

SU YÖNETİMİNDE AJAN TABANLI YAPAY ZEKA KULLANIMI



Dursun Yıldız, Dr. Hasan Hüseyin Doğan

Ekim 2026



Araştırma Dizisi:10

Raporun Adı: **SU YÖNETİMİNDE AJAN TABANLI YAPAY ZEKA KULLANIMI**

Raporu Hazırlayanlar : İnş Müh Dursun Yıldız¹, Dr. Hasan Hüseyin
Doğan ²

⁽¹⁾DSİ Daire Başkan Yrd. (E)
İnşaat Müh. Su Politikaları Uzmanı
TEMA Bilim Kurulu Üyesi
SPD Hidropolitik Akademi Başkanı

⁽²⁾ Dr. Hasan Hüseyin Doğan (Emekli Üniversite Öğretim Üyesi)
SPD II.Başkanı

Kaynak gösterimi : Dursun Yıldız ve Dr. Hasan Hüseyin Doğan, “Su Yönetiminde Ajan Tabanlı Yapay Zekâ Kullanımı”, Su Politikaları Derneği. Araştırma Dizisi Rapor No: 10. Ankara. 22 Ekim 2026.

ÖZET

BÖLÜM 1

SU HİZMETLERİ YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKA KULLANIMI..... 9

1.Su Sektörü Üzerindeki Artan Baskılar

- 1.1.Yapay Zeka (YZ)’nın Benimsenmesinin Hızlanması**
- 1.2.Kamu Hizmetlerinde YZ Benimsenmesinin Önündeki Engeller**
- 1.3.Siber Güvenlik ve Veri Gizliliği: Kendi Başına Bir Engel**
- 1.4.Su Döngüsü Boyunca Fırsatlar**

2.Su Hizmetlerinde İşletme Verimliliği

- 2.1.Sızıntı Tespiti ve Öngörücü Bakım**
- 2.2.Operasyonların ve Enerji Kullanımının Optimize Edilmesi**
- 2.3.Stratejik Planlama ve Dayanıklılık**
- 2.4.Sorumlu Yapay Zeka: Kamu Hizmetleri İçin Önemli Hususlar**

3.İşbirliği ve İş Gücü Geliştirme

BÖLÜM 2

SU YÖNETİMİNDE AJAN TABANLI YAPAY ZEKA KULLANIMI..... 14

4.Su işletmelerinin, yapay zekâ tarafından üretilen içgörülerden uygulamaya geçişi
4.1. Düşünenlerden Yapanlara Doğru Değişim

5.Su Sektöründe Sahadaki Uygulamalar

- 5.1. Otonom Arıtma Tesisi**
- 5.2. Sızıntı Tespiti**
- 5.3. Tedarik ve Uyumluluk Temsilcileri**
- 5.4. Yönetilmesi Gerekli Riskler ve Koruma Bariyerlerine Duyulan İhtiyaç**

6.İlerlemeye Yönelik Bir Yol: İnsan Dahil (HITL) Yaklaşımı

- 6.1.İleriye Dönük Yol Haritası**

BÖLÜM 3

YAPAY ZEKA VE YENİ TOPLUMSAL SU GÜVENLİĞİ AĞI.....19

7.Dirençli Su Hizmetleri: Yapay Zekâ Neden Su İçin Yeni Bir Toplumsal Güvenlik Ağıdır?

7.1.Kırılganlığın Maliyeti Yüksek

7.2.Eski Teknolojilerin Yerine Yapay Zeka Tabanlı Teknolojiler

8.Güvenlik Ağında Pasif Gösterge Panellerinden Ajanik Yapay Zekâya Doğru Yöneliş

9.Geleceğin İşgücünün Özellikleri ve Yapay Zeka

10 Su Sorunlarının Çözümü için Yenilikçi Yaklaşım Gerekli

BÖLÜM 4

YAPAY ZEKÂNIN SU SEKTÖRÜNDEKİ İŞGÜCÜNE ETKİSİ VE TOPLUMSAL FAYDA HEDEFİ 24

11. Yapay Zekânın Su Sektöründeki İşgücüne Etkisi

11.1.İşgücü Açısından Zorluk Noktaları

11.2.Beceri Uyumsuzluğu.

11.3.Bir İş Gücü Katalizörü Olarak Yapay Zeka

12.İnovasyon Merkezi Modeli

13.Kamu Yöneticileri İçin Uygulanabilir Yol Haritası

14.Su Yönetiminde Yapay Zeka Tabanlı Bir Sisteme Geçişin Toplumsal Fayda Hedefi

14.1.Yapay Zekâ Su Konusunda İnsan Haklarını Gözetir mi?

14.1.1.Sınıfsal Eşitsizlik Sorunu

14.1.2.Yapay Zekâdan Yararlanmanın Etik Boyutu

14.1.3.Yapay Zekâ Kendiliğinden Su Hakkını Ve Su Adaletini Gözetmez

BÖLÜM 5

TÜRKİYE’DE BÜTÜNLEŞİK SU YÖNETİMİNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM VE YAPAY ZEKA..... 29

15.Türkiye’de Su Yönetiminde Dijital Dönüşüm

15.1.Bilgi Sistemleri	29
15.1.1. Ulusal Su Bilgi Sistemi	
15.1.2. Türkiye Sayısal Su Kaynakları Altlığı	
15.1.3. Sulama Yönetimi ve Bitki Su Tüketimi Sistemi	
15.1.4. Tarım Cebimde-Su	
15.1.5. Akıllı Sulama Dağıtım Otomasyon Sistemi	
15.1.6. Ulusal Su Kaynakları Coğrafi Yönetim Sistemi	
15.1.7. Su Verimliliği Bilgi Sistemi	
15.1.8. Türkiye Su Atlası	
15.1.9. Nitrat Bilgi Sistemi	
15.1.10. Meteorolojik Veri-Bilgi Satış ve Sunum Sistemi	
15.1.11. İklim Portal	
15.1.12. Akım Tahmin ve Havza Optimizasyon Modeli	
15.2. Tahmin ve Erken Uyarı Sistemleri	34
15.2.1. Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Sistemi	
15.2.2. Taşkın Erken Uyarı Sistemi	
15.2.3. Kuraklık Tahmin ve Erken Uyarı Sistemi	
15.2.4. Modelleme Çalışmaları	
15.2.4.1. HİDROTÜRK Milli Yazılımı	
15.2.5. Uzaktan Algılama ve Yapay Zekâ	
15.2.5.1. Yapay Zekâ ve Uzaktan Algılama Teknikleriyle Su Miktarının ve Kalite Parametrelerinin Tespiti	
15.2.6. Ar-Ge ve İnovasyon	
15.2.6.1. Su ve Atıksu Sektöründe İnovasyon	
15.2.6.2. Su Arıtımında Nanoteknoloji	
15.2.7. Su Yönetimi İçin Yapay Zekâ ve Büyük Veri	
15.2.8. Su Kaynakları Yönetimi için Blokzincir	
15.2.9. Merkezi Olmayan Su Sistemleri	
15.2.10. Akıllı Teknoloji Çözümleri	
15.2.11. Akıllı Su Tesisleri	
15.3. Stratejiler	
16. Genel Değerlendirme ve Sonuç.....	39

Kaynakça

ÖZET

Su Hizmetleri Veren Kuruluşlar İçin Üretken Yapay Zekânın Rolü ve Önemi

Giderek daha yetenekli hale gelen yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin ortaya çıkışı, pek çok bilimsel ve teknik disiplindeki teknik manzarayı değiştirmektedir; hidroloji alanı da bu durumun bir istisnası değildir. Bu teknolojilerin sayısız uygulama alanı arasında yüzey suyu temini, yeraltı suyu modellemesi, hidroelektrik enerji üretimi, tarım ve sulama, iklim değişikliği ve taşkın riski yönetimi, su-enerji-gıda bağlantısı ve su yönetişimi gibi konular yer almaktadır(UNESCO 2025 Rita Marteleira (Ed) . YZ teknolojileri, su yönetimi bağlamında yeni yeteneklerin önünü açma potansiyeline sahip olsa da, bu gelişmeler aynı zamanda çeşitli sınırlamalara tabidir.

Örneğin, veriye dayalı yöntemler çoğunlukla geniş ölçekli (mekânsal ve zamansal) ve yüksek kaliteli ölçümlere erişim gerektirir; ancak bu ölçümler bazen aşırı değerleri temsil etmeyebilir. Buna ek olarak, bu modellerin yorumlanabilirliğinin veya açıklanabilirliğinin eksik olması büyük önem taşımaktadır; zira bu modeller kritik süreçler ve yapılar üzerindeki karar alma ve kontrol mekanizmalarını desteklerken, aynı zamanda etik boyutları da beraberinde getirmektedir.

YZ alanındaki yeni gelişmelerin, pek çok bilimsel disiplinin bugününü ve geleceğini etkilemesi beklenmektedir; zira 4. bilimsel paradigmaya adım atıyor olabiliriz. Bu raporumuz, su yönetimi alanındaki YZ ve Makine Öğrenmesi (MÖ) uygulamalarının mevcut durumunu ele almakta, temel kavramlardan bazılarını tanıtmakta ve okuyucuya farklı teknolojiler ve kavramlar hakkında genel bir anlayış kazandırmaktadır. Ayrıca bu rapor, su hizmetleri yönetimi alanındaki en etkili YZ uygulamalarından örnekler sunmakta ve su kaynakları yönetiminde YZ'nin entegrasyonu sürecinde karşılaşılan bazı zorlukları vurgulamaktadır.

WRF 5321 Araştırma projesi ("Küresel Su Sektörü İçin Üretken Yapay Zekânın Rolü") büyük dil modelleri (LLM'ler) tarafından desteklenen üretken yapay zekânın, belediye su ve atık su hizmetleri kuruluşları için üstlenebileceği rolü anlamayı amaçlamıştır. Çalışma; nispeten düşük maliyet ve çabayla hayata geçirilebilecek, değer yaratan ve su hizmetleri kuruluşlarının çeşitli veri kaynaklarıyla daha verimli çalışmasını sağlayan pek çok kullanım senaryosu bulunduğunu ortaya koymuştur. Söz konusu kullanım senaryoları, bilgi tabanlı sohbet robotlarından otomatik veri girişi uygulamalarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Aynı zamanda çalışma; sağlam veri yönetişimi yapılarının oluşturulmasının yanı sıra güvenlik, uyumluluk ve iş gücünün uyumuyla ilgili endişelerin ele alınmasının önemine de dikkat çekmiştir.

Sonuç olarak, ajan tabanlı yapay zekânın su sektöründe giderek daha önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Bu da iş akışlarının otomasyonunda, karar alma süreçlerinin iyileştirilmesinde ve kamu hizmetinde verimliliğin artırılmasında önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak başarılı sonuçlar için sağlam veri yönetimi, alan uzmanlığı, net insan gözetimi ve güvenceler gereklidir.

Su sektöründe yapay zekânın yükselişi, fütüristik bir kavram olmaktan çıkıp karmaşık altyapıyı yönetmek için pratik bir gerekliliğe dönüşüyor. Yapay zeka ajanları, su şebekesi operatörleri için gelişmiş bir yardımcı pilot görevi görerek, insan gözleminden kaçabilecek kalıpları belirlemek için büyük miktardaki SCADA ve sensör verisini işliyor. Profesyonel uzmanlığın yerini almak

yerine, bu araçlar sızıntı tespiti, pompa optimizasyonu ve talep tahmini konusunda yardımcı olan bilişsel bir katman sağlıyor. Böylece ekiplerin reaktif sorun gidermeden öngörücü bakıma geçmesine olanak tanıyorlar.

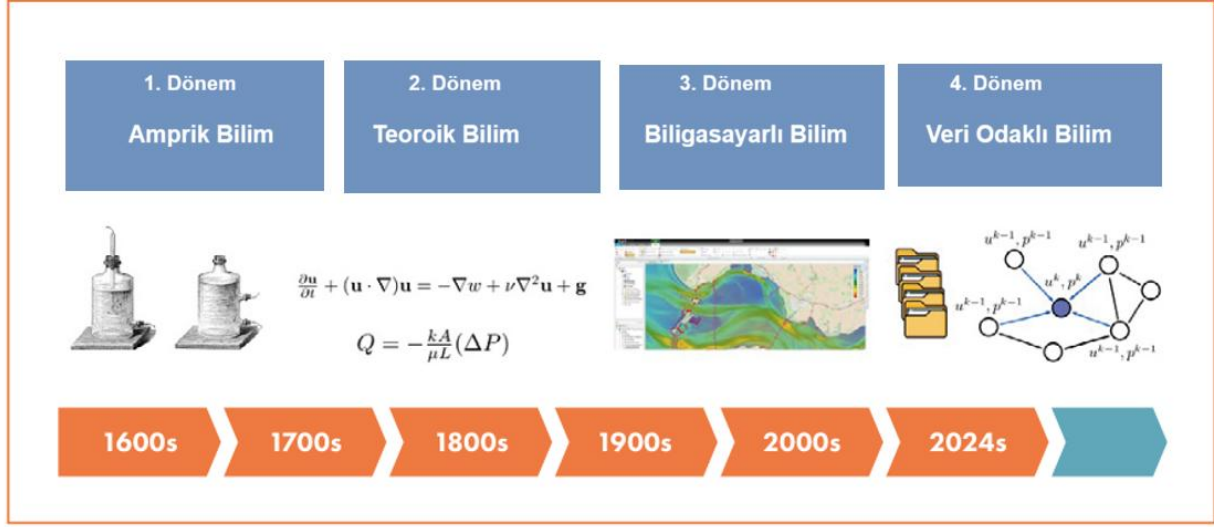
Yapay zekânın başarılı entegrasyonu, otomatikleştirilmiş içgörülerin her zaman operasyonel deneyimle doğrulanmasını sağlayan "insan müdahalesi" çerçevesinin korunmasına bağlıdır. Doğal dil arayüzleri aracılığıyla karmaşık analitiklere erişimi demokratikleştirerek, su şebekelerinde daha geniş bir personel yelpazesinin veri odaklı kararlar almasını sağlayabilir. Bu dengeli yaklaşım, riskleri azaltırken su dağıtım ağlarının verimliliğini en üst düzeye çıkarır.



BÖLÜM 1

SU HİZMETLERİ YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKA KULLANIMI

Akıllı altyapı çağında su hizmeti kuruluşları verimlilik, dayanıklılık ve etik değerler arasında nasıl bir denge kurabilir?



Şekil 1. Su biliminde bilimsel paradigmaların evrimi.(UNESCO 2025 Rita Marteleira (Ed)

20. yüzyılın başlarında, hem geniş kapsamlı ölçüm ağlarının (hidrometeoroloji, nehir akışları, yeraltı suyu) kurulması hem de su döngüsünün temel unsurlarını açıklayan teorilerin (örneğin Green, Ampt veya Horton) geliştirilmesiyle hidroloji alanında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. 20. yüzyılın sonları ve 21. yüzyılda su bilimindeki gelişmeler; hidrometeorolojik gözlemlerin daha iyi mekansal ve zamansal kapsama ulaşmasını, süreçlerin daha iyi tanımlanmasını (örneğin su kalitesi süreçleri veya yeraltı taşınımı) ve hesaplamalı yöntemler ile istatistiksel yöntemlerin uygulanmasını kapsamaktadır. Sayısal yöntemlerin ve hesaplamalı fiziğin yaygınlaşması; hidrolik yapıların, su depolama ve taşıma sistemlerinin sistematik olarak optimize edilmesine ve kaynakların daha iyi planlanmasına olanak tanımıştır(UNESCO 2025 Rita Marteleira (Ed)).

Günümüzde, Yapay Zeka (YZ) ve Makine Öğrenmesi (MÖ) alanındaki yeni gelişmeler, bilim ve mühendislik camiasının dikkatini yeniden üzerine çekmiştir. Artan işlem gücü ve büyüyen dijital veri tabanları ile desteklenen bu teknolojilerin, dördüncü bir bilimsel paradigma sürecine girerken (Şekil 1), pek çok bilimsel disiplinin bugününü ve geleceğini etkilemesi beklenmektedir. Bu paradigma, bilimsel keşiflere, daha iyi hesaplama olanaklarına veya gelişmiş öngörü yeteneklerine imkan tanıyan veriye dayalı örüntülerin elde edilmesi amacıyla, akıllı makineler kullanılarak muazzam miktardaki bilgiden yararlanma kapasitesiyle ilgilidir. Söz konusu gelişmeler, suyla ilgili zorlukların ele alınmasında kapsamımızın genişletilmesine ve geleneksel yaklaşımların sınırlılıklarının aşılmasına büyük katkı sağlamıştır(UNESCO 2025 Rita Marteleira (Ed)).

Küresel su sektörü; iklim değişikliği, eskimiş altyapı, finansal baskılar ve hızla yaşlanan bir iş gücü dahil olmak üzere benzeri görülmemiş zorluklarla karşı karşıyadır. Aynı zamanda

güvenilirlik, sürdürülebilirlik ve abone etkileşimine dair beklentiler de artmaya devam etmektedir(Chandrasekaran P. 2025) .

Üretken Yapay Zeka (GenAI) ve Otonom Yetenekli Yapay Zeka (AgenticAI), su sektöründeki dijital dönüşümün bir sonraki dalgasını temsil etmektedir. GenAI mevcut verilerden yeni bilgiler ve içgörüler üretirken, AgenticAI bu içgörüler doğrultusunda özerklik ve öngörüyle hareket eder. Bu teknolojiler birlikte, önceki yapay zeka çalışmalarının değerini artırarak hizmet sağlayıcıları tahmin aşamasının ötesine; eylem, öngörü ve dayanıklılık noktasına taşır (Şekil 2).



Şekil 2. Su sektöründe yapay zekânın evrimi: analizden anlamaya ve otonom eyleme doğru.(Chandrasekaran P. 2025)

Üretken yapay zeka; metin, görüntü, ses veya video gibi büyük veri setleri üzerinde, derin öğrenme ağları kullanılarak eğitilir. Eğitim sürecinde model, içerik tahmin etmeye veya üretmeye yardımcı olan parametreleri (milyonlarca veya milyarlarca) öğrenir. Bu aşamada modeller, öğrenilen kalıplara ve sağlanan komutlara (prompt'lara) dayalı olarak çıktı üretir.

