

Sürdürülebilir Su Yönetiminde Yenilikçi Çözümler ve Karşılaşılan Engeller

Sibel Çalışkan Ercan¹

Özet

Su, yaşamsal bir kaynak olmakla birlikte, küresel çapta artan su kıtlığı ve su kirliliği sorunları, acil ve etkin çözümler gerektiren kritik konular arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, su yönetimi ve sürdürülebilirlik alanlarında, yenilikçi yaklaşımların benimsenmesi ciddi bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışma, son yıllarda su yönetimi ve sürdürülebilirlik alanlarında gerçekleşen inovatif gelişmeleri mercek altına almakta ve bu yeniliklerin su kıtlığı ve kirliliğine karşı nasıl etkili çözümler sunabileceğini incelemektedir. Araştırma, teknolojik ve ekolojik temelli metodolojilerin, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliğini sağlamada gösterdiği başarıyı vurgulamaktadır. Ancak bu yenilikçi çözümlerin yaygınlaştırılmasının önünde maliyet, teknolojik karmaşıklık ve düzenleyici mevzuat gibi engeller bulunmaktadır. Bu engellerin üstesinden gelinmesi halinde, yenilikçi yaklaşımların su yönetimi ve sürdürülebilirlik alanında, özellikle su kıtlığı ve kirliliği gibi küresel sorunlarla mücadelede önemli katkılar sağlayabileceği öngörülmektedir. Araştırmanın sonuçları, su yönetimi ve sürdürülebilirlik alanlarında geliştirilen inovatif çözümlerin, su kaynaklarının korunmasına ve gelecek nesillere daha iyi bir çevre bırakma yolunda umut verici adımlar oluşturabileceğini göstermektedir. Bu yeniliklerin, su kıtlığı ve kirliliği gibi büyük sorunlara karşı etkili stratejiler geliştirmede yardımcı olabileceği öngörülmektedir. Ayrıca, bu bulguların su yönetimi politikalarının ve uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunabileceği ve bu alanda daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmasına ilham verebileceği düşünülmektedir.

1 Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Arel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü, sibelcaliskan@arel.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8675-0643.

GİRİŞ

Dünya yüzeyinin büyük bir bölümünü sular kaplasa da, insanlık için uygun olan tatlı su kaynakları oldukça sınırlıdır ve mevcut suyun yalnızca küçük bir kısmı ekosistemlerin ve insan kullanımının elverişli olduğu şekilde mevcuttur. Bu sınırlı kaynak, giderek artan insan nüfusu ve kapsamlı kullanım talepleri nedeniyle stres altındadır. Küresel ölçekte artan su kıtlığı ve kirliliği, bu değerli kaynağın sürdürülebilir yönetiminin önemini daha da artırmaktadır. Birleşmiş Milletler'in 2023 Dünya Su Gelişme Raporu'na göre, dünya genelinde yaklaşık iki ila üç milyar insan su kıtlığından etkilenmektedir (UNESCO, 2023: 1). Bu rapor, 2 milyar insanın (%26) güvenli içme suyuna erişiminin olmadığını ve 3,6 milyar insanın (%46) güvenli bir şekilde yönetilen sanitasyon hizmetlerine erişiminin olmadığını ortaya koymaktadır (UNESCO, 2023: 1-2). Ayrıca 2050 yılına kadar şehirlerde yaşayan su kıtlığından etkilenen insan sayısının iki katına çıkması ve aşırı ve uzun süreli kuraklıkların ekosistemleri tehdit etmesi beklenmektedir (UNESCO, 2023: 3).

Bu istatistikler, su kaynaklarının yönetiminin, korunmasının ve sürdürülebilir kullanımının zorunluluğunu gözler önüne sermektedir. Sürdürülebilir kalkınma ve su yönetimi konularında uluslararası iş birliği ve yenilikçi çözümler, bu küresel sorunun üstesinden gelmek için hayati öneme sahiptir. Bu bağlamda, bu çalışma su yönetimi ve sürdürülebilirlik alanlarında yenilikçi yaklaşımları ve bu yaklaşımların su kıtlığı ve kirliliği sorunlarına nasıl etkili çözümler sunabileceğini derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır. Diğer bir deyişle çalışmanın amacı, günümüzün en acil ve karmaşık sorunlarından biri olan su kıtlığı ve kirliliğiyle mücadelede yenilikçi yaklaşımların ve teknolojilerin önemini vurgulamak ve bu alandaki gelişmeleri incelemektir. Yenilikçi çözümlerin yaygınlaştırılması ve etkin bir şekilde uygulanması, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliğini sağlamada kritik öneme sahiptir. Araştırma sonuçları, su yönetimi ve sürdürülebilirlik alanlarında geliştirilen inovatif çözümlerin, su kaynaklarının korunmasına ve gelecek nesillere daha iyi bir çevre bırakma yolunda umut verici adımlar oluşturabileceğini göstermektedir.

