dynamics*, 40, 2123-2165.
- Eşbah Tuncay, H. (2021). *Suya Duyarlı Şehirler*, SÜEN Yayınları.
- Eşbah Tuncay, H. (2022). Sünger Şehirler, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik Dergisi*, 1(2) 101–108.
- Ersahin, M.E., Güven, H. & Öztürk, İ. (2022). *Atıksu Arıtma Tesisinden Atıksu Rafinerisine*. M. Bulut ve C. Korkut (Eds). *Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Hayat* (s. 385-410). Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.

- Hagemann, S., Chen, C., Clark, D. B., Folwell, S., Gosling, S. N., Haddeland, L., Hanasaki, N., Heinke, J., Ludwig, F., Voss, F., Wiltshire, A. (2013). Climate change impact on available water resources obtained using multiple global climate and hydrology models. *Earth System Dynamics*, 4, 129-144.
- IMC (1999). İstanbul Su Temini, Atıksu ve Yağmursuyu Tesisleri Master Planı.
- IPPC (2014). Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf adresinden alınmıştır. (Erişim Tarihi: 18.09.2022)
- IPPC (2021). Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change Sixth Assessment Report, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Full_Report.pdf adresinden alınmıştır. (Erişim Tarihi: 18.09.2022)
- İBB (2021). İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı, https://cevre.ibb.istanbul/wp-content/uploads/2022/01/ist_iklim_degisikligi_eylem_plani.pdf adresinden alınmıştır. (Erişim Tarihi: 18.09.2022)
- İSKİ (2021). İstanbul İçmesuyu ve Kanalizasyon Master Planı Hazırlanması İşi, İSKİ Master Plan Ortak Girişimi, Yüksel Proje, Dolsar Mühendislik, Royal HaskoningDHV.
- Karaca, M.; Ünal, Y.S.; Goksel, C. (2000). Effects of urbanization on the regional climate: Example of Istanbul. *ECAC2000 3rd European Conf. On Applied Climatology*.
- Kurnaz, L. (2014). Kuraklık ve Türkiye. *IPM-Mercator Politika Notu*. Sabancı Üniversitesi.
- Leong, J., Balan, P., Chong, M., & Poh, P. (2019). Life-cycle assessment and life-cycle cost analysis of decentralised rainwater harvesting, greywater recycling and hybrid rainwater-greywater systems. *Journal of Cleaner Production* (229), 1211-1224.
- Nowak, O., Keil, S., & Fimml, C. (2011). Examples of energy self-sufficient municipal nutrient removal plants. *Water Science & Technology*, 64(1), 1-6.
- OSİB (2016). İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerindeki Etkileri Projesi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Önal, B. (2012). Effects of Coastal Topography on Climate: High-Resolution Simulation with a Regional Climate Model. *Climate Research*.
- Önol, B.; Fredrick, H.; Semazzi, M.; Ünal, Y.S., Dalfes H.N (2006). Regional Climatic Impacts of Global Warming over the Eastern Mediterranean. *International Conference on Climate Change and the Middle East: Past, Present and Future*. İstanbul.
- Önol, B., & Semazzi, F. (2009). Regionalization of climate change simulations over the eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 22, 1944-57.
- Öztürk, İ. (2020a). *Su İklim Değişimi ve Ortak Geleceğimiz*, SUEN Yayınları.
- Öztürk, İ., Kınacı, C., Ateş Genceli, E., Özgün, H., Cüceloğlu, G., Çiçekalan, B., Özababalı Sabuncugil, A. (2020b). *Çevre Ekonomisi Tam Maliyet Esaslı Tarife Hesabı (el kitabı)*, TBB Yayınları.