Ajan tabanlı modern yapay zeka sistemleri genellikle çevreyle etkileşim kuran, bilgi edinen ve görev zincirlerini yürüten yarı özerk bileşenler olan ajanları kullanır. Bu araçlar, veritabanlarını

sorgulama, veri alma veya harici API'leri kontrol etme gibi iş akışlarını mümkün kılmak için akıl yürütme, planlama ve eylemde bulunmak üzere doğrusal dil modellerini (LLM) kullanır.

1.Su Sektörü Üzerindeki Artan Baskılar

Daha önce de belirtildiği gibi su sektörü küresel ölçekte giderek artan zorluklarla karşı karşıya bulunmaktadır. Bu durum, özellikle ABD'de kritik önem taşımaktadır.Nitekim su hizmeti kuruluşlarının neredeyse yarısı, eskimiş olan altyapıyı en büyük engel olarak görmektedir. (Kaynak: ASCE). Sel, kuraklık ve orman yangınları gibi iklim kaynaklı olaylar bu baskıları daha da ağırlaştırarak hem su arzını hem de hizmetin güvenilirliğini tehdit etmektedir. Ayrıca 2050 yılına kadar küresel su tüketiminin %20'den fazla artması ve halihazırda hassas durumda olan sistemlere ilave yük bindirmesi beklenmektedir (Kaynak: Dünya Ekonomik Forumu). Su hizmeti kuruluşları; artan talep, yıpranan altyapı, sınırlı mali kaynaklar, düzenleyici kurumların denetimi ve iş gücündeki değişimlerden oluşan bu karmaşık etkileşim ağını yönetmek zorundadır.(Dhanasekar and Moskovitz 2025)

1.1.Yapay Zeka (YZ)'nın Benimsenmesinin Hızlanması

Stanford'un 2024 YZ Endeksi Raporu'na göre, YZ benimsenmesi sektörler genelinde hızlanmaktadır. 2024 yılında kuruluşların %78'i YZ kullandığını bildirirken, bu oran 2023'te %55'ti. **Üretken YZ kullanımı aynı dönemde iki katından fazla artarak %33'ten %71'e yükselmiştir.** Bu hızlı büyüme, yönetim çerçevelerinin bu hıza ayak uydurması gerektiğinin altını çizmektedir. Artan talepler ve yaşanan altyapı ile karşı karşıya olan su sektörü hizmette aksamayı önlemek için teknolojik gelişmeleri izlemek ve dijital dönüşümü gerçekleştirmek zorundadır. Bu kapsamda YZ'yi benimsemek yalnızca verimlilikle ilgili değildir. Akıllı sistemlere giderek daha fazla bağımlı hale gelen bir dünyada gelecekteki dayanıklılığı ve sürekli hizmet sunumunu sağlamakla bağlantılı bir durumdur.

1.2.Kamu Hizmetlerinde YZ Benimsenmesinin Önündeki Engeller

Vaatlerine rağmen, su sektöründe YZ benimsenmesi pratik ve organizasyonel engeller nedeniyle yavaş ilerlemektedir. Veri kalitesi en temel sorunlardan biridir. Birçok kamu hizmeti kuruluşu hâlâ eksik veya uyumsuz bilgileri depolayan eski sistemlere güvenmekte, bu da model doğruluğunu azaltmaktadır. Sınırlı bütçeler ve personel kapasitesi, özellikle projeleri ölçeklendirmek için kaynakları yetersiz olan daha küçük kamu hizmetleri için işleri daha da karmaşık hale getirmektedir. Bu konuda kültürel hazırlık da kritik öneme sahiptir. Eğitim ve güven olmadan, personel yapay zekâ içgörülerine göre hareket etmekte tereddüt edebilir ve değerli önerilerin kullanılmadan kalmasına neden olabilir. Yapay zekânın sürdürülebilir değer sunması için bu sorunların önceden ele alınması gereklidir.

1.3.Siber Güvenlik ve Veri Gizliliği: Kendi Başına Bir Engel

Siber güvenlik ve veri gizliliği, karmaşıklığa bir katman daha eklemektedir. Kamu hizmetleri, her birinin dezavantajları olan yerel ve bulut barındırma arasında stratejik bir seçimle karşı karşıya kalmaktadır. Yerel barındırma, güvenlik ve egemenlik üzerinde daha sıkı kontrol sağlamakta , ancak sağlam korumaların yönetiminin yükünü tamamen şirket içi ekiplere bırakmaktadır. Bulut platformları genellikle daha güçlü uyumluluk çerçeveleri ve gelişmiş güvenlik önlemleri sunmakta, ancak satıcı bağımlılığı, veri egemenliği ve yargısal denetim konularında sorular ortaya çıkarmaktadır. Kamu hizmetleri yönetimi giderek artan bir şekilde,

yerel barındırmanın kontrolünü bulut çözümlerinin ölçeklenebilirliği ve korumalarıyla dengeleyen hibrit yaklaşımları araştırmaktadır. Kamu hizmetlerinin bu seçimi nasıl yöneteceği, yalnızca yapay zeka uygulamalarının başarısını değil, aynı zamanda bu sistemlere duyulan kamu güvenini de önemli ölçüde etkileyecektir.

1.4.Su Döngüsü Boyunca Fırsatlar

Bu bağlamda yapay zekâ (YZ), dönüştürücü bir araç olarak öne çıkmaktadır. Öngörüler; büyük veri setlerini işleme, ince örüntüleri tespit etme ve öngörüye dayalı içgörüler üretme kapasitesi sayesinde, su ve atık su yönetimine yönelik küresel YZ pazarının 2030 yılına kadar her yıl yaklaşık %12 oranında büyüyeceği tahmin edilmektedir. YZ'yi benimseyen hizmet sağlayıcılar, hızlandırılmış sızıntı tespitinden ve düşük enerji tüketiminden geliştirilmiş dayanıklılık planlamasına kadar uzanan gelişmeler yaşamaktadır. Teknoloji tek başına dönüşüm sağlamaz; kalıcı etkiyi yaratan şey, elde edilen içgörülerin insanlar, süreçler ve politikalar genelinde nasıl uygulandığıdır.

2.Su Hizmetlerinde İşletme Verimliliği

YZ, su döngüsünün tamamında giderek daha fazla uygulanmakta ve hizmet sağlayıcıların müdahalelerden proaktif, hatta öngörücü operasyonlara geçmesine yardımcı olmaktadır (Dhanasekar and Moskovitz 2025)

2.1.Sızıntı Tespiti ve Öngörücü Bakım

YZ destekli sızıntı tespit programları, sensörlerin makine öğrenimi ile birleştirilmesinin faydalarını ortaya koymaktadır. Böylece insan gözünden kaçabilecek anormallikleri tespit etmek için gerçek zamanlı akustik ve basınç verileri analiz edilmektedir. Saha ekipleri şebeke hasarlarını önlemek için hızla harekete geçebilmekte; böylece milyonlarca litre su tasarrufu sağlarken bakım maliyetleri de düşürülebilmektedir.

YZ kullanan bazı kurumlarda otomatik sistemler, atık su görüntüleri üzerindeki olası kusurları işaretlemekte ve bu bulgular, onarım emirleri verilmeden önce operatörler tarafından doğrulanmaktadır. Bu "insan-döngü-içinde" (human-in-the-loop) modeli, kritik kararlar üzerindeki denetimi korurken incelemelerin hem hızını hem de doğruluğunu artırır. Ancak operatörlerin kritik kararlar alabilmeleri için YZ çıktılarına güvenmeleri gerekir. Burada model şeffaflığının , teknik performans kadar önemli olduğu görülmektedir.

2.2.Operasyonların ve Enerji Kullanımının Optimize Edilmesi

Tahminleyici modelleme, enerji tüketimini azaltmada kamu hizmetlerine yardımcı oluyor ve bu da karbonsuzlaştırmaya yönelik önemli bir adım. Hava durumu verilerini, müşteri kullanım eğilimlerini ve rezervuar seviyelerini entegre ederek, yapay zekâ daha doğru talep tahminleri sağlıyor. Kamu hizmetleri daha sonra pompa ve arıtma tesisi operasyonlarına ince ayar yapabilir, gereksiz enerji kullanımından kaçınırken arz güvenliği, sel önleme ve çevresel ihtiyaçları dengeleyebilir.

2.3.Stratejik Planlama ve Dayanıklılık

Günlük operasyonların ötesinde, yapay zekâ gelecekteki dayanıklılığı şekillendiren stratejik kararları etkiliyor.

Avustralya ve Singapur, kamu hizmetleri demografik projeksiyonlarını, iklim riski verilerini ve

varlık durumu değerlendirmelerini sermaye planlamasına rehberlik eden yapay zekâ modellerine entegre ediyor. Bu bilgiler, hangi varlıkların en kritik ve en riskli olduğunu belirleyerek, kamu hizmetlerinin önceliklendirilmesine ve sınırlı bütçelerin daha da genişletilmesine yardımcı olmaktadır.

2.4.Sorumlu Yapay Zeka: Kamu Hizmetleri İçin Önemli Hususlar

Fırsatlar önemli olsa da, su sektöründe yapay zekâ, yeni riskler veya eşitsizlikler ortaya çıkarmamak için sorumlu bir şekilde kullanılmalıdır.Burada aşağıda verilen dört temel ilke öne çıkmaktadır:

1. Yönetişim ve Denetim: Yapay zekâ, insan uzmanlığını desteklemeli, onun yerini almamalıdır. Açık veri ilkeleri, risk yönetimi süreçleri ve karar noktalarında insan incelemesi şarttır. Kamu hizmetleri ayrıca denetlenebilirlik için veri soy ağacını takip etmeli ve yapay zekâ çıktılarının nasıl üretildiğini belgelemelidir.
2. Şeffaflık ve Açıklanabilirlik: Hem önerileri hem de bunların ardındaki gerekçeleri gösteren gösterge panelleri, operatörlerin yapay zekânın karar yolunu keşfetmelerini sağlar. Bu şeffaflık, özellikle güvenlik açısından kritik operasyonlarda güven oluşturur ve yanlış yorumlamayı azaltır.
3. Eşitlik ve Erişilebilirlik: Yapay zekâ, yalnızca gelişmiş altyapıya sahip olanlara değil, tüm topluluklara hizmet etmelidir. Kasıtlı planlama olmadan, araçlar öncelikle iyi hizmet verilen alanlarda konuşlandırılabilir ve diğerlerini sızıntı, kirlenme veya hizmet kesintisi riskine daha fazla maruz bırakabilir. Eşitlik, en başından itibaren bir tasarım gereksinimi olmalıdır.
4. Sağlamlık ve Güvenilirlik: Sızıntı tespitinden sel tahminine kadar, yapay zeka arızalarının büyük sonuçları olabilir. Sistemlerin hem rutin hem de aşırı koşullar altında güvenilir kalmasını sağlamak için sürekli izleme, doğrulama ve senaryo testleri kritik öneme sahiptir.

3.İşbirliği ve İş Gücü Geliştirme

Su sektöründeki en başarılı yapay zeka uygulamaları, çeşitli kamu hizmetlerinde görüldüğü gibi, teknolojik yetenekleri, insan içgörüsü, operasyonel bağlam ve etik yönetimle bütünleştirmektedir. Kamu kurumları, bilgiyi paylaşmak ve benimsemeyi hızlandırmak için giderek daha fazla ilgili kurumlarla, araştırmacılarla ve teknoloji sağlayıcılarıyla iş birliği yapmakta ve bu da bu sistemlerin kurulması ve yönetilmesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmaktadır(Dhanasekar and Moskovitz 2025).

Kamu hizmetleri içindeki bu dönüşüm için iş gücü geliştirme çok önemlidir.

Yapay zekâ, su sektörü çalışanlarının rolünü "yapmaktan" "gözden geçirmeye" doğru kaydırırken, kamu hizmetlerinin yapay zekâ odaklı sistemlerin denetimi, yorumlanması ve yönetimi konusunda yetenekli çalışanlara ihtiyacı olacaktır. Aynı zamanda, yapay zekâ, kamu hizmetleri içinde bilgi aktarımını artırabilir, yaşanan iş gücünün uzmanlığını yakalayabilir ve kritik kurumsal bilgiyi yeni nesil operatörler ve mühendisler için daha geniş bir şekilde erişilebilir hâle getirebilir. Yapay zekâ su yönetimine özgü etik ilkeleri benimseyerek ,karar alma süreçlerinde şeffaflığı teşvik ederek ve teknolojik gelişmelere eşit erişimi sağlayarak su

sektöründe etkin ve sorumlu bir yönetim sağlayabilir.

Bu durum, geleceğe yönelik daha akıllı, daha dayanıklı ve kapsayıcı su hizmetleri oluşturacak; topluluklara ve altyapıya doğrudan fayda sağlayacaktır.

BÖLÜM 2

SU YÖNETİMİNDE AJAN TABANLI YAPAY ZEKA KULLANIMI

4.Su işletmelerinin, yapay zekâ tarafından üretilen içgörülerden uygulamaya geçişi

Son iki yılda bir su konferansına katıldıysanız, "Üretken Yapay Zekâ" terimini sayamayacağınız kadar çok duymuşsunuzdur. Muhtemelen ChatGPT'nin kabul edilebilir bir ön yazı veya uyumluluk özeti yazdığına dair örnekler görmüşsünüzdür. ChatGPT, elbette, atık su arıtımı hakkında bir şiir yazabilir, ancak bir arıtma tesisinin havalandırma üfleyicilerini gece 3:00'te optimize edebilir mi?

Yakın zamana kadar bu soruya verilen cevap kesinlikle hayırdı. Şimdi bu cevap değişiyor. İçerik üreten üretken yapay zekâdan, eylemler gerçekleştiren ajan tabanlı yapay zekâya geçiyoruz. Birinci bölümde, kamu hizmeti kuruluşlarının yapay zekâyı yönetim, şeffaflık ve insan gözetimi temelinde sorumlu bir şekilde nasıl benimseyebileceklerini inceledik. Kamu hizmeti kuruluşlarının şimdi sorduğu bir sonraki soru şu: Yapay zekâ kararlara yardımcı oluyorsa, bunların uygulanmasına da yardımcı olabilir mi? Su sektörü için bu ayrım sadece anlamsal değil; not alan dijital bir asistan ile vanaları çeviren dijital bir operatör arasındaki fark gibidir.

4.1. Düşünenlerden Yapanlara Doğru Değişim

"Agentic AI" (Otonom/Eylem Odaklı Yapay Zekâ) kavramını anlamak için, Büyük Dil Modelleri (LLM'ler) etrafındaki abartılı söylemlerin ötesine geçmeliyiz ve yapay zekâ sistemlerinin içgörü üretmekten işleri bizzat gerçekleştirmeye doğru nasıl evrildiğine odaklanmalıyız. Üretken Yapay Zekâ (Generative AI) tepkiseldir; ona bir komut verirsiniz, o da size bir metin veya görsel sunar. O bir "düşünür"dür. Su sektöründe halihazırda NPDES raporlarının taslağını hazırlamak veya kapsamlı EPA kılavuzlarını özetlemek gibi görevlerde yarar sağlamaktadır. Ancak bu sistem bir sohbet kutusunun içinde varlık gösterir ve fiziksel dünyaya doğrudan müdahale etmez.

Otonom Yapay Zekâ (Agentic AI) ise proaktif ve hedef odaklıdır. Ona komut vermezsiniz, bir amaç tanımlarsınız. Bir "ajan" (agent); çevresini algılama (SCADA verileri, sensörler veya piyasa fiyatları aracılığıyla), bir plan üzerinde akıl yürütme ve ardından diğer yazılımlarla ya da fiziksel sistemlerle etkileşime girerek bu planı uygulama yeteneğine sahiptir. Geleneksel otomasyon veya gelişmiş süreç kontrol sistemlerinin aksine, Otonom Yapay Zeka, tek bir süreci izole bir şekilde optimize etmek yerine; operasyonlar, bakım, enerji piyasaları ve idari iş akışları gibi farklı alanlar arasında bağlantı kurup akıl yürütebilir.

Üretken Yapay Zekâ'yı, bir sorun hakkında harika bir rapor hazırlayan kıdemsiz bir danışman

olarak hayal edin. Otonom Yapay Zeka'yı ise; siz henüz sabah kahvenizi bitirmeden, bir pompanın tuhaf bir şekilde titreştiğini fark eden, bakım kayıtlarını kontrol eden, yedek parça siparişi veren ve durumu dengelemek için akış ayar değerini (setpoint) değiştiren deneyimli bir saha operatörü olarak düşünün.

5.Su Sektöründe Sahadaki Uygulamalar

Su sektörü, "Agentic AI" (eylem odaklı/özerk yapay zekâ) teknolojisi için belki de en elverişli test alanlarından biridir. Su sistemleri karmaşıktır, zengin veri kaynaklarına sahiptir ve fizik temelli mantıkla çalışır; bu özellikleri, muhakeme yapabilen, planlama gerçekleştiren ve güvenilir bir şekilde harekete geçebilen yapay zekâ sistemleri için onları ideal kılar. İşte Agentic AI'nın sadece "sohbet" etmenin ötesine geçerek nasıl gerçek operasyonel değer sağladığına dair bir örnek:

5.1. Otonom Arıtma Tesisi

Geleneksel bir sistemde, çözünmüş oksijen (ÇO) seviyeleri düştüğünde bir SCADA sistemi alarm verir. Bir operatör alarmı onaylar ve üfleyici (blower) hızını manuel olarak ayarlar.

Bir yapay zeka ajanı ise alarmı beklemez; tesise gelen su akışını, amonyak seviyelerini ve enerji fiyatlarını sürekli olarak izler. İki saat sonra biyolojik yükte bir artış olacağını öngörebilir ve sistemi dengelemek amacıyla, enerji tarifelerinin daha düşük olduğu şu anda önleyici bir havalandırma işlemi başlatmaya karar verebilir. Belirlenen yeni ayar değerini (setpoint) doğrudan PLC'ye iletir; ardından işlemi ve bu işlemin gerekçesini ("Beklenen yük artışı için önleyici ÇO artışı"), daha sonra insan yönetici tarafından incelenmek üzere operasyon kayıtlarına işler.