1. Küresel Su Krizinin Boyutları ve Nedenleri

Su krizi, dünyamızın karşı karşıya olduğu en ciddi çevresel ve sosyal sorunlardan biridir ve bu krizin temelinde *su kıtlığı ve su kirliliği* yatmaktadır. UNESCO'nun 2019 Dünya Su Gelişme Raporu'nda vurgulandığı gibi su krizi, sadece suyun fiziksel varlığı ile ilgili değil, aynı zamanda suyun kalitesi, erişilebilirliği ve yönetimi ile de ilgilidir (UNESCO, 2019: 1-3).

Su kıtlığı, yeterli su kaynaklarının olmaması veya bu kaynaklara erişimin kısıtlanması durumudur. Bu durum, doğal su kaynaklarının tükenmesi, yanlış yönetim veya iklim değişikliği gibi faktörler nedeniyle ortaya çıkabilir. Su kıtlığı, tarım, sanayi ve evsel kullanım için gerekli suyun azalmasını ifade eder ve bu durum, gıda güvenliği ve ekonomik istikrarın yanı sıra birçok diğer önemli alanı da tehdit eder. Su kıtlığı, insan sağlığını doğrudan etkileyen içme suyunun teminini zorlaştırır, ekosistemlerin sağlığını bozar ve biyoçeşitliliğin korunmasını tehlikeye atar. Ayrıca, su kıtlığı, toplumların sosyal yapısını ve yaşam koşullarını da olumsuz etkiler, göç ve yerinden olma gibi sosyal sorunlara neden olabilir. Dolayısıyla, su kıtlığının etkileri çok yönlüdür ve sadece gıda ve ekonomiyle sınırlı kalmaz; aynı zamanda çevresel, sosyal ve sağlıkla ilgili geniş kapsamlı sorunlara yol açar. UNESCO'nun 2019 Dünya Su Gelişme Raporu'na göre, su kullanımındaki artışın, 2050 yılına kadar mevcut seviyelerin %20 ila %30 üzerine çıkması öngörülmektedir. Bu artan su talebi nedeniyle, dünya genelinde suya erişim konusunda zorluklar yaşayan yaklaşık 2 milyar insan ve her yıl belirli dönemlerde ciddi su kıtlığıyla karşılaşan yaklaşık 4 milyar insan etkilenecektir (UNESCO, 2019: 1). Bu, dünya nüfusunun büyük bir bölümünü etkileyecek ve su kaynaklarına yönelik baskıyı artıracak bir durumdur.

Su kirliliği, su kaynaklarının endüstriyel atıklar, tarımsal kimyasallar, evsel atıklar ve diğer kirleticiler tarafından kirlenmesi durumudur. Bu kirlilik, suyun içilebilirliğini ve sucul ekosistemlerin sağlığını olumsuz etkiler. Kirli su, insan sağlığını tehdit eden hastalıklara yol açabilir ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını engeller. Erişilebilirlik ise tüm toplulukların temiz ve güvenli suya eşit erişimine vurgu yapar. Bu, özellikle gelişmekte olan ülkelerde büyük bir meydan okumadır çünkü suya erişim sıklıkla ekonomik ve sosyal eşitsizliklerle bağlantılıdır. Dolayısıyla, su krizi, çok yönlü bir yapıya sahiptir ve bu krizin kıtlık, kirlilik, yönetim ve erişilebilirlik gibi birden fazla boyutunun dikkate alınarak ele alınması gerekmektedir (UNESCO, 2019: 1-5). Bu nedenle, su krizinin çözümü, kapsamlı bir süreç olarak kabul edilmeli ve bu süreç, uluslararası işbirliğini, sürdürülebilir yönetim stratejilerinin uygulanmasını ve yenilikçi teknolojik çözümlerin entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır. Su krizinin yönetimi, su kaynaklarının etkili ve adil bir şekilde kullanılmasını içerir. Bu, suyun hem mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılaması hem de gelecek nesiller için korunması anlamına gelir.

2. Sürdürülebilir Su Yönetimi: Entegre Yaklaşımlar ve Teknolojik Çözümler

Su kaynaklarının durumu ve yönetimi oldukça hassas bir konudur. Günümüzde su yönetimi; su, enerji, gıda güvenliği ve çevresel ilişkiler gibi