- Sarıkaya H., (2017). Kentsel Su ve Atık Su Yönetiminde Master Planlama (yayınlanmamış özel rapor)
- Shen, X. (2010), Flood Risk Perception and Communication Within Risk Management in Different Cultural Contexts: A Comparative Case Study Between Wuhan, China, and Cologne, Germany.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., . . . Chen, Z. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SYGM. (2013). Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Bilgi İşlem Daire Başkanlığı'ndan temin edilen veriler.
- Şen, Ö.L.; Bozkurt, D.; Göktürk, O.M., DüNDAR, B., Altürk, B. (2013). Türkiye'de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. *3.Ulusal Taşkın Sempozyumu*.
- TÜBİTAK MAM. (2010). *Havza Koruma Eylem Planları*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı adına TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi.
- Toros, H. (2012). Spatio-Temporal Variation of Daily Extreme Temperatures over Türkiye. *International Journal of Climatology*, 32(9) 1047-1055.
- URL-1 <<https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/>> (Erişim Tarihi: 18.09.2022).
- Ünal, Y.S.; Deniz, A.; Toros, H.; Incecik, S. (2012). Temporal and Spatial Patterns of Precipitation Variability for Annual, Wet, and Dry Seasons in Türkiye. *International Journal of Climatology* (32), 392-405.
- Ünal, Y.; Tan, E.; Mentés, S. (2013). Summer Heat Waves over Western Türkiye between, *Theoretical and Applied Climatology* (112), 339–350 1965-2006.

Yazarlar Hakkında / About Authors

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK | TÜBA Şeref Üyesi | İstanbul Teknik Üniversitesi |
ozturkiz[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-8274-5326

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) İnşaat Fakültesi'nden 1976 yılında mezun oldu. 1978 yılında İTÜ Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda asistan olarak göreve başladı. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nden, 1979 yılında Yüksek İnşaat ve Çevre Mühendisliği ve 1982 yılında Doktora derecelerini aldı. 1982-1984 yılları arasında İngiltere Newcastle Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde doktora sonrası araştırmalarda bulundu. 1994 yılında TÜBİTAK Bilimsel Araştırma ve Teşvik ödülüne layık görüldü, ardından aynı yıl İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Profesörlük kadrosuna atandı. Su ve atıksu arıtımı, bütünleşik su havzaları yönetimi, entegre katı atık yönetimi ve iklim değişiminin su kaynaklarına etkileri alanlarında uluslararası düzeyde uzmanlığı olan Öztürk'ün, ağırlıklı olarak uluslararası olmak üzere 350'den fazla bilimsel yayını, 17 kitabı ve çok sayıda araştırma/uygulama projesi raporu bulunmaktadır, Öztürk, Türkiye Bilimler Akademisi şeref üyesi ve İTÜ Yönetim Kurulu üyesidir. Bir dönem TÜBİTAK KAMAG GYK ve TÜBİTAK Bilim Kurulu üyelikleri de yapan Öztürk, 2015-2020 döneminde İSKİ Yönetim Kurulu üyeliği görevi yapmıştır.

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK | TÜBA Honorary Member | Istanbul Technical University |
ozturkiz[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-8274-5326

He is graduated Istanbul Technical University (ITU) Civil Engineering Faculty in 1976. Afterwards, he attended ITU Environmental Sciences and Technology Division in 1978 as an Assistant. He received Environmental and Civil Engineering M.Sc. degrees in 1979, and Ph.D. degree in 1982 at ITU Environmental Engineering Department. During 1982-1984, he completed post-doctoral studies at the Newcastle University Environmental Engineering Department in UK. He achieved TR TUBİTAK's Scientific Research and Encouragement award in 1994, then he was enrolled as a Professor in ITU Environmental Engineering Department. He has international expertise in the fields of water and wastewater treatment, integrated watershed management, integrated solid waste management, effects of climate change on water resources, anaerobic digestion, and industrial pollution control. He withholds more than 350 scientific publications, 17 books, and many research/implementation Project reports mainly with international reputation. Öztürk is an honorary member of the Turkish Academy of Sciences (TÜBA), a member of International Water Association (IWA), and a member of ITU Administrative Committee. Prof. Öztürk, who was a member of TÜBİTAK KAMAG (Public Research Group), and a member of Science Board of TUBİTAK for a while, was a member of İSKİ Board of Management between 2015-2020.