Bu bir bilimkurgu senaryosu değildir. Almanya'nın Cuxhaven kentindeki tesisler gibi işletmeler, dijital ikizler kullanarak havalandırma enerjisi tüketimini %30 oranında azaltmak amacıyla bu mantığın erken aşama uygulamalarından halihazırda yararlanmıştır. Agentic AI, karar döngüsünü sıkılaştırarak ve uygun durumlarda tanımlanmış kısıtlamalar dahilinde otonomiye artırarak bu temeller üzerine inşa edilir (Xylem, Cuxhaven Atık Su Arıtma Tesisi Yapay Zeka Optimizasyonu vaka çalışması). Buradaki otonomi, serbest bir karar verme süreciyle değil, önceden tanımlanmış güvenlik sınırları ve fizik temelli kısıtlamalar çerçevesinde işler.

5.2. Sızıntı Tespiti

Eğer arıtma tesisleri şebeke operasyonlarının kalbi ise, dağıtım şebekeleri de sinir sistemidir. Mevcut akustik sızıntı tespiti, harita üzerinde noktalar oluşturur. Bir insan analistin bu noktalara bakması, doğrulaması ve bir iş emri vermesi gerekir.

Ajan tabanlı bir iş akışı bu süreci değiştirir. "Sızıntı Ajanı", belirli bir DMA'nın (bölgesel ölçüm alanı) gece akış verilerinde bir anormallik tespit eder ve bu sinyali akustik sensör verileriyle karşılaştırır. Korelasyon tanımlanmış bir güven eşiğini aştığında, ajan otomatik olarak şunları yapabilir:

- Boru malzemesini, çapını ve yaşını belirlemek için CBS'yi sorgulayabilir.
- İş yönetim sisteminde ekip müsaitliğini ve becerilerini kontrol edebilir.
- Muhtemel sızıntı yeri ve tahmini onarım parçalarıyla geçici bir iş emri taslağı hazırlayabilir.
- Dağıtım yöneticisine "İncele ve Onayla" bildirimini gönderebilir.

İnsan, veri toplayıcı olmaktan çıkıp karar doğrulayıcı olur.

Bu modelin gerçek dünyadaki bir öncüsü, Güney İsveç'e hizmet veren bölgesel su şirketi VA SYD'de görülebilir. VA SYD, dağıtım şebekesi genelinde gizli sızıntıları belirlemek ve önceliklendirmek için akış verilerini analiz eden yapay zekâ tabanlı bir sızıntı tespit sistemi devreye aldı. Sistem, ham sensör çıktılarının manuel olarak incelenmesine güvenmek yerine, şüpheli sızıntıları olasılık ve etkiye göre sıralayarak daha hızlı müdahale ve gelir getirmeyen su miktarında belgelenmiş azalma sağlıyor (Siemens, VA SYD SIWA Sızıntı Bulucu vaka çalışması).

Ajan tabanlı yapay zekâ, bu temele doğrudan dayanarak, tespit, varlık bağlamı ve müdahaleyi tek bir denetimli iş akışına bağlıyor ve insan kontrolünü ortadan kaldırmadan eylemi hızlandırıyor. Ajan müdahaleyi hızlandırıyor, ancak mühendislik yargısının veya saha doğrulamasının yerini almıyor.

5.3. Tedarik ve Uyumluluk Temsilcileri

Sadece operasyonel kazanımlar yeterli değildir. Bir kamu hizmeti kuruluşunun verimsizliğinin büyük bir kısmı idari iş akışlarında saklıdır. Temsilci tabanlı yapay zeka, personel zamanını tüketen ancak stratejik değer katmayan çok adımlı iş akışlarını yönetmek için özellikle uygundur. "500 fitlik sünek demir boru için fiyat teklifi al" görevi verilen bir temsilciyi düşünün. Temsilci, onaylı satıcılara bağımsız olarak e-posta gönderebilir, gelen PDF fiyat tekliflerini ayrıştırabilir, fiyatlandırmayı geçmiş veritabanıyla karşılaştırabilir, teslim sürelerini kontrol edebilir ve en iyi seçenek için bir karşılaştırma tablosu ve taslak satın alma siparişi sunabilir.

Bu yaklaşımın erken versiyonları, tedarik ve uyumluluk incelemelerini kolaylaştırmak için yapay zekâ destekli tedarik ve sözleşme yönetimi araçlarını kullanan kamu hizmeti kuruluşlarında zaten görülmektedir. Günümüzdeki çoğu uygulama otonom yürütmenin gerisinde kalsa da, temsilci tabanlı iş akışlarının döngü sürelerini nasıl önemli ölçüde azaltabileceğini ve personelin daha yüksek değerli görevlere odaklanmasını nasıl sağlayabileceğini göstermektedir. Örneğin, DC Water, tedarikçi yanıtlarını özetlemek, tedarik belgelerinden anahtar terimleri çıkarmak ve iç incelemeleri hızlandırmak da dahil olmak üzere, idari ve tedarikle ilgili iş akışlarını desteklemek için dahili olarak Üretken Yapay Zeka araçlarını kullanmaya başladı. Bu sistemler satın alımları otonom olarak gerçekleştirirse de, manuel belge işlemeyi ve karar gecikmesini önemli ölçüde azaltarak personelin müzakereye, risk yönetimine ve uyumluluk değerlendirmesine odaklanmasını sağlıyor (Bluefield Research & Xylem, Su Yönetimini Yeniden Düşünmek raporu).

Ajan tabanlı yapay zekâ doğrudan bu temele dayanmaktadır. Belge analizini, kıyaslamayı, iş akışı koordinasyonunu ve onay yönlendirmesini tek bir hedef odaklı sürece bağlayarak, tedarik ajanlarının yönetişimini atlamadan döngü sürelerini kısaltır. İnsanlar nihai kararlardan sorumlu olmaya devam eder, ancak artık evrak işlerinin rutin mekaniğine hapsolmazlar.

5.4. Yönetilmesi Gerekli Riskler ve Koruma Bariyerlerine Duyulan İhtiyaç

Eğer bir yapay zekânın vanaları açması veya tedarikçilere e-posta göndermesi fikri sizi tedirgin ediyorsa, haklısınız. Etmeli de. Su sektörü kritik bir altyapıdır; kontrol mantığımızda "yanılsamalara" yer veremeyiz.

Unutmayın, ajan tabanlı yapay zekâ, sorumlu yapay zekâ ilkelerinin yerini almaz. Onları stres testinden geçirir. Sistemler içgörü üretmekten eylemleri gerçekleştirmeye geçtiğinde, yönetişim,

açıklanabilirlik ve insan gözetimi daha da kritik hale gelir.

Yönetilmesi gereken üç büyük risk:

1. **Sonsuz Döngü:** Bir ajan basıncı optimize etmeye çalışırken, başka bir ajan enerjiyi optimize etmeye çalışıyorsa, sürekli birbirlerini geçersiz kılıp sistem istikrarsızlığına neden olan bir "savaş" girebilirler.
2. **Yanılsamalı Eylemler:** Üretken yapay zekâ bir gerçeği uydurabilir. Ajan tabanlı yapay zekâ kötü bir gerçeğe göre hareket edebilir. Bir ajan bir sensör okumasını yangın akış talebi olarak yanlış yorumlarsa ve bir tankı boşaltan bir vanayı açarsa, sonuçları fiziksel ve tehlikelidir.
3. **"Kara Kutu" Problemi:** Eğer bir su deposu taşmışsa ve kayıta "Yapay Zeka Ajanı 007 vanayı açma komutu verdi" yazıyorsa ama bunun nedenini açıklamıyorsa, sistemimizin kontrolünü kaybetmişiz demektir.

6.İlerlemeye Yönelik Bir Yol: İnsan Dahil (HITL) Yaklaşımı

Manuel ve sıkıcı işlerle korkutucu bir otomasyon arasında seçim yapmak zorunda değiliz. Su yönetimi alanında Otonom Yetenekli **Yapay Zekâ'yı** (Agentic AI) devreye almanın en etkili yolu, "İnsan Dahil" (Human-in-the-Loop - HITL) mimarisini kullanmaktır. HITL modeli; onay eşikleri yoluyla yönetişimi, kayıt altına alınan gerekçelerle şeffaflığı ve sınırlandırılmış özerklik yoluyla sağlamlığı sisteme entegre ederek sorumlu yapay zekayı hayata geçirir. Bu modelde, izleme, planlama ve eylem taslağı oluşturma gibi tüm temel işleri yapay zeka ajanı üstlenir. Ancak, en azından başlangıç aşamasında, bir insanın onayı olmadan nihai "uygulama" (commit) adımını gerçekleştirmez. HITL mimarileri aynı zamanda bir eğitim ortamı işlevi görerek, daha az deneyimli personelin kurumsal bilgiyi korurken yapay zekânın önerdiği eylemlerden ders çıkarmasına olanak tanır.

Örneğin, ajan şöyle diyebilir: "4. istasyonda pompa verimliliğinde bir düşüş tespit ettim. 2. Pompaya geçilmesini ve 1. Pompa için bakım planlanmasını öneriyorum.

Onaylıyor musunuz? [Evet/Hayır]"

Güven arttıkça, "Sınırlandırılmış Özerklik" aşamasına geçebilirsiniz. Bu aşamada ajana kendi başına hareket etme izni verirsiniz, ancak bu izin yalnızca sıkı kurallarla belirlenmiş "güvenli çalışma alanları" (sandbox) ile sınırlıdır.

- “Bana sormadan kimyasal dozajını +/- %10 oranında ayarlayabilirsin. Bunun üzerindeki değişiklikler onay gerektirir.”
- “Tedarikçilere gönderilecek e-postaların taslağını hazırlayabilirsin, ancak 'gönder' tuşuna basamazsın.”

6.1.İleriye Dönük Yol Haritası

"Agentic AI" (eylem odaklı/özerk karar alabilen yapay zekâ) sistemlerine doğru ilerlemek tek başına yürünecek bir yol değildir. Bu süreç; su hizmeti sağlayıcılarının, teknoloji tedarikçilerinin ve sektör kuruluşlarının iş birliği yapmasını, varsayımları test etmesini ve edinilen deneyimleri paylaşmasını gerektirir.

Bu amaçla SWAN Americas Alliance, su sektöründe eylem odaklı yapay zekânın rolüne

odaklanan ortak bir araştırma projesi başlattı. Proje; pratik kullanım senaryolarını, yönetim modellerini, uygulama yollarını ve iş gücü üzerindeki etkileri incelemek üzere hizmet sağlayıcıları, çözüm ortaklarını ve uygulayıcıları bir araya getiriyor.

Daha önce de ele aldığımız gibi, sorumlu yapay zekâ kullanımı su sektörü için artık bir tercih meselesi değil. Aynı zamanda su sektörü, emekli olan iş gücünün yarattığı bir "gümüş tsunami" (yaşlanan nüfus dalgası) ve iklim kaynaklı zorlukların oluşturduğu gerçek bir tsunami ile karşı karşıya. Bizden, daha az insanla daha fazlasını yapmamız bekleniyor. Bu sorunu sadece daha sıkı çalışarak ya da aslında mevcut olmayan daha fazla genç profesyoneli işe alarak çözemeyiz.

Güç çarpanlarına ihtiyacımız var. Üretken yapay zekâ (Generative AI), önemli bir ilk adımdı. Bize bilgisayarların dili anlayabildiğini ve karmaşık yapıları özetleyebildiğini gösterdi. Eylem odaklı yapay zekâ (Agentic AI) ise bilgisayarların "iş" anlamasını sağlayan araçtır.

İdari görevlerden ve düşük riskli operasyonel tavsiyelerden başlayarak bu yapay zeka ajanlarını dikkatli bir şekilde devreye aldığımızda, insan mühendislerimizin en iyi yaptıkları işe —yani hiçbir algoritmanın çözemeyeceği karmaşık ve yeni sorunları çözmeye— odaklanmalarını sağlayabiliriz. Suyun geleceği, operatörlerin yerini almakla ilgili değil; her bir operatöre, arka planda 7/24 çalışan dijital uzmanlardan oluşan bir ekip sunmakla ilgilidir. Su hizmeti sağlayıcıları için artık asıl soru "Yapay zekayı araştırmalı mıyız?" değil; "Hangi kararların makineler tarafından hazırlanmasına ve hangi eylemlerin —bizim gözetimimiz altında— onlar tarafından gerçekleştirilmesine hazırız?" sorusudur.



BÖLÜM 3

YAPAY ZEKA VE YENİ TOPLUMSAL SU GÜVENLİĞİ AĞI

7.Dayanıklı Su Hizmetleri: Yapay Zeka Neden Su İçin Yeni Bir Toplumsal Güvenlik Ağıdır?

Gelişmiş dünyada su altyapısı, arıza yapana kadar genellikle gözden ve ilgiden uzaktır. Ancak dünya genelinde milyonlarca insan ve giderek artan bir şekilde zengin ülkelerdeki sosyoekonomik gelir düzeyi düşük kesimler için su güvenliği, günlük bir endişe kaynağıdır. Su basıncı yeterli olacak mı? Su güvenli mi? Fatura ödenebilir düzeyde kalacak mı? Bu sorular, gelecek için endişelerin artmasına da neden olmaktadır.

Su alanında yapay zekâ (YZ) ile ilgili hâkim söylem çok dar kapsamlıdır. Yapay zekânın değeri genellikle yatırımın getirisi (ROI) veya operasyonel verimlilik üzerinden ölçülür. Bu ölçütler geçerli olsa da, daha acil bir gerçeği gözden geçirirler: yapay zekâ, sosyal eşitlik adına kritik bir araca dönüşmektedir (Dhanasekar A. and Bozeyeh B. 2026) .

Yatırımın getirisi tartışmasının arka planında daha rahatsız edici bir gerçek daha yatmaktadır. Pek çok su hizmeti kuruluşu yapay zekâyı sadece hafife almakla kalmıyor, aynı zamanda ondan sessizce uzak duruyor. Kendilerini "yapay zekadan korkan" olarak tanımlayan; bulut teknolojisine, otomasyona ve "kara kutu" (işleyişi şeffaf olmayan sistem) hissi veren her şeye karşı temkinli yaklaşan su sektörü profesyonelleriyle yapılan görüşmeler su gerçeği ortaya koymuştur. Yapay zekanın riskleri gerçek olsa ve dikkatle incelenmeyi hak etse de, duyulan korkunun büyük kısmı teknik olmaktan ziyade algısal; üstelik bu korku, söz konusu kuruluşları; altyapı arızalarından en çok etkilenen topluluklar için hizmet kalitesini, güvenliği ve maliyet erişilebilirliğini anlamlı ölçüde iyileştirebilecek araçlardan mahrum bırakmaktadır.

Su güvenliği kritik olan topluluklar için altyapı kırılganlığının bedeli sadece maddi değil, aynı zamanda varoluşsalıdır. Bakış açımızı ve ilgi odağımızı "akıllı su"dan "dayanıklı su"ya kaydırarak hem altyapımızı hem de ona bağımlı toplulukları koruyan bir sosyal güvenlik ağı oluşturmak için yapay zekâdan yararlanabiliriz.

7.1.Kırılganlığın Maliyeti Yüksektir

Su sektörü, yaşlanan altyapı, iklim değişikliği ve emekli olan işgücü gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Cambridge Prisms: Water'da 2023 yılında yayımlanan bir inceleme, dayanıklılığın artık "sosyal-ekolojik-teknik" bir bakış açısıyla ele alınması gerektiğini ve dijital tehlikelerin ve fiziksel arızaların marjinalleştirilmiş toplulukları orantısız bir şekilde etkilediğini vurgulamaktadır (Sinha vd., 2023).

Bir ana boru kırıldığında veya bir pompa arızalandığında, daha varlıklı bölgeler genellikle şoku absorbe edebilecek yeterli dayanıklılığa sahiptir. Buna karşılık, kaynakları yetersiz olan işletmeler, yedekleme için bütçeye veya hızlı manuel müdahale için personele sahip olmayabilir. Sonuç olarak, savunmasız toplulukları daha çok etkileyen uzun süreli kesintiler veya su kalitesi sorunları yaşanır.

Ayrıca, su işgücünün "yaşlanması" tehlikeli bir bilgi boşluğu yaratmaktadır. Kıdemli operatörler

emekli olurken, yanlarında on yıllar içinde oluşmuş kurumsal hafızayı da götürürler. Bu uzmanlığın dijital olarak kaydedilmemesi durumunda, su şebekeleri "tahminlere" dayalı olarak çalışmak zorunda kalır; bu da maliyetleri artıran verimsizliklere yol açar ve bu maliyetler nihayetinde en az karşılayabilecek durumda olan abonelere yansıtılır.

7.2.Eski Teknolojilerin Yerine Yapay Zeka Tabanlı Teknolojiler

Su şebekelerinin modernizasyonu için standart yol haritası değişiyor. Verileri yerel sunuculara kilitleyen, tek bir tedarikçiye bağlı olan ve şebekelerin giderek daha fazla ihtiyaç duyduğu modern araçlarla sınırlı şekilde birlikte çalışabilirlik sunan pahalı SCADA sistemleri kurmak artık tek yol olarak görülmemektedir. Birçok gelişmekte olan ülke sabit hatları atlayarak mobil telefonları benimsediği gibi, su sistemleri de artık ağır eski yatırımlardan kaçınarak esnek, yapay zekâ tabanlı araçları tercih edebilir.

Sabit hatlı telefon benzetmesi, sadece bir deyimden ibaret değildir. Sabit hatlı telefonlar gibi, SCADA da kendi döneminde dikkat çekici bir ilerlemeydi ve özellikle temel denetim kontrolü için birçok kamu hizmetinde hâlâ bir rolü vardır. Ancak, zekanın bir kontrol odasında yaşadığı, entegrasyonların her proje için özel olarak inşa edildiği ve "akıllı"nın yanıp sönen ışıklı bir ekran anlamına geldiği geçmişteki bir dünya için tasarlanmıştı. Yapay zekâ çağında dayanıklı bir kamu hizmeti için beklentiler daha yüksektir.

Bugün artık yerel dirençli bulut tabanlı mimariler, SCADA, varlık yönetimi, hidrolik modeller ve müşteri sistemleri arasında serbestçe hareket eden, birlikte çalışabilir veri akışları ve operatöre ham sinyalleri yüklemek yerine analizleri yapan karar destek sistemleri öne çıkmıştır.