birbiriyle iç içe geçmiş konuların karmaşıklığıyla yüzleşmektedir. Etkili su yönetimi, su kaynaklarının korunması, kirliliğin önlenmesi ve su tasarrufu uygulamalarının benimsenmesi gibi çok yönlü stratejileri kapsamaktadır. Bu stratejilerin uygulanması, sürdürülebilir su kullanımını ve kaynakların dikkatli yönetimini mümkün kılar. 2013 yılı, Birleşmiş Milletler tarafından suyun barış ve kalkınma süreçlerindeki merkezi rolünü vurgulamak için uluslararası su işbirliği yılı olarak belirlendiğinde, BM Genel Sekreteri Ban Ki-Moon'un bu kaynağın korunması ve yönetimi için uluslararası işbirliğinin vazgeçilmez olduğuna dair vurgusu, su yönetimi pratiklerinin bütüncül bir bakış açısını gerektirdiğinin altını çizer. Bu bütüncül yaklaşım, çeşitli kullanım alanları ve sektörler arasındaki etkileşimleri kapsar ve sürdürülebilirlik için gerekli olan işbirliği ve koordinasyonu sağlamak üzere tasarlanmıştır (Muluk vd., 2014: 1).

Bu entegre perspektif, suyun, şehirleşme ve teknolojik gelişmeler ışığında, "akıllı şehir" kavramının bir parçası olarak ele alınmasına olanak tanır ve kentlerin, sadece altyapısal ihtiyaçlarını değil, aynı zamanda sosyal ve çevresel boyutları da kapsayan akıllı su yönetimi sistemlerine yatırım yapmasını gerekli kılar. Bu sistemler, içme suyu, atıksu ve yağmur suyu yönetimini bütüncül bir şekilde ele alır ve su kaynaklarının sürdürülebilir ve verimli kullanımını sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu akıllı su yönetimi yaklaşımı, yerel yönetimlerin su kaynaklarını daha etkin bir şekilde yönetmesini sağlayarak, bireylerin temiz ve sağlıklı içme suyuna erişimini artırır ve su kaynaklarının gelecek nesiller için korunmasını destekler. Gelişmiş su yönetimi sistemleri, su kaybını azaltma, enerji verimliliğini artırma ve atık suların çevreye uygun şekilde arıtılması gibi önemli işlevleri yerine getirirken, aynı zamanda su altyapılarına yönelik potansiyel tehditlere karşı hızlı ve etkili bir müdahale kapasitesi sunar (Polat vd., 2017: 366).

Bu entegre ve teknoloji destekli yönetim uygulamaları, su kaynakları yönetiminin karmaşıklığına ve giderek artan nüfus ile kentleşmenin getirdiği zorluklara karşı etkili çözümler sunmaktadır. Bu gelişmiş yönetim sistemlerinin uygulanması, su kaybının azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve atık suların çevreye uygun şekilde arıtılması gibi kritik işlevleri başarıyla yerine getirir. Bu süreç, su ve atıksu altyapı tesislerinin yönetiminde karşılaşılan miktar ve karmaşıklık gibi zorluklara etkili çözümler sunarken, aynı zamanda bu tesislerde meydana gelebilecek teknik aksaklıkların neden olabileceği sağlık risklerini ve sosyoekonomik sorunları önlemeye yardımcı olur. Bu nedenle, şehirlerdeki su yönetimi artık sadece geleneksel yöntemlerle değil, aynı zamanda teknoloji destekli sistemlerle de desteklenmeli ve bu entegre yaklaşım, potansiyel tehditlere karşı hızlı ve etkin müdahale imkanı sağlamaktadır (Polat vd., 2017: 366).

Sürdürülebilir su yönetimi, multidisipliner bir yaklaşım gerektirir ve su kaynaklarının uzun vadeli korunması, yönetilmesi ve kullanılmasıyla ilgili kapsamlı stratejileri içerir. Bu, suyun hem insanlar hem de ekosistemler için sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesini sağlamak amacıyla yapılan planlama ve uygulamaları kapsar. Sürdürülebilir su yönetimi; su verimliliğinin maksimize edilmesi, kirliliğin önlenmesi, ekolojik sistemlerin korunması, ve iklim değişikliği gibi global değişikliklere adaptasyon stratejilerini içerir. Ayrıca, katılımcı yönetim anlayışı, su yönetimi süreçlerine yerel toplulukların ve paydaşların dahil edilmesini vurgular. Bu yaklaşım, su kaynakları üzerine yapılan bilimsel araştırmalar ve teknolojik gelişmelerle desteklenmelidir.