**Dr. Gökhan CÜCELOĞLU | Gebze Teknik Üniversitesi |
cuceloglu[at]gtu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9534-250X**

Gökhan, İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında mezun olmuştur. Yüksek Lisans (2013) ve doktora (2019) çalışmalarını İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamış ve 2011-2019 yılları arasında yine aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. Doktora çalışmaları sırasında İsviçre Federal Su Araştırmaları Bilimi ve Teknolojileri Enstitüsü'nde (EAWAG) bir yıl süre ile (2015-2016) misafir araştırmacı olarak bulunmuştur. Doktora çalışmasında iklim değişikiminin İstanbul'un su kaynaklarına olası etkisini araştırmıştır. Akademik çalışmalarının yanı sıra üniversite, devlet kurumları ve özel şirketler ile çalışarak çeşitli su kaynakları projelerinde modelleme uzmanı olarak çalışmıştır. 2020-2022 yılları arasında Oxford Üniversitesi (Environmental Change Institute) araştırmacı kadrosunda yer alarak İngiltere ve Galler ulusal su kaynakları modelleme ve planlama projelerinde görev almıştır. Bu çalışmaya ek olarak, Oxford Üniversitesi Oxford Martin Programme on Transboundary Resource Management araştırma grubu içerisinde Ürdün Havzası'nda su, enerji ve iklim sistemleri modelleme ve sınır aşan kaynakların yönetimi çalışmalarında yer almıştır. 2021-2023 yılları arasında "OPTAIN - Optimal strategies to retAIN and re-use water and nutrients in small agricultural catchments across different soil-climatic regions in Europe" H2020 projesinde araştırmacı olarak çalışmıştır. 2023 yılında itibaren Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde Dr. Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Genel çalışma konuları arasında iklim değişikimi, hidroloji, su kaynakları modellemesi, su kalitesi ve havza yönetimi konuları yer almaktadır.

**Dr. Gökhan CÜCELOĞLU | Gebze Teknik Üniversitesi |
cuceloglu[at]gtu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9534-250X**

Gökhan holds a bachelor's degree (2010) in Environmental Engineering from Istanbul Technical University (ITU), Türkiye. He also obtained his master (2013) and PhD degree (2019) from the Environmental Science and Engineering Program at the same university, where he was also a research assistant (2011-2019). He was also a guest PhD researcher (2015-2016) in Systems Analysis, Integrated Assessment and Modeling at EAWAG, Zürich. During his PhD, he focused on the climate change impacts on the surface water resources of Istanbul and built a regional water resource system model for resilient drought and water scarcity management in the city. Alongside his academic studies, he has collaborated actively with government agencies and private sectors in numerous water resources projects. Gokhan was a research associate (2020-2022) at Environmental Change Institute, the University of Oxford, and his research focused on national-scale water resource modeling and drought management plans for Wales and England. In addition, he was a research fellow (2020-2022) at The Oxford Martin Programme on Transboundary Resource Management, working on transboundary water, energy and climate systems modelling in the Middle East (Jordan River Basin). He participated to EU-funded research and innovation H2020 project titled "OPTAIN - Optimal strategies to retAIN and re-use water and nutrients in small agricultural catchments across different soil-climatic regions in Europe" between 2021 and 2023. Currently, Gokhan works as an assistant Professor at Earth and Marine Sciences, Gebze Technical University. His main research interests lie in the different research themes of integrated watershed management, including climate change, hydrology, water resource modeling and water quality.

**Araştırma Görevlisi Elif Zeynep DENERİ | İstanbul Teknik Üniversitesi |
deneri[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-7190-737X**

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. İTÜ Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi programında eğitim gördü ve "Demiryollarından Kaynaklanan Çevresel Gürültünün İncelenmesi ve Deđerlendirilmesi: Marmaray Örneği" başlıklı yüksek lisans tezini 2022 yılında tamamladı. 2022'nin Şubat ayından bu yana İTÜ Çevre Mühendisliği Birimi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta ve İTÜ Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi programında doktora eğitimine devam etmektedir.

**Research Assistant Elif Zeynep DENERİ | Istanbul Technical University |
deneri[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-7190-737X**

She graduated from Istanbul Technical University (ITU) Environmental Engineering Department in 2017. She was educated in ITU Environmental Sciences, Engineering and Management program and completed her master's thesis titled " Investigation and Assessment of Environmental Noise arising from Railways: The case of Marmaray" in 2022. She has been working as a Research Assistant at ITU Environmental Engineering Department since February 2022 and continues her doctorate education in ITU Environmental Sciences, Engineering and Management program.