SCADA'nın iyi yaptığı şeyleri kabul etmek, onu mümkün olanın en iyisi olarak kabul etmekle aynı şey değildir.

Kentsel su yönetiminde "teknolojik sıçrama" üzerine yapılan araştırmalar, gelişmekte olan ekonomilerin ve küçük belediyelerin, geleneksel merkezi modellerin batık maliyetleri olmadan doğrudan merkezi olmayan, akıllı sistemlere geçiş yapabileceğini göstermektedir (Binz vd., 2012).

Örneğin, az veya hiç özel kodlama gerektirmeyen yazılım platformları, kamu hizmeti şirketlerinin veri bilimcilerinden oluşan bir ekip kurmadan gelişmiş sızıntı tespiti ve basınç yönetimi sistemlerini devreye almalarına olanak tanır. Uygun fiyatlı bağlantılı sensörler ve bulut tabanlı analiz kullanarak, kamu hizmeti veren bir kurum daha önce büyük metropol alanlarına özgü olduğu düşünülen bir operasyonel gelişmişlik seviyesine ulaşabilir; bu metropol alanlarının bazılarının da SCADA sistemlerinden tam olarak fayda görmediği görülmektedir. Büyük kamu hizmeti şirketleri genellikle, analiz ve yorumlamaları manuel olarak yapmalarını gerektiren eski tip izleme çözümlerinden elde edilen ham verilerle boğuşmaktadır. Teknolojiye daha geniş erişim, eşitlik için çok önemlidir; yüksek kaliteli su hizmetinin yalnızca zenginlerin ayrıcalığı olmamasını sağlar (Dhanasekar A. and Bozeyeh B. 2026) .

8.Güvenlik Ağında Pasif Gösterge Panellerinden Ajanik Yapay Zekâya Doğru Yöneliş

Gerçekten bir güvenlik ağı oluşturmak için, pasif izlemenin ötesine geçmeliyiz. Sadece kırmızı yanıp sönen ışıkları gösteren gösterge panelleri, bunları yorumlayacak kimse yoksa yetersizdir.

Gelecek, sadece anormallikleri tespit etmekle kalmayıp, bunları çözmek için otonom olarak hareket edebilen sistemler olan "Ajanik Yapay Zekâ"da yatmaktadır.

Düşük gelirli bir mahalledeki hassas bir boru şebekesini tehdit eden ani bir basınç artışı ele alalım. Geleneksel bir sistem, saatler sonra durumu gören, aşırı yüklenmiş bir operatöre alarm gönderebilir. Ancak bir ajanlı yapay zekâ sistemi olayı gerçek zamanlı olarak algılayabilir ve uygun koruyucu tepkiyi tetikleyebilir: etkilenen bölgeyi izole etmek, nöbetçi bir ekibi uyarmak veya hava tankları veya emniyet valfleri gibi önceden tasarlanmış ani basınç artışı korumasını devreye sokmak. Bu ayrım önemlidir: gerçek hidrolik geçişler, milisaniyeler mertebesinde, herhangi bir kontrol vanasının harekete geçirebileceğinden daha hızlı, akustik dalga hızlarında yayılır ve ani bir vana hareketi kendi başına hasar verici bir dalgalanmaya neden olabilir (Ghidaoui vd., 2005). Bu nedenle, su darbesini azaltmak, olayı tespit etmek ve amaca yönelik olarak tasarlanmış korumayı devreye sokmak meselesidir. Burada amaç dalgayı gerçek zamanlı olarak bir vana ile kontrol etmek değildir.

Burada "Otonom" kelimesi üzerinde durmakta fayda vardır, çünkü bu, kamu hizmetlerini en çok rahatsız eden kısımdır. Ajan tabanlı yapay zekâ, denetimsiz yapay zekâ anlamına gelmez. İyi tasarlanmış uygulamalarda operatör, her türlü önemli eylemde süreçte yer alır: Sistem bir değişiklik önerir, detaylandırır veya aşamalandırır . Bu uygulanmadan önce bir insan tarafından onaylanır. Yapay zekâ hızı ve ölçeği yönetir; insanlar ise değerlendirmeyi ve yetkiyi ellerinde tutar. Bu şekilde çerçevelendiğinde, "özerklik" insanları süreçten çıkarmaktan ziyade, onları zaman alıcı rutin işlerden kurtararak gerçekten ihtiyaç duyulan kararlara odaklanmalarını sağlar (Dhanasekar A. and Bozeyeh B. 2026) .

Ayrıca, kamu hizmetleri veren kurumların statik bir kontrol panelinden doğrudan tamamen ajan tabanlı bir sisteme geçmeleri gerekmez. Faydalı bir ara katman vardır: mevcut verilerin üzerine oturan ve bir operatörün basit bir dille "4. Bölgedeki akış neden gece boyunca düştü?" diye sormasına ve SCADA, hidrolik modeller ve iş emri geçmişinden elde edilen sentezlenmiş bir yanıt almasına olanak tanıyan yapay zekâ asistanları ve sohbet robotları bu konuda faydalı olabilir.

Tahmin modelleri, anomali tespiti ve CCTV boru görüntülerinin otomatik görüntü analizi de benzer kazanımlar sunar. Bu ara adımların kurum içinde uygulanması daha kolaydır, personele teknolojiye güven oluşturma şansı verir ve nihai olarak ajan kontrolüne geçme adımını çok daha az çekinceli hale getirir.

Bu yetenek, dijital dayanıklılığı; bilgi sistemlerinin yalnızca şokları tespit etme değil, aynı zamanda "büyük sorunları göğüsleme" ve hizmet seviyelerini yeniden sağlama becerisi olarak tanımlayan güncel bulgularla desteklenmektedir (Sinha ve diğerleri, 2023). Bu sistem, güvenlik kontrollerini otomatikleştirerek insan operatörlerin müşteri hizmetleri ve topluluk etkileşimi gibi empati ve muhakeme gerektiren karmaşık ve yüksek değerli görevlere odaklanmalarına olanak tanır.

9.Geleceğin İşgücünün Özellikleri ve Yapay Zeka

Eleştirmenler sıklıkla yapay zekânın işlerin yerini alacağından endişe ederler. Ancak işgücü açığının yaşandığı bir ortamda yapay zekâ bir ikame aracı değil; sınırlı sayıdaki işgücünün daha fazlasını başarmasına yardımcı olan bir unsurdur. Su sektöründeki işgücüne dair bir çalışma, yapay zekayı benimsemenin; dijital araçlarla büyüyen yeni nesil yetenekleri sektöre çekmek ve

kurumsal bilgiyi korumak açısından hayati önem taşıdığını vurgulamaktadır (Smart Cities Dive, 2025).

Colorado Eyalet Üniversitesi gibi kurumlarda halihazırda yürütülen çalışmalarla gelecek nesil çevre mühendisleri için müfredat hazırlarken, yalnızca kod yazmayı öğretmiyoruz. Aynı zamanda bir korumacılık bilinci aşıyoruz. **"2030'un Mühendisi"** iş süreci modelleme ve veri bilimini anlamalı, ancak bunun yanı sıra halk sağlığının koruyucusu olarak üstlendiği rolü de kavramalıdır. Yapay zeka araçları, genç mühendislerin kariyerlerinin daha erken aşamalarında güvenli ve bilinçli kararlar almalarını sağlayan bir "dijital mentorluk" sunar.

10 Su Sorunlarının Çözümü için Yenilikçi Yaklaşım Gerekli

21. yüzyılın su sorunlarını 20. yüzyılın araçlarıyla çözemeyiz. Eğer yapay zekâyı yalnızca verimlilik sağlayan bir lüks olarak görürsek, su kaynakları bakımından zengin ve fakir olanlar arasındaki uçurumu derinleştiririz. Ancak onu; teknolojik sıçramaya olanak tanıyan, koruma süreçlerini otomatikleştiren ve işgücünü güçlendiren bir dayanıklılık aracı olarak kullanırsak, güvenilir ve uygun maliyetli suya erişimin her toplum için garanti altına alınmış bir hak olmasını sağlayabiliriz.

Somut olarak, tarif ettiğimiz dayanıklı altyapı sistemi ;

- Yerel bir sunucu arızalandığında bile çalışmaya devam eden, bulut tabanlı analiz sistemleri
- Sızıntıyı müşteriden önce tespit edebilecek kadar yoğun bir sensör ağı
- SCADA, varlık yönetimi, hidrolik modeller ve müşteri faturalandırma sistemlerinin aynı dili konuşmasını sağlayan bir veri katmanı
- Basınç dalgalanmalarını saniyeler içinde tespit eden ve onaylama ya da müdahale etme (geçersiz kılma) seçeneğiyle birlikte, nöbetçi operatöre hangi işlemin yapılması gerektiğini bildiren bir yapay zeka
- Sistemi sade bir dille sorgulama konusunda rahat bir iş gücü

Bu noktaya ulaşmak nadiren tek seferlik, çok katmanlı ve devasa bir proje ile gerçekleşir. Deneyimlerimize göre süreç genellikle bir pilot uygulamayla (gelir getirmeyen su, sızıntı tespiti veya basınç yönetimi yaygın başlangıç noktalarıdır) başlar. Güven ile yetkinlik arttıkça kapsam genişler. Burada amaç her şeyi bir anda dijitalleştirmek değil, somut ve güvenilir bir ilk başarı elde edip bunun üzerine yenilerini inşa etmek olmalıdır.

Bu ilk başarının gerektirdikleri, çevresindeki teknolojinin çağrıştırdığı kadar karmaşık veya sıra dışı şeyler değildir. Çoğu altyapı kurumu halihazırda gerekli hammaddeye sahiptir: yıllara dayanan SCADA geçmişi, faturalandırma kayıtları, en azından kabaca doğru veriler sunan bir CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ve bölge düzeyinde ölçümleme imkânı. İlk aşamadaki iş, mutlaka yeni donanım satın almak değil; mevcut verileri güvenilir hale getirmek ve bunların çapraz kontrolden geçirilebileceği bir yapıya kavuşturmadır. Kendi su dengesini henüz çözümleyememiş bir kurum, algoritma ne kadar gelişmiş olursa olsun, o algoritmanın çıktılarına göre hareket etmekte zorlanacaktır (Dhanasekar A. and Bozeyeh B. 2026) .

Bundan sonra, araç seçiminden ziyade yapılacak işlemlerin sırası önem kazanır. Daha akıllı uyarı

retme yöntemlerine yatırım yapmadan önce, bir uyarı tetiklendiğinde neler olacağını (uyarını kimin aldığı, ilgili varlığa ne kadar hızlı ulaşabildiği ve onarım sresinin ölçülüp ölçülmediği gibi hususlar) netleştirmek gerekir. Sistemi bizzat kullanacak operatörler sürece erkenden dahil edilmeli ve onlara sistemi geçersiz kılma yetkisi verilmelidir. Çünkü bir araç ancak onu kullananlar ona güvendiğinde etkili hizmet üretilir. Bu güven de eğitim ve bizzat sistemi kontrol etme imknıyla kazanılır.

Sistemin tek başına neler yapabildiğini sormakla kalmayıp, aynı zamanda yıllar sonra bile verilerini SCADA, hidrolik model ve faturalandırma sistemlerinle paylaşmayı planlayıp planlamayacağını da sorgulamak gerekir. Bu adımların her biri bir sonrakine zemin hazırlar; işte bu nedenle, bu hedefe ulaşan kurumlar genellikle işe küçük başlamış ve sabırlı davrananlardır. Dijital ağda su adaleti çok sağlam bir şekilde kurulmalıdır. Su yönetiminde gerçek bir sosyal güvenlik ağı işlevi görececek bir dijital altyapı inşa edilmelidir.



BÖLÜM 4

YAPAY ZEKÂNIN SU SEKTÖRÜNDEKİ İŞGÜCÜNE ETKİSİ VE TOPLUMSAL FAYDA HEDEFİ

11. Yapay Zekânın Su Sektöründeki İşgücüne Etkisi

Su sektörü, krizlerin arttığı bir dönemle karşı karşıya. Bir yanda, su ve atık su hizmeti sunan kuruluşların işgücünün tahminen %30 ila %50'sinin önümüzdeki on yıl içinde emekli olması ve beraberinde yeri doldurulamaz bir kurumsal bilgi birikimini götürmesi bekleniyor (Davenport, M. A., et al., 2018). Diğer yandan ise yapay zekâ (YZ) artık bir gelecek teknolojisi değil; günümüzde gerçek zamanlı sızıntı tespiti, enerji optimizasyonu ve kestirimci bakım süreçlerinde aktif olarak kullanılıyor (Xenochristou, M., Hutton, C., Hofman, J., & Kapelan, Z. 2020). Bu iki güç, tam da hizmet sağlayıcıların operasyonel aksaklıkları göze alamayacağı bir anda karşı karşıya geliyor.

Temel tez oldukça açık: Yapay zekâ bu işgücü açığını kapatabilecek tek araç olabilir; ancak bu, yalnızca hizmet sağlayıcıların, işgücü eğitimini yazılım tedariki kadar önemli gören bir "İnsan Döngüde" (Human-in-the-Loop - HITL) stratejisini benimsemesi durumunda mümkündür (Dhanasekar A., Meeker M., Karmous-Edwards G. 2026).

11.1.İşgücü Açısından Zorluk Noktaları

Güven açığı. Tesisleri onlarca yıldır yöneten deneyimli operatörlerin, on yıllara dayanan "sezgisel deneyimleriyle" çelişen algoritmalara şüpheyle yaklaşımları son derece doğaldır. Yapay zekânın anlaşılır bir gerekçe sunmadan çıktılar ürettiği bu "kara kutu" sorunu, güveni zayıflatmakta ve direnci pekiştirmektedir (Amershi, S., Cakmak, M., Knox, W. B., & Kulesza, T., 2014). Yapay zekânın kontrol odasında kendine yer edinebilmesi için, sunduğu önerilerin şeffaf ve açıklanabilir olması ve sahadaki operasyonel deneyimlerle doğrulanması gerekmektedir.

11.2.Beceri Uyumsuzluğu. Operatörün rolü, manuel örnekleme ve uygulamalı incelemelerden, yapay zekâ destekli gösterge panellerini yorumlamaya, dijital ikizleri yönetmeye ve otomatik uyarıları doğrulamaya doğru kayıyor. Bu bir evrim, bir gerileme değil. Ancak bu, yalnızca yazılım lisanslarına değil, dijital okuryazarlığa da yatırım gerektiriyor.

Eski veriler ve eski zihniyetler. Parçalanmış veri siloları, parçalanmış organizasyonel kültürleri yansıtıyor. Yaşlanan SCADA sistemleri, bağlantısız varlık yönetim platformları ve silolanmış departman veri kümeleri, yapay zekâ başarısızlığı için verimli bir zemin oluşturuyor.4 Veri yönetimi olmadan, en gelişmiş model bile güvenilir çıkıtlar üretecek ve operatör şüpheciliğini daha da pekiştirecektir(Dhanasekar A., Meeker M., Karmous-EdwardsG. 2026)

11.3.Bir İş Gücü Katalizörü Olarak Yapay Zeka

Bilinçli kullanıldığında yapay zekâ operatörlerin yerini almamakta , onları güçlendirmektedir. Burada üç uygulama öne çıkmaktadır.

Kurumsal bilginin arşivlenmesi. Büyük Dil Modelleri (LLM'ler), kıdemli operatörlerin emekli olmadan önce sahip oldukları "yazılı olmayan kuralları" kodlamak için etkileyici bir mekanizma sunuyor. Sistemik olarak sezgisel yöntemleri, alarm yorumlarını ve sorun giderme mantığını yapılandırılmış bilgi tabanlarına belgeleyerek, kamu hizmetleri, hiçbir işletme kılavuzunun yakalayamadığı uzmanlığı koruyabilir. Buna bir örnek, “WWJD - Klor” olarak bilinen bir GPT'dir. Kırsal ve küçük su sistemi operatörleri için bu özel uzman asistanı, deneyimli bir kırsal su mühendisi olan Jerry'den esinlenerek modellenmiştir . Bu asistan klor dozlaması, kalıntı izleme, mevsimsel etkiler, dezenfeksiyon yan ürünü (DBP) kontrolü, ekipman sorun giderme ve mevzuat uyumluluğu konusunda net, deneyime dayalı tavsiyeler sunmaktadır (GenAI as a Catalyst for Water Sector Transformation, 2025)

Su dağıtım sistemlerinde hattın durum değerlendirmesi için otomatik CCTV analizi gibi yapay zekâ destekli denetim araçları, genç personelin daha yüksek bir seviyede daha hızlı performans göstermesine olanak tanır (Xenochristou, M., Hutton, C., Hofman, J., & Kapelan, Z. 2020). Bu, su sektörünü teknolojiye yatkın bir nesil için daha çekici hale getirir ve tarihsel olarak erken kariyer mühendislerini caydıran öğrenme eğrisini kısaltır. Houston Şehri, düzenleyici çerçeveleri, planlama belgelerini ve operasyonel veri kümelerini barındırmak için yerel bir LLM (Yerel Yönetim Modülü) olan WaterGPT'yi geliştirdi. Bu güvenli, diyalog tabanlı platform, kamu hizmeti personeline karmaşık düzenleyici ve mühendislik bilgilerine hızlı erişim sağlar ve sermaye planlaması, risk yönetimi ve operasyon verimliliği için veri odaklı analizleri destekler (Zanfei, A., Menapace, A., Brentan, B. M., Luvizotto, E., & Righetti, M., 2022).

Kodsuz ve düşük kodlu yapay zekâ platformlarının yükselişi, kamu hizmetlerinde -veri bilimi diplomasına sahip olmayan operatörlerin ve mühendislerin- çalışmasını mümkün kılmaktadır.. Bu durum, yapay zekâ sahipliğini izole edilmiş bir BT işlevinden, alan uzmanlığının bulunduğu ön saflardaki iş gücüne kaydırmaktadır. ABD’de bir kasaba, elle yazılmış su kalitesi kayıtlarının aylık olarak yeniden yazılmasını ortadan kaldırmak için OCR Log Test Data Analyzer adlı kodsuz bir OpenAI (kurumsal) GPT oluşturmuştur. Personel, günlük formların resimlerini veya taramalarını GPT'ye yükleyebilmektedir. OCR, verileri ayıklayıp birleştirip yapılandırılmış Excel sayfalarına aktarmaktadır. Bu altyapı personele, trendler ve karşılaştırmalarla ilgili sorular sorabilme imkânı tanımaktadır . Bu yeni süreç zaman kazandırmakta, daha az hata ve tekrara yol açmakta ve gerçek zamanlı temel analizlere olanak (Xenochristou, M., Hutton, C., Hofman, J., & Kapelan, Z. 2020).

12.İnovasyon Merkezi Modeli

Eğitim açığını kapatmanın en umut verici yaklaşımlarından biri, işbirlikçi inovasyon merkezidir: kamu hizmeti personelinin operasyonel risk olmadan yeni teknolojileri denediği özel bir ortam. Yapay zekâ araçlarına, dijital ikiz simülasyonlarına ve gerçek zamanlı sensör analizlerine uygulamalı olarak maruz kalmak, çalışanların güvenli bir ortamda başarısızlık yoluyla öğrenerek, yinelemeli olarak güven kazanmalarını sağlar. Bu merkezler, çoğu kamu hizmeti kuruluşunun tek başına kuramayacağı bir "eğitim platformu" sunar.

Model en verimli şekilde ortaklık olarak işler. Mühendislik danışmanları teknik detay ve uygulama deneyimi sağlarken; kâr amacı gütmeyen kurumlar ve akademik ortaklar araştırma altyapısı ve pedagojik çerçeveler sağlarlar. Bu işbirliği, en son yapay zekâ araştırmalarını eyleme geçirilebilir, sahada hazır becerilere dönüştürebilir; bu, hiçbir tarafın tek başına sağlayamayacağı

bir yetenektir.

Gelişmiş ülkelerin su kaynaklarını yönetme biçimlerinde sessiz ama kritik bir değişim yaşanıyor. The Water Tower gibi kuruluşlar, ülke ölçeğinde kamu hizmeti kuruluşları için destek sistemleri tasarlayarak, yapay zekâ inovasyon merkezlerinin temelini atıyor. Bu geçişi sağlamak öncelikle eğitimle başlamalıdır. Colorado Eyalet Üniversitesi İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından sunulan yeni ders olan "Çevre Mühendisliği Uygulamalarında Yapay Zekânın Kullanımı", tam olarak bu öncül üzerine kurulmuştur. Amaç, sektörün istikrarlı bir şekilde gelişmesine yardımcı olmak için teknik terimleri bir kenara bırakarak, profesyonelleri yapay zekâ odaklı bir gelecekte yol alabilmek için gereken pratik, uygulamalı becerilerle donatmaktır (Dhanasekar A., Meeker M., Karmous-Edwards G. 2026)

13.Kamu Yöneticileri İçin Uygulanabilir Yol Haritası

Bir yapay zeka platformunu satın almadan önce, üç temel önceliğe yatırım yapılmalıdır. Öncelikle dijital okuryazarlığa yatırım yapılmalıdır. Her operatör, yapay zekânın neler yapabileceğini ve neler yapamayacağını, eğitim verilerinin model çıktıları nasıl şekillendirdiğini ve algoritmik karar vermenin etik sonuçlarını anlamalıdır (Amershi, S., Cakmak, M., Knox, W. B., & Kulesza, T., 2014). Bu isteğe bağlı değildir; sorumlu uygulama için bir ön koşuldur.

Çapraz eğitim teşvik edilmelidir. Ücretlendirme yapıları, sertifikasyon programları veya ilerleme yolları aracılığıyla dijital yetkinlik geliştiren operatörler resmi olarak ödüllendirilmelidir. Dijital ikiz modellerini yönetmek veya yapay zekâ destekli CCTV incelemelerini yorumlamak gibi beceriler, profesyonel kilometre taşları olarak kabul edilmelidir.

Şeffaf bir yönetim anlayışı oluşturulmalıdır. Yapay zekâ çıktılarının operasyonel kararları nasıl bilgilendirdiği, kimin hesap verebileceği ve hataların nasıl inceleneceği açıkça tanımlanmalıdır. HITL yönetim çerçeveleri, otomasyonun insan yargısını ortadan kaldırmak yerine geliştirmesini sağlayacaktır.³ **İnsan, bir formalite olarak değil, kamu sağlığı altyapısı için yapısal bir güvence olarak döngüde kalmalıdır.**

14.Su Yönetiminde Yapay Zeka Tabanlı Bir Sisteme Geçişin Toplumsal Fayda Hedefi

Hedef, otonom bir su arıtma tesisi değildir. Bu, hizmet verdikleri topluluklar için su eşitliğini, dayanıklılığını ve güvenliğini sağlamak amacıyla yapay zekâyı kullanan, yetkilendirilmiş bir iş gücüdür. Mevcut yapay zekâ patlaması, su sektörünü, boş pozisyonları doldurmakta zorlanan yaşanan bir sektör olarak değil, gelecek neslin mühendisleri, veri analistleri ve problem çözücüleri için yüksek teknolojili, misyon odaklı bir kariyer yolu olarak yeniden şekillendirmek için olağanüstü bir fırsattır. Bu yeniden markalaşma, bir eğitim bütçesiyle başlar (Dhanasekar A., Meeker M., Karmous-Edwards G. 2026).

Su yönetiminde yapay zekâ kullanımının toplumsal ve sosyal fayda hedefi mutlaka olmalıdır. Yapay zekâ su yönetimini daha akıllı hale getirebilir. Ancak onu daha adil hale getirmek, teknolojinin değil, insanın ,sosyal devlet anlayışının ve kamu politikalarının sorumluluğudur. Su yönetiminde yapay zekânın başarısı yalnızca ne kadar su tasarrufu sağladığıyla değil, suya erişimdeki adaletsizliği ne kadar azalttığıyla da ölçülmelidir.

14.1.Yapay Zekâ Su Konusunda İnsan Haklarını Gözetir Mi?

Su; yaşamsal olması,talebinin sürekli olması ve yerine başka bir kaynağın ikame edilememesi gibi nedenlerle vazgeçilmez, temel bir insan hakkıdır. Buna rağmen, sosyoekonomik eşitsizlikler, iklim değişikliği ve hızlı kentleşme nedeniyle dünya genelinde milyonlarca insan temiz suya erişimde ciddi zorluklarla karşılaşmaktadır. Su yönetimine yapay zekânın entegre edilmesi, su dağıtım sistemlerinin verimliliğini ve etkinliğini artırmak adına umut verici fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu durum, özellikle suya adil erişim ve insan haklarının gözetilmesi konularında kritik etik hususları da beraberinde getirmektedir. Etik su yönetimi; yoksul ve savunmasız kesimlere ve dezavantajlı topluluklara öncelik verir. Oysa yapay zekâ destekli su yönetimi, istemeden de olsa başka alanlara öncelik vererek su güvenliği konusundaki eşitsizlikleri derinleştirme riski taşıyabilir. Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'nun "Su ve sanitasyon hakkı"na ilişkin kararı uyarınca, temiz suya ve sanitasyon erişimi; sağlık, yeterli yaşam standartları ve kalkınma gibi diğer insan haklarının ayrılmaz bir parçası olan temel bir insan hakkı olarak açıkça tanınmıştır. Bu tanıma, su yönetimi uygulamalarında yapay zekâ kullanımına dair etik yaklaşımları şekillendirmektedir. Yapay zeka teknolojileri; öngörücü analitik, akıllı sayaç sistemleri ve gerçek zamanlı izleme yöntemleri aracılığıyla su kaynakları yönetimini optimize edebilir; böylece suya erişimi ve su dağıtımını iyileştirebilir.

Dünya Sağlık Örgütü ve BM raporları, iki milyardan fazla insanın güvenli bir şekilde yönetilen içme suyu hizmetlerine erişimden yoksun olduğuna dikkat çekmektedir . Yapay zekâ destekli sistemler; su kıtlığını öngörerek, sızıntıları tespit ederek ve dağıtım ağlarını iyileştirerek bu açığı gidermekte faydalı olabilir. Ancak, özellikle büyük kentlerde su adaleti ve yeterli, kaliteli suya erişim konusundaki eşitsizlikler artmaktadır.

14.1.1.Sınıfsal Eşitsizlik Sorunu

Suya erişimdeki eşitsizlik, yalnızca coğrafi veya teknik bir sorun değil, aynı zamanda belirgin bir **sınıfsal eşitsizlik** meselesidir.Bu nedenle su yoksulluğu yalnızca “yeterli suyun bulunmaması” değil, insanların gelirleri, yaşadıkları yer ve altyapıya erişim olanakları nedeniyle güvenli suya ulaşamaması olarak da ele alınmalıdır.

İklim değişikliği ve kuraklık dönemlerinde bu eşitsizlik daha görünür hale gelir: su kıtlığı herkesi etkiler, fakat maliyeti toplumun farklı kesimleri arasında eşit dağılmaz. Bu açıdan su adaleti, suyun yalnızca ekonomik bir kaynak olarak değil, temel bir insan hakkı ve sosyal politika konusu olarak yönetilmesini gerektirir.

Megakentlerde su adaleti için suyu herkesin eşit koşullarda yararlanması gereken temel bir kentsel hizmet ve insan hakkı olarak görmeliyiz.Çünkü büyük kentlerde sorun çoğu zaman yalnızca suyun fiziksel kıtlığı değildir; kimin güvenli suya, hangi kalitede, ne kadar kesintisiz ve hangi maliyetle ulaşabildiğidir. BM raporlarında çarpık,plansız ve hızlı kentleşmeyle birlikte su geriliminin eşitsizlikle giderek daha fazla iç içe geçtiği belirtilmektedir.

Bu eşitsizliklerin pekiştirilmesini önlemek için , bu teknolojilerin hayata geçirilmesinde etik hususlar esas alınmalıdır. Dezavantajlı topluluklar sıklıkla, yapay zekâ alanındaki gelişmelerden yararlanma becerilerini kısıtlayabilen ve yoksunluk döngülerini sürdüren dijital uçurumlarla karşı karşıya kalmaktadır.

14.1.2.Yapay Zekâdan Yararlanmanın Etik Boyutu

Ayrıca, yapay zekânın veriye dayalı yapısı, gizlilik ve veri güvenliği konularında endişelere yol açmaktadır. Su yönetimini optimize etmek amacıyla büyük miktarda verinin toplanması ve

kullanılması süreçlerinde; şeffaflık, rıza ve kötüye kullanıma karşı koruma ilkelerine riayet edilmelidir. Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü'nde (Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi, 2018) vurgulandığı üzere, veri işleme uygulamaları bireylerin hak ve özgürlüklerini ön planda tutmalı; böylece veriye dayalı su yönetiminin kullanıcı gizliliğine ve rızasına saygı göstermesi sağlanmalıdır. Dahası, AB Yapay Zeka Yasası, "risk temelli bir yaklaşım"a dayalı sınıflandırma sistemi çerçevesinde yapay zeka sistemlerinin kullanımı ve sunulmasına ilişkin ortak bir düzenleme çerçevesi oluşturmuştur.

İnsanların güvenliği ve temel haklarıyla ilgili risklere bağlı olarak, yapay zekâ sistemlerinin gelişmesi kontrol altına alınabilir, veya kullanımı bazı yükümlülüklerle tabi tutulabilir. Sınırlı risk taşısa bile şeffaflıktan yoksun olan yapay zekâ sistemleri dahi, bilgi ve şeffaflık gerekliliklerine tabi olacaktır (Avrupa Komisyonu, 2024). Kritik altyapı alanlarında veya temel hizmetlere erişim konusunda karar alma süreçlerini içeren yapay zekâ uygulamaları, yüksek riskli sistemler olarak sınıflandırılabilir. Bu nedenle söz konusu sistemler; risk yönetimi, veri yönetimi ve kalitesi, kayıt altına alma ve üçüncü taraf uygunluk değerlendirmelerini içeren denetim gerekliliklerine tabi olabilir. Su yönetiminde yapay zekâdan yararlanmanın etik boyutu, yalnızca verimlilik kazanımlarının ötesine uzanmaktadır. Tüm bireylerin suya erişim hakkının korunmasını sağlamak adına, yapay zekâ uygulamaları kapsayıcılık, şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkeleri doğrultusunda yürütülmelidir. Bu süreç; çeşitli toplulukların ihtiyaç ve bakış açılarının dikkate alınmasını, yapay zekâ algoritmalarının doğasında var olabilecek potansiyel önyargıların hafifletilmesini ve karar alma süreci boyunca paydaşların anlamlı bir şekilde sürece dahil edilmesini gerektirir.

14.1.3.Yapay Zekâ Kendiliğinden Su Hakkını Ve Su Adaletini Gözetmez

Yapay zekâ , su kaynaklarının daha verimli, şeffaf ve adil yönetilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak **yapay zekâ kendiliğinden su hakkını ve su adaletini gözetmez**. Bu, kullanılan verilerin niteliğine, algoritmaların tasarımına ve su yönetimindeki politik tercihlere bağlıdır.

Yapay zekâ destekli su yönetimi sistemleri yalnızca ekonomik verimlilik ve maliyet optimizasyonunu esas alırsa, düşük gelirli kesimlerin, kırsal toplulukların ve kırılgan grupların suya erişimindeki eşitsizlikleri derinleştirebilir.

Bu nedenle su yönetiminde yapay zekâ uygulamaları; **Su Hakkı** ilkesini temel almalı,**su adaleti** ve toplumsal eşitliği gözetmeli, algoritmik şeffaflık, kamu denetimi ve hesap verebilirlik sağlamalı, su tahsisinde dezavantajlı grupları korumalıdır.

Sonuç olarak, yapay zekâ su yönetimini daha akıllı hale getirebilir. Ancak onu daha adil hale getirmek, teknolojinin değil, insanın ,sosyal devlet anlayışının ve kamu politikalarının sorumluluğudur.

Su yönetiminde yapay zekânın başarısı yalnızca ne kadar su tasarrufu sağladığıyla değil, suya erişimdeki adaletsizliği ne kadar azalttığıyla da ölçülmelidir.

BÖLÜM 5

TÜRKİYE’DE BÜTÜNLEŞİK SU YÖNETİMİNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM VE YAPAY ZEKA

15.Türkiye’de Su Yönetiminde Dijital Dönüşüm

Günümüzde su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için iş ve dijital ekosistemin geliştirilmesi, dijital ikiz, sistemlerin sistemi, Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ, makine öğrenmesi, büyük veri ve uzaktan algılama gibi ileri teknolojilerle desteklenen, gerçek zamanlı karar destek altyapılarına sahip entegre akıllı su sistemleri büyük önem taşımaktadır. Bu sistemler, suyun kaynaktan son kullanıcıya kadar verimli kullanılmasını sağlarken, sızıntı ve kayıpları en aza indirerek su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda, su kalitesinin izlenmesi ile kirlenme riskleri önceden tespit edilerek gerekli müdahaleler zamanında yapılabilmektedir. Gerçek zamanlı verilerle su yönetiminde hızlı ve etkin kararlar alınmasını sağlayan bu sistemler, güvenli içme suyu temininde kritik bir rol oynarken, aynı zamanda su kaynaklarının kullanımında akılcı bir yaklaşım sunarak su temininde kalite ve verimliliğin artırılmasına önemli katkı sağlamaktadır. Mevcut durumda, bütüncül su yönetimi kapsamında su kaynaklarının miktar ve kalitesi değerlendirilmekle birlikte, planlanan tedbirlerin hukuki, idari ve sosyoekonomik etkilerinin öngörülmesi amacıyla, akıllı su yönetimi ve su kaynakları modellerine dayalı yönetim politikalar belirlenirken; tedbir, teşvik ve yaptırım, gibi araçların uygulanabilirliğinin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda, sistem ve modellerin sağlam temellere dayanması ve hataların minimize edilmesi amacıyla veri altyapısının kurulması, saha çalışmaları ile verilerin üretilmesi, izlenmesi ve karar destek sistemlerinin oluşturulması gerekmektedir. Su kullanımında ölçüm ve takip sistemlerindeki yetersizlikler mevcuttur ve farklı yapılarda teşkilatlanmış kurumların veri üretimi, paylaşımı ve standardizasyonu konularında iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Su yönetiminde bilgi sistemlerinin etkinliğinin artırılması maksadıyla gerçek zamanlı izleme sistemlerinin yaygınlaştırılması, veri paylaşımı ve iş birliğinin artırılması, personel, teknik ve donanımsal altyapılar açısından kurum ve kuruluşların kapasitelerinin artırılması, suya ilişkin verilerin ortak bir yapı altında bütünleşik olarak değerlendirilmesi ve bu süreçte su yönetim sistemlerinden elde edilen verilerin iletimi sırasında siber güvenlik kriterlerinin belirlenerek veri güvenliğinin sağlanması önem arz etmektedir.

15.1.Bilgi Sistemleri

Su kaynaklarının etkin yönetimi ve sürdürülebilir kullanımı için bilgi sistemleri hem son kullanıcı hem de yönetim açısından önemli bir araçtır. Bu sistemler; su miktarı, su kalitesi, biyolojik çeşitlilik ve su kullanımıyla ilgili verileri toplayarak, bilimsel temellere dayalı karar alma süreçlerini destekleyen bütüncül bir veri ve analiz platformu sunmaktadır. İklim verileri, modeller ve uzaktan algılama teknolojileriyle entegre çalışarak su yönetiminde verimliliği artırmakta ve kuraklık ile taşkın gibi risklere karşı tahmin ve erken uyarı mekanizmaları

sağlamaktadır. Akıllı su yönetimi sistemleri, su kaynaklarına ilişkin düzenli ve güncel veri temini, teknolojik entegrasyonun ve dijital dönüşümün sağlanması, depolama analitik alt yapının oluşturulması, akıllı sistemler marifetiyle paydaşlar arasında veri paylaşımının ve karar mekanizmalarının desteklenmesi gibi ihtiyaçlara cevap vermektedir.

Su yönetiminde dijitalleşme sürecinde, mevcut ve planlanan sistemlerin birleştirilerek ulusal su sistemlerinin sisteminin geliştirilerek farklı noktalar üzerinde sistemin yönetilebilir olması gerekmektedir. Ülkemizde mevcut 1. Su Şurası Su Kaynaklarının Kalite ve Miktar Açısından Korunması, İzlenmesi, Yönetilmesi ve Karar Destek Sistemleri Çalışma Belgesi kapsamında yer alan “Veri Üretiminde Sürekliliğin/Güncelliğin Sağlanması” ve “Karar Destek Sistemlerinin Aktif Kullanımının Yaygınlaştırılması, Su Bilgi Sistemlerinin ve Veri Tabanlarının Uyumlu ve Bağlantılı Çalıştırılması” stratejileri su yönetiminde akıllı sistemlere ve dijital dönüşüme işaret etmektedir. Ulusal Su Planı (2026 – 2035)’nda bilgi sistemlerine ve geliştirilmekte olan yapılanmaya ve ilgili çalışmalara aşağıda verildiği gibi yer verilmektedir.

15.1.1. Ulusal Su Bilgi Sistemi

Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında 1 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’nin 421. maddesinin (ç) bendinde "Ulusal su veri tabanını oluşturmak" görevi SYGM'ye verilmiştir. Bu görev kapsamında, ülkemizde bütüncül su yönetiminin etkin ve doğru bir şekilde yapılması, su kaynaklarına ilişkin verilerin tek bir sistemde değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen Ulusal Su Bilgi Sistemi (USBS), su paydaşlarına etkin bir şekilde hizmet sunmaktadır. USBS, kurumların kanuni yükümlülüklerinin ötesinde paydaş kurum, kuruluş ve kişiler tarafından etkin bir şekilde kullanılmakta olup aşağıda verilen hedeflere hizmet etmektedir;

- Ülkemizde suyla ilgili üretilen tüm verilerin ortak bir bilgi teknolojisi altyapısı altında, ulusal ihtiyaçlar ve menfaatler gözetilerek doğru şekilde yönetilmesi,
- Birçok kamu kurumunun su kaynaklarına ilişkin veri üretiminde ortak bir paydada birleşerek, kaliteli, güvenilir ve hem ulusal hem uluslararası standartlara uygun veri üretilmesi,
- Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında analizlerin yapılması ve geleceğe yönelik tahminlerin gerçekleştirilmesi.

Uzun vadede USBS’nin sürdürülebilirliği ve geliştirilmesiyle; çevreye doğrudan veya dolaylı etkisi olan faaliyetlerin düzenlenmesi, izlenmesi ve analiz edilerek değerlendirilmesi sağlanacak, bu süreçte politika üretimine destek olacak nitelikli ve anlamlı mekânsal veriler oluşturulacaktır. Ayrıca, tüm kullanıcıların bu verilere erişimi sağlanarak karar alma süreçlerine katkı sunulması hedeflenmektedir(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

15.1.2. Türkiye Sayısal Su Kaynakları Altlığı

Su kaynakları yönetim piramidinin temelinde yer alan sayısal verinin doğruluğu ve güncelliği büyük önem taşımaktadır. Verilerin eksiksiz ve doğru olmasının yanı sıra, doğal yapılar ve insan kaynaklı müdahalelerle meydana gelen değişimlerin de yansıtılması, analiz, sorgulama ve modelleme çalışmalarına altlık sağlaması açısından önemlidir. 49 Sayılı Coğrafi Bilgi Sistemleri Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile coğrafi veriye dayalı dijital dönüşümün yasal altlığı oluşturulmuş; coğrafi verinin üretiminden paylaşımına kadar tüm süreçlere ilişkin standartların oluşturulması ve Ulusal Coğrafi Bilgi Platformunun kurulması ve işletilmesi görevleri ÇŞİDB Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğüne verilmiştir.

Ulusal ve uluslararası gelişmelerin takibi ve Türkiye’deki su yönetimi ihtiyaçları doğrultusunda, 2017’de SYGM tarafından su kaynaklarının sayısallaştırılması için çalışmalar başlatılmıştır. Ancak, Türkiye’de farklı kurumlarca sayısallaştırılmış su kaynakları verilerinin ölçek ve çeşitlilik bakımından bütünlük göstermediği, hidrolojik nehir ağı verilerinde akım yönlerine ilişkin eksikliklerin 12. Kalkınma Planı’nda akıllı su yönetimi sistemlerini destekleyen “876. Su kaynaklarına yönelik veri setleri niteliksel ve niceliksel olarak iyileştirilecek ve veriye dayalı planlama yapılacaktır, 876.1. İlgili tüm kurum ve kuruluşlarca güncel veri temin edilerek Ulusal Su Bilgi Sisteminin etkinliği artırılacak, mevzuat altyapısı güçlendirilecektir, 876.2. Mevcut bilgi ve karar destek sistemleri ile çevresel altyapı tesislerindeki ekipmanlarda yerli üretim teşvik edilecektir” hedefleri yer almaktadır. Kalkınma Planı hedefleri doğrultusunda su yönetiminde veri altyapısının güçlendirilmesi ve iyileştirilmesi için;

- Su yönetiminde paydaş kurum ve kuruluşlar arasında koordinasyonun ve veri paylaşımının verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine,
- Geniş bir ölçeğe sahip sayısal su kaynakları verisinin üretimi kadar yaygınlaştırılması ve güncel tutulmasının sağlanmasına,
- Su kaynaklarının kalite, miktar ve tahsis süreçleri ile şebeke hatlarındaki kayıpların izlenmesini sağlayan gerçek zamanlı sistemlerin entegre olduğu akıllı su yönetimi teknolojilerinin yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Ulusal Su Planı (2026 – 2035) nda bulunduğu, ölçeklerin küçük olduğu (1/100.000, 1/250.000), bazı verilerin güncel olmadığı ve öznelimsel eksiklikler olduğu tespit edilmiştir. Bu eksikliklerin giderilmesi amacıyla SYGM, Harita Genel Müdürlüğü, DSİ, DKMP, ÇŞİDB ve SBGM gibi kurumların iş birliğinde INSPIRE ve TUCBS projeleri kapsamında "Türkiye Sayısal Su Kaynakları Altlığı" oluşturulmuştur. Sayısal Su Kaynakları Altlığı’nın yüksek hassasiyetle güncellenmesi, su yönetimiyle ilgili karar destek sistemlerinin doğruluğu ve sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Hidrolojik süreçlerin dinamik yapısı ve arazi kullanımındaki değişimler dikkate alındığında, mevcut verilerin belirli aralıklarla revize edilmesi ve yeni teknolojilerle desteklenmesi elzemdir. Bu doğrultuda, SYGM tarafından içme-kullanma suyu havza sınırları ileri coğrafi bilgi sistemi araçları ile sayısallaştırılarak güncellenmesi çalışmalarına devam edilmektedir(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

15.1.3. Sulama Yönetimi ve Bitki Su Tüketimi Sistemi

Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) tarafından “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehber”i güncellenerek dijital ortama taşınmış ve TAGEM SuET (Tarımsal Su Yönetiminde Sulama Yönetimi ve Bitki Su Tüketimi Sistemi) yazılımı yapılmıştır. TAGEM SuET tüm Türkiye’yi kapsayan bir sulama yönetimi bilgi sistemi olup, sürekli geliştirilmeye ve güncellenmeye açık bir hesaplama ve karar destek aracı olarak, Türkiye’de tarımda su ve kuraklık yönetimine önemli katkılarda bulunmaktadır. TAGEM SuET kullanıcılara bitki su tüketimi hesaplamalarını mevcut meteorolojik veriler kullanılarak 7 farklı yöntemle hesaplama olanağı ücretsiz olarak sağlamaktadır. Program kullanıcılara aşağıdaki kolaylıkları sunmaktadır; • TAGEM SuET sistemi hem tam hem de kısıtlı sulama koşullarında farklı toprak bünyeleri ve sulama yöntemlerine (yüzey, damla ve yağmurlama sulama) göre sulama zaman programlaması yaparak farklı dosya türlerinde raporlama imkânı sunmaktadır. • TAGEM SuET sisteminde toprakların genel fiziksel verileri, damla, yağmurlama ve yüzey

sulama yöntemlerine ilişkin bilgiler ve hesaplamalar kullanıma sunulmuştur. Kullanıcılar istedikleri takdirde veritabanında bulunan verileri düzenleyerek kendi hesaplarına bağlı bir veritabanında saklayabilmekte ve gerek duydukları zaman bu verilere erişip kullanabilmektedir. • Sulama modülü ve planlama modülü ile küçük çiftliklerden büyük sulama sahalarına kadar onar günlük dönemlere göre sulama modülü, debi ihtiyacı ve su kaynağı ihtiyacı hesaplama imkânı sağlanmaktadır. • TAGEM-SuET sistemi Türkiye’de sulama yönetiminde dijital teknolojilerin kullanılmasıyla sulamada israf azaltılmaktadır(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

15.1.4. Tarım Cebimde-Su

Tarım Cebimde mobil uygulamasına eklenen “Su” sekmesinde yer alan TAGEM SuET modülü sayesinde uzun yıllar ortalamasına dayanan meteorolojik veriler üzerinden üreticiler arazilerinin bulunduğu mahalle, yetiştirilen bitki, toprak ve sulama yöntemlerini seçerek en doğru sulama programına en kısa yoldan ulaşabilmektedir. 2.5.1.5. Dijital Sulama Yönetim Sistemi Havza bazlı yapılan planlamalarda su kısıtının göz önüne alınarak üretim planlarının yapılması ve izlenebilirliğinin sağlanması kapsamında bu teknolojiler ile elde edilen verilerden faydalanılarak bitki su tüketimine dayalı sulama, kuraklık ve verim tahmini çerçevesinde değerlendirilmesini sağlayacak “Dijital Sulama Yönetim Sisteminin (DiSU) Geliştirilmesi” projesi TAGEM araştırma enstitülerince 2022 yılı itibarıyla başlatılmıştır. Kamu Üniversite-Özel sektör paydaşlı proje ile Ar-Ge, teknolojik gelişme ve uygulama etkileşiminin kesintisiz olarak sürmesi sağlanarak tarımsal üretimde dijital olanaklardan en üst seviyede faydalanılabilecektir. Ulusal Su Planı (2026 – 2035) 65 2.5.1.6. Sulama Tesisleri Mekânsal Bilgi Sistemi (SUTEM), DSİ tarafından işletilen veya işletme, bakım ve yönetim sorumluluğu devredilen sulama tesislerinin izlenmesini, değerlendirilmesini ve raporlanmasını sağlamak amacıyla geliştirilen CBS tabanlı bir dijital uygulamadır.

Planlı su dağıtımı, mesaha, tahakkuk ve tahsilat gibi kritik iş süreçlerinin, işletme ve bakım faaliyetleri yürüten tüm kuruluşlar tarafından standart ve merkezi bir yapıda yönetilmesini hedeflemektedir. Sistem aynı zamanda su mevcudiyeti, sulama programları ve verimli su kullanım uygulamaları hakkında gerçek zamanlı veriler sunarak, çiftçilere iklime uyumlu sulama yapabilmeleri için gerekli bilgi ve araçları sağlamaktadır(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

15.1.5. Akıllı Sulama Dağıtım Otomasyon Sistemi

TAGEM tarafından sulamada dijitalleşme ve otomasyon çalışmaları kapsamında yürütülen “Akıllı Sulama Dağıtım Otomasyon Sistemi (ASDOS)” projesiyle sulama şebekelerindeki akım gözlem istasyonlarından otomasyonla toplanan veriler doğrultusunda açık ve kapalı sulama sistemlerindeki pompaların otomatik kontrolleri sağlanabilmektedir. Ar-Ge Projesinin çıktısı olarak yerli milli PRO-LOG adında Endüstriyel Veri Kayıt ve Otomasyon cihazı kullanıma sunulmuştur.

15.1.6. Ulusal Su Kaynakları Coğrafi Yönetim Sistemi

Ulusal Su Kaynakları Coğrafi Yönetim Sistemi Kurulum çalışmaları 2024 yılında SYGM tarafından başlatılmış olup USBS teknolojik alt yapısı modernize edilerek Su Verimliliği Bilgi Sistemi ve İçme-Kullanma Suyu Takip Sistemi gibi yeni sistemler geliştirilecektir. Sistem

Ülkemizdeki su kaynaklarının miktar ve kalite olarak sürdürülebilir yönetimini destekleyecek şekilde tasarlanacak ve e-devlet kapısı üzerinden hizmet vermeye uygun yapıda olacaktır. Söz konusu sistem ile halihazırda, fizibilite çalışmaları devam eden Akıllı Su Yönetim Sistemine altlık oluşturulacak; su yönetimine ilişkin bilgi ve veri tabanlarının ortak bir çatı altında toplanması sağlanacaktır(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

15.1.7. Su Verimliliği Bilgi Sistemi

SYGM tarafından çalışmaları yürütülen sistem sayesinde; kentsel, endüstriyel ve tarımsal sektörlerde su kullanıcısı bazında mevcut su kullanımları ve su verimliliği planları kayıt altına alınacak, Su Verimliliği Yönetmeliği kapsamında Su Verimliliği Belgesi (mavi, yeşil, turkuaz) başvuru ve değerlendirme süreçleri yürütülecek; il ölçeğinde su verimliliği il planlarının ve Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı'nın takibi sağlanacaktır.

15.1.8. Türkiye Su Atlası

SYGM tarafından yürütülen çalışma kapsamında, ülkemizde önemli su kaynaklarının yer aldığı; teknik, kültürel, tarihsel, görsel vb. bilgileri içeren Türkiye Su Atlası, dijital ve basılı ortamda hazırlanacaktır.

15.1.9. Nitrat Bilgi Sistemi

Nitrat Bilgi Sistemi (NİBİS), Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM) tarafından tarımsal kaynaklı kirlilik kapsamında tüm verilerin toplandığı, değerlendirildiği ve izlenerek raporlandığı bir sistemdir. Sistem, yerüstü ve yeraltı su kütleleri, tarımsal kirlilik izleme verileri, arazi kullanımı, sulanan alanlar, hayvancılık faaliyetleri, kimyasal gübre kullanımı ve havza bazlı sayısal verileri içeren geniş bir veri setine sahip olup su kütlesi işlemleri, istasyon yönetimi, numune kaydı, analiz verisi girişi, laboratuvar yönetimi, periyot güncellemeleri, işletme denetimleri, ifti eğitimleri ve raporlama gibi çeşitli modüllerden oluşmaktadır. Bu modüller, kirliliği önlemeye yönelik tedbirlerin uygulanmasını, izlenmesini ve eylem planlarının etkinliğinin değerlendirilmesini sağlamaktadır(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

15.1.10. Meteorolojik Veri-Bilgi Satış ve Sunum Sistemi

Meteorolojik Veri Bilgi Satış ve Sunum Sistemi (MEVBİS), Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından geliştirilen ve meteorolojik verilerin arşivlenmesi, Ulusal Su Planı (2026 – 2035) 66 sunulması ve satışının gerçekleştirildiği bir sistemdir. Sistem MGM'nin taşra ve merkez birimlerinde üretilen gözlem, sayısal hava tahmin modeli, radar ve uydu verileri gibi meteorolojik bilgileri merkezi bir ortamda toplayarak elektronik ortamda arşivleyerek kullanıcılara sunmaktadır.

15.1.11. İklım Portalı

İklım Portalı, evre, şehircilik ve İklım Değişikliği Bakanlığı ile Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) iş birliğiyle geliştirilen ve Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadele çalışmalarını destekleyen çevrim içi bir platformdur. Portalda, sera gazı emisyonları, sıcaklık değişimleri ve yağış oranları gibi iklim değişikliği verilerine ilişkin analizler sunulmakta; projeler, çalıştaylar ve eğitimler gibi etkinlikler hakkında bilgiler paylaşılmaktadır. Kamu kurumları, akademisyenler, özel sektör ve bireyler başta olmak üzere çok sayıda paydaşa hizmet veren sistem, kullanıcıların analizlere erişmesini, politika geliştirme süreçlerine katkı sağlamasını ve iş birliğini geliştirmesini amaçlamaktadır.

15.1.12. Akım Tahmin ve Havza Optimizasyon Modeli

DSİ ve TÜBİTAK iş birliğiyle geliştirilen Akım Tahmin ve Havza Optimizasyon Modeli (ATHOM), depolama tesislerine gelebilecek akımın tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak depolama tesislerinin su bütçelerinin hazırlanarak günlük, aylık ve yıllık bazda işletilmesini sağlayan, 10 güne kadar Sayısal Hava Tahmin (SHT) ile otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) verilerini girdi olarak kullanan dinamik bir sistemdir. Ayrıca, barajlara ait su ve enerji verileri sisteme sürekli olarak girilmektedir. Geliştirilen akım tahmin ve havza optimizasyon modelleri ile oluşturulan akım tahminleri ve işletme eğrileri CBS içeren Web-tabanlı uygulama sayesinde sistem kullanıcılarına sunulmaktadır. Seyhan Havzasında pilot havza olarak başarılı bir şekilde geliştirilerek uygulanan ATHOM projesinin 2030 yılına kadar tüm havzalara yaygınlaştırılması hedeflenmektedir(Ulusal Su Planı 2026 – 2035).

15.2. Tahmin ve Erken Uyarı Sistemleri

Su yönetiminde taşkın, kuraklık ve su kıtlığı gibi afet risklerinin önceden belirlenmesi ve zamanında önlem alınması için erken uyarı ve tahmin sistemleri büyük önem taşımaktadır. Meteorolojik ve hidrolojik gözlem ağı, uzaktan algılama ve yapay zekâ tabanlı modeller sayesinde, su kaynaklarındaki değişimler öngörülerek, karar vericilere hızlı ve doğru bilgi ile afet risk yönetimi ve su güvenliği stratejilerinin güçlendirilmesine katkı sağlanmaktadır.

15.2.1. Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Sistemi

2021 yılında Su Yönetimi Genel Müdürlüğü bünyesinde kurulan Ulusal Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Sistemi (TATUS) taşkın yönetim planları kapsamında yüksek taşkın riski taşıdığı belirlenen 15 pilot alt havzada uygulanmaya konulmuştur. Bu pilot alanlar; Doğu Karadeniz Havzasında 10, Batı Karadeniz Havzasında 3, Antalya Havzasında 1 ve Doğu Akdeniz Havzasında 1 alt havzadan oluşmaktadır. 2023 yılında tamamlanan pilot çalışma ile yukarıda belirtilen ve sık taşkın yaşanan 15 alt havzada 127 tahmin noktası kurulmuştur. Sistemin işletilmesi sürecindeki gerçekleşen olaylarda tahminlerin doğruluğu sonucunda sistemin ülke geneline yaygınlaştırılması kararlaştırılmıştır. Bu kapsamda; Meriç-Ergene Havzasında oluşturulan 108 tahmin noktasıyla birlikte, TATUS halihazırda 235 tahmin noktası ile hizmet vermektedir. 2030 yılında tüm havzalarımızda yaygınlaştırma çalışmalarının tamamlanmasıyla “Ulusal Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Sistemi”nin kurulması hedeflenmektedir. Sistem kapsamında, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan sayısal hava tahmin modelleri (ECMWF, WRF, ALARO) kullanılarak beklenen yağışlar alansallaştırılmakta ve ilgili havzalarda kurulmuş yağış-akış modellerine girdi parametresi olarak entegre edilmektedir. Üretilen debiler, dinamik olarak havzalara uygulanarak taşkın yayılım alanları belirlenmekte ve ilgili bölgeler için taşkın tehlike haritaları üretilmektedir(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

Hidrolojik modelleme sürecinde, Dağılımlı Olasılık Modeli aracılığıyla üretilen debiler, erken uyarı kapsamında 72 saat öncesine kadar tahmin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Farklı sayısal hava tahmin modelleri için ayrı ayrı oluşturulan hidrolojik modeller, değişken debi çıktıları üretmektedir. Bu farklılıklar, taşkın yayılım alanlarının da değişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, dünyada yaygın olarak kullanılan birleştirilmiş modelleme yaklaşımının sisteme entegre edilmesiyle tek ve güvenilir bir sonuç elde edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, makine öğrenmesi ve yapay zekâ tabanlı yöntemlerle üretilen çıktılar doğrulanarak sistemin tahmin yeteneği artırılacaktır. Ayrıca hidrometeorolojik afet yönetiminde veri toplama, tahmin ve karar destek

süreçlerinde yapay zeka ile fizik tabanlı modellemenin entegrasyonu sağlanarak taşkın riskinin azaltılması, kurum içi operasyonların iyileştirilmesi ve yerli yapay zeka çözümleriyle teknoloji farkındalığının ve yenilikçi uygulamaların yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, TATUS sadece bir erken uyarı sistemi değil, aynı zamanda afet risk yönetimi için bütünsel ve ileri teknolojiye dayalı bir karar destek altyapısı haline gelecektir(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

15.2.2. Taşkın Erken Uyarı Sistemi

DSİ bünyesinde, muhtemel taşkınlara karşı hazırlık, zarar azaltma, müdahale etme ve iyileştirme amacıyla kaynakları organize eden analiz, planlama, karar alma ve değerlendirme süreçlerini hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirmeyi hedefleyen bir Taşkın Yönetim Merkezi bulunmaktadır. TEUS kapsamındaki Seviye Gözlem İstasyonları ile akarsu yatakları kameralarla izlenmekte, Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) ile seviye ve debiler takip edilmekte ve çeşitli meteorolojik gözlemlerle havzalar izlenmektedir. Tüm TEUS Seviye Tespit İstasyonları, Akım Gözlem İstasyonları, Meteoroloji Gözlemleri ve iş makinelerinin lokasyonları tek bir yazılım altında birleştirilerek, taşkın erken uyarılarıyla ilgili veriler AFAD ve yerel yönetimler gibi paydaş kurumlarla paylaşarak taşkın erken uyarılarının ülke genelinde daha etkin hale getirilmesi sağlanacaktır.

15.2.3. Kuraklık Tahmin ve Erken Uyarı Sistemi

İklim değişikliğinin en önemli etkilerinden biri olan, kuraklıklara karşı tahmin ve erken uyarı sistemlerinin kurulması kuraklıkla mücadele eden ülkeler için büyük önem arz etmektedir. Bu maksatla, havza sınırları esas alınarak 2024 yılı itibarıyla kuraklık tahmini ve erken uyarı sistemi projesi Türkiye'nin tamamı için başlatılmış olup, 2027 yılında tamamlanması hedeflenmektedir. Kuraklık tahmini ve erken uyarı sistemi ile sayısal hava tahminleri kullanılarak kısa ve orta vadede meydana gelebilecek yağış ve akış eksiklikleri tahmin edilecek, bu sayede havzalar bazında hazırlanan kuraklık yönetim planlarının sağlıklı bir şekilde uygulanması ve kuraklık öncesinde su kullanıcılarına gerekli uyarıların yapılarak kuraklık kaynaklı kayıpların en aza indirilmesi sağlanacaktır. Gediz Havzasından başlamak üzere, havzalarda ki kuraklık, su kaynakları ve su kullanımı verilerini analiz eden ve kuraklık durumunda su arzında meydana gelebilecek değişiklikleri değerlendirebilecek karar destek sisteminin kurulması planlanmaktadır.

15.2.4. Modelleme Çalışmaları

Su kaynakları yönetiminde modelleme, karmaşık sistemleri basitleştiren, dinamik süreçleri simüle eden ve farklı yönetim stratejilerinin potansiyel sonuçlarını öngörerek karar verme sürecini destekleyen bir süreçtir. Modeller, su döngüsündeki belirsizlikleri azaltmaya, riskleri daha etkin yönetmeye ve kaynak tahsisinde optimal çözümler sunmaya yardımcı olarak, suyun çok Ulusal Su Planı (2026 – 2035) 68 boyutlu sorunlarına yönelik bilimsel temelli yaklaşımlar geliştirilmesine olanak tanır. Bu nedenle su kaynakları modelleri yalnızca teknik çözümler sunmakla kalmaz, su politikalarının geliştirilmesi, yasal düzenlemelerin oluşturulması ve iklim değişikliği adaptasyon stratejilerinin belirlenmesi için bilimsel ve veri tabanlı dayanak sağlar. Farklı model türlerinin (hidrolojik, kalite, hidrodinamik, iklim) bir arada ve entegre bir şekilde kullanılması, yalnızca suyun miktarını değil; aynı zamanda kalitesini, ekolojik sağlığını, fiziksel dinamiklerini ve iklim değişikliği kapsamında değişimlerini anlamak ve yönetmek için kritiktir. Ulusal düzeyde geliştirilen su kaynakları modelleri, Türkiye'nin su ve veri güvenliğini güçlendirerek dışa bağımlılığı azaltan, lisans maliyetlerinde tasarruf sağlayan ve sürdürülebilir kalkınma ile ekonomik büyüme hedeflerine doğrudan katkı sunan stratejik bir rol

oynamaktadır(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

15.2.4.1. HİDROTÜRK Milli Yazılımı

Türkiye’de modelleme çalışmaları ağırlıklı olarak, lisans gerektiren ve açık kaynak kodlu olmayan uluslararası modeller üzerinden yürütülmektedir. Ancak bu durum, yüksek lisans maliyetleri ve verilerin ülke dışına çıkma olasılığı nedeniyle hem ekonomik hem de veri güvenliği açısından sorunlar doğurmaktadır. Bu eksiklikleri gidermek amacıyla geliştirilen HİDROTÜRK Modeli güncel yazılım teknolojilerini kullanarak hidroloji, hidrodinamik, hidrojeoloji, su kalitesi ve ekoloji bileşenlerini entegre eden, ülkemiz şartlarına ve uluslararası normlara uygun bir karar destek sistemidir. Açık kaynak kodlu yapısı, kullanıcı dostu arayüzü ve havza veya su kütlesi ölçeğinde uygulanabilme yeteneği ile HİDROTÜRK, yalnızca teknik bir modelleme aracı değil; aynı zamanda ulusal ölçekte sürdürülebilir ve bütünleşik su kaynakları yönetimi vizyonunun uygulanmasında stratejik bir platformdur. HİDROTÜRK Modeli, iklim değişikliği, taşkın, kuraklık, yeraltı suyu ve su kalitesi gibi kritik alanlara yönelik modülleri bir araya getirerek, veri setlerinin bu modüller arasında sorunsuz biçimde aktarılabilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, modelleme süreçlerinin hızını ve doğruluğunu artırmak amacıyla eksik veri tamamlama, ekolojik kalite oranı hesaplama ve konumsal interpolasyon gibi araçlar geliştirilmiştir. Kapsamlı yapısı, ulusal ihtiyaçlara özel çözümler üretmesi ve sürekli geliştirilme hedefleri sayesinde HİDROTÜRK, Türkiye’nin su stresi, iklim değişikliği etkileri ve artan su talebi gibi zorluklarla başa çıkmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Bu model, teknik bir araç olmanın ötesinde, veri temelli politika oluşturma, kaynak verimliliği sağlama ve çevresel koruma konularında da ulusal stratejilere güçlü bir destek sunmaktadır(Ulusal Su Planı 2026 – 2035) .

15.2.5. Uzaktan Algılama ve Yapay Zekâ

Yapay zekâ ve uzaktan algılama teknolojileri, su miktarı ve kalitesinin izlenmesini kolaylaştırarak su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımına önemli ölçüde katkı ve kolaylaştırıcılık sağlamasının yanı sıra, iç su ve kıyı su ürünleri üretim alanlarındaki çevresel parametre değişimlerinin izlenmesinde de kullanılabilecektir. Türkiye’de, yapay zekâ ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak su miktarı ve su kalitesi parametrelerinin tespitine yönelik çeşitli çalışmalar yürütülerek tarım arazilerindeki toprak ve bitki nem düzeyi ve hava koşulları gibi önemli veriler toplanmakta ve yapay zekâ destekli sistemlerle işlenerek çiftçilere gerçek zamanlı sulama imkânı sunulmaktadır. Ayrıca, kar-su eşdeğerinin hesaplanması ve havza su bütçesine katkısı giderek daha büyük önem kazanmakla birlikte, kar ölçüm istasyonlarının yüksek maliyetlerinden dolayı alternatif bir yöntem olarak kar-su eşdeğerinin Uzaktan Algılama teknikleri ile hesaplanması mümkündür. Ülkemizde de yapay zekâ ve uzaktan algılama tekniklerinin rolü ve payı su yönetimi ve tarım sektöründe günden güne artmakta, bu sektörlerle entegrasyon çalışmaları hız kazanmaktadır. Ulusal Su Planı (2026 – 2035). Türkiye’de yapay zekâ konusunda yapılan çalışmalardan örnekler aşağıda sunulmaktadır.

15.2.5.1. Yapay Zekâ ve Uzaktan Algılama Teknikleriyle Su Miktarının ve Kalite Parametrelerinin Tespiti

SYGM tarafından uydu görüntüleri ve yapay zekâ yardımıyla içme suyu kaynaklarının tespit edilmesi, su kaynaklarının miktar (su yüzey alanı) değişimlerinin ve belirlenen kalite

parametreleri (klorofil-a, sıcaklık, renk, bulanıklık, yağ ve gres) değişimlerinin doğru ve düzenli bir şekilde tespit edilmesine ve raporlanmasına yönelik çalışmalar yürütülmekte olup su miktar ve kalitesinin ani değişim durumlarından haberdar olunması için “uyarı sistemi” kurulması planlanmaktadır.

15.2.6. Ar-Ge ve İnovasyon

Su yönetiminde yenilikçi çözümler geliştirmek, bilim ve teknoloji odaklı Ar-Ge çalışmalarıyla mümkün olmakta, sürdürülebilir su politikalarının oluşturulması, su verimliliğinin artırılması ve iklim değişikliğine uyum sağlanması için ileri teknolojiler ile yenilikçi yaklaşımlar önem arz etmektedir. Bu doğrultuda, ulusal ve uluslararası iş birlikleriyle akıllı su yönetimi sistemleri, veri tabanlı karar destek mekanizmaları ve suyun geri kazanımı gibi alanlarda Ar-Ge çalışmaları yürütülmekte olup detayları aşağıda sunulmaktadır.

15.2.6.1. Su ve Atıksu Sektöründe İnovasyon

Su sayaçları, IoT sensörleri ve akıllı sulama gibi teknolojiler, veri kullanılabilirliğini artırırken karar vericilerin ve uzmanlarının kullanımını, su mevcudiyetindeki gerçek zamanlı değişikliklere erişimini kolaylaştırmaktadır. Akıllı sulama sistemlerinden ve gelişmiş su geri kazanımına kadar geniş bir yelpazede yer bulan teknolojik çözümler, suyun döngüsel kullanımı için yeni olanaklar üretmektedir. Akıllı sensörler su ve atıksu yönetimi dünyasında giderek yaygınlaşmaktadır. Günümüzde IoT cihazları, akıllı sayaçlardan oluşan bir filonun kurulumu ve bakımı ile ilgili maliyetleri azaltarak üretkenliği artırmakta ve operasyonel verimlilik için gerekli olan gerçek zamanlı verileri sağlamaktadır. Bu kapsamda, ÇŞİDB tarafından yürütülen Sürekli Atıksu İzleme Sistemi (SAİS), Türkiye’de çevresel denetimlerin etkinliğini artırmak ve alıcı ortamların korunmasını sağlamak amacıyla kurulmuş ve seçilen atıksu deşarj noktalarına online izleme istasyonları ile atıksuyun debisi ve izlemeye esas parametreleri anlık olarak bildiren bir izleme sistemidir. Diğer yandan konvansiyonel arıtma yöntemleriyle etkin olarak giderilemeyen ve alıcı su ortamlarına ulaşan antibiyotikler yerüstü sularında sucul ekosistemi ve canlı sağlığını olumsuz etkileyerek tedaviye cevap vermeyen enfeksiyonlara sebep olmaktadır. Bu sebeple, gelişen teknoloji, Ar-Ge ve yenilikçi yaklaşımlardan da istifade edilerek yerüstü ve yeraltı sularında ve atıksularda antibiyotiklerin varlığı ve seviyeleri ile antibiyotik dirençli bakterilerin ve genlerin varlığının belirlenmesinin yanı sıra, tedbirlerin ortaya konulması yönünde bir çalışma yapılması önemli bir ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir.

15.2.6.2. Su Arıtımında Nanoteknoloji

Nanoteknolojinin su arıtma ve filtreleme için sunduğu en ileri çözümler, malzemelerin moleküler veya atomik düzeyde manipüle edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Nanomalzemeler, en uygun teknolojiler kullanılarak yeni filtre ortamlarının üretimi için kullanılabilir.

15.2.7. Su Yönetimi İçin Yapay Zekâ ve Büyük Veri

Yapay zekâ ve büyük veri analitiği, su yönetim sistemlerinin optimize edilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Sensörlerden, hava durumu modellerinden ve tüketim istatistiklerinden elde edilen büyük miktarda veri analiz edilerek, yapay zekâ odaklı sistemlerle su talebi tahmin edilebilir, sızıntılar belirlenebilmekte ve dağıtım ağları optimize edilebilmektedir. Ulusal Su Planı (2026 – 2035) 70 2.5.5.4. Tuzdan Arındırma Teknolojileri Tuzdan arındırma, su kıtlığı yaşayan bölgeler için sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan

yöntem ters ozmoz (RO) iken, enerji tasarruflu ve maliyet etkin yeni teknolojiler giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle güneş enerjisiyle çalışan tuzdan arındırma sistemleri, yenilenebilir enerji kullanarak karbon ayak izini azaltırken, fotovoltaiik hücreler ve güneş konsantratörlerindeki gelişmeler sayesinde verimliliklerini artırmaktadır. Bu yöntem, özellikle Kuzey Afrika ve Orta Doğu gibi yüksek güneş potansiyeline sahip bölgelerde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, ileri ozmoz (FO) ve membran kapasitif deiyonizasyon yöntemi düşük enerji gerektiren sürdürülebilir tuzdan arındırma yöntemleridir. Bu teknolojilerin yaygınlaşmasıyla su kıtlığına karşı sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesine katkı sağlanacaktır.

15.2.8. Su Kaynakları Yönetimi için Blokzincir

Blokzincir teknolojisi, su kaynaklarının yönetiminde şeffaflığı, hesap verebilirliği ve verimliliği artıracak ve su kullanımı, dağıtımı ve kalitesinin iyileştirilmesi kapsamında güvenli bir araç olarak değerlendirilmektedir. Su işlemlerini takip etmek, kullanımı izlemek, koruma ve verimlilik çabalarını teşvik etmek ve paydaşlar arasında şeffaf ve güvenli su yönetimi platformları oluşturmak amacıyla blokzincir teknolojisi ile veri bütünlüğü ve entegrasyonu sağlanabilmektedir.

15.2.9. Merkezi Olmayan Su Sistemleri

Merkezi olmayan su sistemleri, genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışarak özellikle temiz suya erişimin sınırlı olduğu kırsal ve uzak bölgelerde büyük bir avantaj sunmaktadır. Mikro şebekeler, güneş panelleri, bataryalar ve akıllı su dağıtım ağlarını entegre ederek, hizmete erişimin zor olduğu bölgelerde su ihtiyacına göre ölçeklendirilebilmektedir. Bunun yanı sıra, güneş enerjisiyle çalışan taşınabilir arıtma sistemleri, gelişmiş filtreleme teknolojileri sayesinde suyu zararlı patojenlerden arındırarak güvenli hale getirmektedir.

15.2.10. Akıllı Teknoloji Çözümleri

Günümüzde kablosuz telekomünikasyon geniş alan ağları (LPWAN'lar) kullanılarak daha sürdürülebilir su şebekeleri oluşturulabilmektedir. Bu ağlar, IoT sensörlerini minimum maliyetle bağlayarak su yönetiminde verimliliği artırmaktadır. Bu teknolojilerin başlıca avantajları şunlardır;

- Sürekli izleme ve veri toplama süreçlerini iyileştirir.
- Geçmiş verilere erişimi artırarak sorunları erken tespit eder.
- Sızıntılara bağlı ani değişimlere karşı yöneticileri uyarır.
- Uzaktan gözetim ve yönetim imkânı sağlar.
- Yapay zekâ ile tahmine dayalı analizi destekler.

Akıllı teknolojilere başka bir örnek ise, ülkemizde de son dönemde gelişme imkanları ile kapasite değerlendirme çalışmaları yürütülen rejeneratif (yenileyici) tarım toprak sağlığını besleyen ve restore eden, iklimi, su kaynaklarını ve biyolojik çeşitliliği koruyan ve tarımsal üretimi ve ekolojik dengeyi gözetten bir üretim yaklaşımı olarak kendine yer bulmaktadır. Rejeneratif tarım ile toprak sağlığının iyileştirilmesi, su kalitesinin korunması, tarımsal sera gazı emisyonlarının azaltılması ürünlerin zaman ve mekân açısından çeşitlendirilmesi mümkündür.

15.2.11. Akıllı Su Tesisleri: Hizmet Seviyelerinin İyileştirilmesi ve Su Verimliliğinin Teşvik Edilmesi Akıllı ölçüm sistemleri, kamu kuruluşlarının sayaç okuma süreçlerini otomatikleştirerek zamanında ve doğru faturalandırma yapılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, akıllı

Ulusal Su Planı (2026 – 2035) 71 sayaçlar, dağıtım şebekesinin sağlığı hakkında daha iyi bir görünürlük sağlayan sensör verileri de üretebilmektedir.

15.3. Stratejiler

- Strateji 15.1. Su kaynakları yönetiminde düzenli ve güncel veri üretilmesine ilişkin teknolojik altyapının iyileştirilmesi
- Strateji 15.2. Akıllı su yönetimi için iş ve dijital ekosistemin geliştirilmesi ile yaygınlaştırılması
- Strateji 15.3. Tahmin ve erken uyarı sistemlerinin yaygınlaştırılması
- Strateji 15.4. Atıksu ve içme suyu arıtımı ile içme-kullanma suyu temininin ileri teknolojilerle ve yenilikçi yaklaşımlarla desteklenmesi

16. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Su, Dünya'daki yaşam için vazgeçilmezdir; ancak nüfus artışı, iklim değişikliği ve su sistemlerinin giderek artan karmaşıklığı gibi faktörler nedeniyle bu hayati kaynağı yönetmek giderek zorlaşmaktadır. Geleneksel su yönetimi yöntemleri, çoğu zaman bu değişen sorunları etkili bir şekilde ele almada yetersiz kalmaktadır. Bir başka deyişle, yirminci yüzyılın teknikleri ve teknolojisiyle yirmi birinci yüzyılın karmaşık sorunları çözülmemektedir. Bununla birlikte, yapay zekâ (YZ) su yönetiminde verimliliği, sürdürülebilirliği ve dayanıklılığı artırmak adına umut verici bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Altyapının bakımından akıllı sulama sistemlerinden gerçek zamanlı su kalitesi izlemesine ve sel ve taşkın tahminine kadar yapay zekâ, su kaynaklarının yönetilme biçimini önemli ölçüde iyileştirebilecek çok sayıda araç ve teknik sunmaktadır.

Yapay zeka; makine öğrenimi, sinir ağları ve veri analitiği gibi, bilgisayarların normalde insan zekası gerektiren görevleri yerine getirmesini sağlayan bir dizi teknolojiyi kapsar. Su yönetiminde yapay zeka; büyük miktardaki verileri analiz edebilir, sonuçları öngörebilir, süreçleri optimize edebilir ve daha bilinçli kararlar alınmasını sağlayan içgörüler sunabilir. Su yönetiminde yapay zekânın kapsamı geniştir; su kalitesi izleme, altyapı bakımı ve verimli su dağıtımı gibi alanları içine alır.

Su Yönetiminde Yapay Zeka Teknolojileri

1. Makine Öğrenimi: Makine öğrenimi algoritmaları, gelecekteki talebi tahmin etmek, anormallikleri tespit etmek ve su dağıtım sistemlerini optimize etmek için geçmiş su kullanım verilerini analiz edebilir.
2. Sinir Ağları: Sinir ağları, hava koşullarının su mevcudiyeti üzerindeki etkisi gibi su sistemlerindeki karmaşık ilişkileri modelleyebilir.
3. Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Akıllı Sensörler: Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazları ve akıllı sensörler, su kalitesi, akış hızları ve çevresel koşullar hakkında gerçek zamanlı veriler toplar ve yapay zekâ bu verileri analiz ederek uygulanabilir bilgiler sağlayabilir.
4. Veri Analizi: Gelişmiş veri analizi teknikleri, büyük veri kümelerinin işlenmesine ve yorumlanmasına yardımcı olarak daha iyi karar verme ve kaynak yönetimi sağlar.

Su Yönetiminde Yapay Zeka Uygulamaları

1. Su Kalitesi İzleme: Yapay zekâ destekli sistemler, pH, bulanıklık ve kirlilik seviyeleri gibi su kalitesi parametrelerini sürekli olarak izleyerek gerçek zamanlı uyarılar sağlayabilir ve güvenli içme suyu temin edebilir.
2. Su Altyapısının Tahmin Edici Bakımı: Yapay zekâ, boru hatları ve arıtma tesisleri gibi su altyapısında bakımın ne zaman ve nerede gerekli olduğunu tahmin ederek arıza sürelerini azaltır ve maliyetli arızaları önler.
3. Verimli Su Dağıtımı: Yapay zekâ algoritmaları, kayıpları en aza indirmek, enerji tüketimini azaltmak ve adil su teminini sağlamak için su dağıtım ağlarını optimize edebilir.
4. Sel Tahmini ve Yönetimi: Yapay zekâ modelleri, hava durumu verilerini ve nehir akış modellerini analiz ederek selleri tahmin edebilir; bu da aşırı olaylar sırasında zamanında tahliye ve su kaynaklarının daha iyi yönetilmesini sağlar.
5. Tarımda Sulama Yönetimi: Yapay zekâ, toprak nem seviyelerine, hava tahminlerine ve mahsul gereksinimlerine göre sulama programlarını optimize ederek su tasarrufu ve mahsul veriminde iyileşme sağlar.

Su Yönetiminde Yapay Zekânın Faydaları

Artırılmış Verimlilik ve Maliyet Tasarrufu: Yapay zeka, hassas izleme ve yönetim sistemleri aracılığıyla su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar. Su dağıtımını ve kullanımını optimize ederek, su israfının ve operasyonel maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olur. Örneğin yapay zeka, tarımda sulama programlarını gerçek zamanlı verilere dayanarak ayarlayabilir; böylece suyun yalnızca ihtiyaç duyulan yer ve zamanda kullanılmasını sağlayarak hem su hem de enerji tasarrufu gerçekleştirir.

Tahmin ve İzlemede Daha Yüksek Doğruluk: Yapay zeka sistemleri, doğru ve zamanında bilgi sağlamak amacıyla büyük miktardaki veriyi analiz etme kapasitesine sahiptir. Bu durum, daha iyi karar alma süreçlerine ve proaktif yönetime olanak tanır. Örneğin yapay zeka, su altyapısındaki ekipman arızalarını önceden tahmin ederek zamanında bakım yapılmasını sağlar ve maliyetli arıza riskini azaltır. Ayrıca, su kalitesini sürekli izleyerek herhangi bir kirlilik durumunda gerçek zamanlı uyarılar verir ve güvenli içme suyu teminini güvence altına alır.

Daha İyi Kaynak Yönetimi ve Sürdürülebilirlik: Yapay zeka, su kaynaklarının tahsisini ve kullanımını optimize ederek sürdürülebilir su yönetimine katkıda bulunur. Hava durumu tahminleri, toprak nem seviyeleri ve tüketim alışkanlıkları gibi çeşitli kaynaklardan gelen verileri analiz ederek verimli su yönetimi stratejileri geliştirebilir. Bu süreç sadece suyun korunmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda tarım, sanayi ve haneler dahil olmak üzere farklı sektörler için suyun uzun vadeli erişilebilirliğini de garanti altına alır.

Geliştirilmiş Su Kalitesi İzleme: Yapay zeka destekli sistemler; pH, bulanıklık ve kirlilik seviyeleri gibi çeşitli su kalitesi parametrelerini sürekli olarak izleyebilir. Bu gerçek zamanlı izleme, su kalitesine yönelik her türlü anormalliğin veya potansiyel tehdidin anında tespit edilmesine olanak tanır. Sonuç olarak, sorunları gidermek için hızlı adımlar atılabilir ve suyun tüketim ve kullanım açısından güvenli kalması sağlanır.

Su Altyapısında Öngörücü Bakım: Yapay zeka, geçmiş verileri analiz ederek boru hatları ve arıtma tesisleri gibi su altyapısındaki potansiyel arızalara işaret eden kalıpları tespit edebilir. Bu arızalar gerçekleşmeden önce tahmin edilerek bakım işlemleri proaktif bir şekilde planlanabilir; böylece hizmet kesintileri azaltılır ve maliyetli onarımların önüne geçilir. Bu öngörü yeteneği,

altyapının ömrünü uzatır ve güvenilir bir su tedariki sağlar.

Verimli Su Dağıtımı: Yapay zekâ algoritmaları; arz ve talebi dengeleyerek, kayıpları en aza indirerek ve enerji tüketimini azaltarak su dağıtım ağlarını optimize edebilir. Örneğin, yapay zekâ tüketim kalıplarına dayalı olarak su akışını gerçek zamanlı şekilde ayarlayabilir ve böylece suyun farklı bölgelere verimli bir biçimde dağıtılmasını sağlayabilir. Bu optimizasyon, yalnızca su tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda su arzının güvenilirliğini de artırır.

Yapay zeka su yönetiminde önemli bir potansiyele sahip olsa da, bu kazanımların tam anlamıyla hayata geçirilmesi bir dizi zorluğun aşılmasını gerektirir:

Veri Kalitesi ve Erişilebilirliği: Yapay zekâ modelleri, büyük miktarda yüksek kaliteli bilgiye dayanır. Yapay zekâ sistemlerinin etkin bir şekilde çalışabilmesi için, farklı kaynaklardan gelen verilerin erişilebilir ve doğru olmasının sağlanması büyük önem taşır.

Mevcut Sistemlerle Entegrasyon: Mevcut yapay zekâ çözümlerinin halihazırda kurulu olan su yönetimi altyapısına entegre edilmesi; dikkatli olunmadığı takdirde kafa karışıklığına ve hatalı kullanıma yol açabileceğinden zorlu ve maliyetli bir süreç olabilir. Sistemlerin birbiriyle uyumlu ve eşgüdümlü çalışmasını sağlamak büyük önem arz eder.

Siber Güvenlik: Su yönetiminde dijital sistemlere ve Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarına olan bağımlılığın hızla artması, siber güvenlik risklerine dair endişeleri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, söz konusu sistemlerin güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamak adına gerekli önlemlerin alınması şarttır.

Beceri ve Bilgi Eksiklikleri: Yapay zeka teknolojisi, ancak bireylerin hem su yönetimi hem de yapay zeka teknolojileri konusunda bilgi sahibi olması durumunda başarıyla uygulanabilir. Dolayısıyla, bu bilgi açığını kapatmak için eğitim ve iş birliğine ihtiyaç duyulacaktır.

Etik ve Düzenleyici Hususlar: Su yönetiminde yapay zekâ kullanılırken etik standartlara ve yasal düzenlemelere uyulması zorunludur. Su yönetimi süreçlerinde şeffaf, hesap verebilir ve adil yapay zeka sistemlerinin kullanılması büyük önem taşır.

Su Yönetiminde Yapay Zekanın Geleceği

Yapay Zekâ Algoritmalarındaki Gelişmeler: Su yönetiminde yapay zekânın geleceği, yapay zekâ algoritmalarındaki sürekli gelişmelerden önemli ölçüde etkilenecektir. Derin öğrenme, pekiştirmeli öğrenme ve gelişmiş sinir ağları alanındaki yeni teknikler; öngörü doğruluğunu ve karar verme süreçlerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu gelişmeler, karmaşık su sistemlerinin daha hassas bir şekilde modellenmesini, kaynak tahsisinin optimize edilmesini ve su dağıtım ağlarındaki anormalliklerin tespitinin iyileştirilmesini mümkün kılacaktır.

Yenilenebilir Enerji Sistemiyle Entegrasyon: Yapay zekânın yenilenebilir enerji sistemleriyle entegrasyonu, su yönetiminde gelecek vadeden bir eğilimi temsil etmektedir. Yapay zekâ; su arıtma tesisleri, tuzdan arındırma süreçleri ve pompalama sistemleri için güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını optimize edebilir. Enerji tüketimi ile su talebini dengeleyen yapay zekâ destekli sistemler, işletme maliyetlerini düşürebilir ve su yönetimi faaliyetlerinin karbon ayak izini en aza indirebilir.

İklim Değişikliği İçin Yapay Zeka: İklim değişikliği su kaynakları açısından önemli riskler oluşturmakta ve etkilerinin yönetilmesi için uyarlanabilir stratejiler gerektirmektedir. Yapay zeka; sel ve kuraklık gibi aşırı hava olaylarını daha yüksek doğrulukla öngörerek, iklim değişikliğine uyum sürecinde kritik bir rol oynayabilir. Makine öğrenimi modelleri, suyun bulunabilirliği ve kalitesindeki değişimleri tahmin etmek amacıyla iklim verilerini analiz edebilir; böylece olumsuz etkileri hafifletmeye yönelik proaktif önlemlerin alınmasını

sağlayabilir. Ayrıca yapay zekâ, iklim kaynaklı aksaklıkların artan sıklığına ve şiddetine dayanabilecek dirençli su altyapılarının geliştirilmesine de katkıda bulunabilir.

Politika ve Düzenleme Gereksinimi: Su yönetiminde yapay zekânın hayata geçirilmesi, başarılı bir şekilde benimsenmesi ve etik kullanımını güvence altına alacak destekleyici politika ve düzenleme çerçevelerini gerektirecektir. Gelecekteki eğilimler, muhtemelen su sektöründe yapay zekâ teknolojilerinin kullanımını düzenleyen kılavuzların ve standartların geliştirilmesine sahne olacaktır. Politika yapıcıların; kamu güvenini ve kabulünü tesis etmek adına veri gizliliği, güvenlik ve yapay zekâ algoritmalarının şeffaflığı gibi konuları ele almaları gerekecektir.

Sonuç

Sürdürülebilir ve dirençli yöntemleri önceleyerek bu alanda yeni ufuklar açan yapay zekâ (YZ) kullanımı sayesinde, su yönetimi giderek daha verimli hale gelmiştir. Yapay zekâ; su kalitesinin anlık izlenmesi, onarım gerektiren yapısal sorunların önceden tespit edilmesi, suyun en verimli şekilde dağıtılması ve sel felaketlerine karşı önceden tedbir alınması gibi suyla ilgili çeşitli zorlukların çözümünde yenilikçi yaklaşımlar sunma konusunda üstün bir performans sergilemektedir. Yapay zekânın sunduğu olanaklardan tam anlamıyla yararlanabilmek için; veri kalitesi, bağlantı sorunları, güvenlik kontrolleri, personel eğitimi ve mevzuata uyum gibi zorlukların kararlılıkla ele alınması gerekmektedir.



Kaynakça

- Amershi, S., Cakmak, M., Knox, W. B., & Kulesza, T. (2014). Power to the people: The role of humans in interactive machine learning. *AI Magazine*, 35(4), 105–120.
- Binz, C., Truffer, B., Li, L., Shi, Y., & Lu, Y. (2012). "Conceptualizing Leapfrogging with Spatially Multi-scalar Innovation Systems: The Case of Onsite Wastewater Treatment in China." *Technological Forecasting and Social Change*.
- Chandrasekaran, P. (2025). Digital Water. GenAI and AgenticAI for Water Utilities. International Water Association.(www.iwa-network.org).
- Davenport, M. A., et al. (2018). Knowledge transfer challenges in public water utilities: Workforce succession planning in the context of aging infrastructure. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(6), 04018022.
- Dhanasekar A. and Moskovitz S.(2025) “SWAN Corner: AI In The Water Sector — Navigating Innovation Responsibly October 16, 2025 <https://www.wateronline.com/doc/ai-in-the-water-sector-navigating-innovation-responsibly-0001>
- Dhanasekar A. and Bozeyeh B. (2026) “The Resilient Utility: Why AI Is The New Social Safety Net For Water” <https://www.wateronline.com/doc/the-resilient-utility-why-ai-is-the-new-social-safety-net-for-water-0001>
- Dhanasekar A., Meeker M., Karmous-EdwardsG. (2026) “The Augmented Operator: Navigating The Intersection Of AI And The Water Sector Workforce.”April 2,2026.<https://www.wateronline.com/doc/the-augmented-operator-navigating-the-intersection-of-ai-and-the-water-sector-workforce-0001>
- Geeksforgeeks (2025) “Artificial Intelligence in Water Management “<https://www.geeksforgeeks.org/artificial-intelligence/artificial-intelligence-in-water-management/>23 Jul, 2025
- GenAI as a Catalyst for Water Sector Transformation, 2025.Developed by the City of Carlton (GA) and The Water Tower as part of Water Research Foundation Project 5321:
- Ghidaoui, M. S., Zhao, M., McInnis, D. A., & Axworthy, D. H. (2005). "A Review of Water Hammer Theory and Practice." *Applied Mechanics Reviews*, 58(1), 49–76.
- Mounce, S. R., Mounce, R. B., & Boxall, J. B. (2011). Novelty detection for time series data analysis in water distribution systems using support vector machines. *Journal of Hydroinformatics*, 13(4), 672–686.
- Sinha, S. K., et al. (2023). "Water sector infrastructure systems resilience: A social–ecological–technical system-of-systems and whole-life approach." *Cambridge Prisms: Water*, 1-20.

Ulusal Su Planı (2026 – 2035) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Ankara 2026

UNESCO 2025 Rita Marteleira (Ed) Applications of AI for water management UNESCO / DELTARES, 2025 Published in 2025 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France and Deltares, 1 Boussinesqweg, 2629 HV Delft, the Netherlands

US Water Alliance. (2023). "Advancing Water Equity in Small and Rural Communities: The Role of Digital Solutions."

Various Authors. (2025). "The water workforce is graying. Here's what we need to do to restart." *Smart Cities Dive*.

Xenochristou, M., Hutton, C., Hofman, J., & Kapelan, Z. (2020). Water demand forecasting accuracy and influencing factors at different spatial scales using a gradient boosting machine. *Water Resources Research*, 56(8), e2019WR026304.

Zanfei, A., Menapace, A., Brentan, B. M., Luvizotto, E., & Righetti, M. (2022). Novel approach for burst detection in water distribution systems based on graph neural network. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104090.