Özetle, sürdürülebilir su yönetimi, hem mevcut hem de gelecek nesiller için su kaynaklarının korunması ve adil kullanımını sağlayacak şekilde, entegre ve kapsamlı bir yönetim stratejisi geliştirmeyi amaçlar. Bu bağlamda modern kentsel su yönetimi, su kaynaklarının sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırmak için ileri teknolojileri ve yenilikçi çözümleri entegre eder. Bu alandaki teknolojik ilerlemeler, su kaynaklarının daha akıllı ve etkin kullanımına olanak tanır. Akıllı şebeke sistemleri, su tüketimini gerçek zamanlı izleyerek, sızıntı ve kayıpları minimize eder ve suyun daha verimli kullanılmasını sağlar. Web tabanlı iletişim platformları, su yönetimi verilerinin toplanması, analizi ve paylaşılmasını kolaylaştırarak, karar verme süreçlerini destekler. Kentsel su yönetimi modelleri, su talep ve arzının doğru tahmin edilmesini sağlayarak, altyapı yatırımlarının ve operasyonel kararların optimizasyonuna katkıda bulunur. Bu teknolojik çözümler, kentsel alanlarda su yönetimini daha sürdürülebilir, esnek ve etkili hale getirerek, gelecek nesillere sağlıklı su kaynakları bırakmayı amaçlar (Polat vd., 2017: 368-370).

2.1. Sürdürülebilir Su Yönetiminde Yenilikçi Çözümler

Sürdürülebilirlik, su kaynaklarının etkin yönetimini ve korunmasını gerektiren hayati bir konudur. Son yıllarda, su yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik alanlarında dikkat çeken yenilikçi gelişmeler, global çapta önemli atılımlar sağlamıştır. Bu gelişmeler, toplumların sürdürülebilir çözümlere olan artan bağlılığını ve su tasarrufu ile yönetimi konusundaki zorlukların, teknolojik ve doğaya dayalı yaratıcı yöntemlerle nasıl aşılabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda suyun gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli miktarda ulaştırılabilmesi için her geçen gün çeşitli ve yenilikçi teknolojiler geliştirilmektedir. Su yönetiminde ileri teknolojilerin kullanımı, hem su tasarrufunu hem de su kalitesini artırma potansiyeline sahiptir. Örneğin, akıllı su şebekeleri ve sensör tabanlı izleme sistemleri, suyun daha verimli kullanımını sağlamakta ve sızıntıları hızlı bir şekilde tespit etmektedir. Ayrıca, atık suyun geri kazanımı ve yeniden kullanımı, su kaynaklarının

sürdürülebilirliğine büyük katkı sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre edilen su arıtma sistemleri de, enerji verimliliğini artırarak çevresel etkiyi azaltmaktadır. Tarımda su kullanımını optimize eden akıllı sulama sistemlerinden havadan nem çeken atmosferik su jeneratörlerine kadar her bir yenilik, umut verici çözümler sunmaktadır. Bu yenilikler, su kıtlığına karşı etkili çözümler sunmakta ve su kaynaklarının uzun vadeli korunmasına yardımcı olmaktadır. Böylece, hem ekosistemlerin sağlığı korunmakta hem de toplumların su güvenliği sağlanmaktadır.

2.1.1. Yapay Zekâ ile Güçlendirilmiş Akıllı Tarım: Sulama Yöntemleri ve Teknoloji Trendleri

Son yıllarda, su yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik alanlarında kaydedilen yenilikçi gelişmeler, tarımsal uygulamalarda önemli bir dönüşümü teşvik etmiştir. Bu dönüşümün merkezinde, yapay zeka (AI) ve hassas tarım tekniklerinin entegrasyonu yer almaktadır. Bu entegrasyon, tarımsal verimliliğin artırılması ve su kaynaklarının daha etkin kullanımı gibi kritik hedeflere ulaşılmasında kilit bir rol oynamaktadır. Hassas tarım, tarımsal faaliyetlerin yönetiminde büyük veri, uydü görüntüleri, uzaktan algılama teknolojileri ve yerinde sensörler gibi çeşitli veri kaynaklarından yararlanır. Bu teknolojiler, bitkilerin ve toprağın ihtiyaç duyduğu su miktarını daha doğru bir şekilde belirlemeye yardımcı olur. Yapay zeka algoritmaları, bu verileri analiz ederek, sulama zamanlaması ve miktarı konusunda önerilerde bulunur. Bu sayede, su kullanımı optimize edilirken, tarımsal üretimde su israfının önlenmesi ve su verimliliğinin artırılması mümkün hale gelir.

Optimize edilmiş sulama yöntemleri ve yapay zekanın hassas tarıma entegrasyonu, sürdürülebilir su kullanımını teşvik ederek, küresel su krizine karşı etkili bir çözüm sunmaktadır. Yapay zeka destekli sistemler, topraktaki nem seviyelerini analiz ederek ve kaçakları otomatik olarak tespit ederek, sulama süreçlerini verimli hale getirir. Bu yaklaşım, su kaynaklarının korunması ve tarımsal üretkenliğin artırılmasında hayati öneme sahiptir. Gelişmiş teknolojiler, çiftçilere su kullanımını optimize etme ve aşırı tüketimi önleme konusunda rehberlik eder, bu da suyun daha adil ve etkili bir şekilde dağıtılmasını sağlar. Bu teknolojik ilerlemeler, tarımda su verimliliğini artırmak ve gelecek nesillere sağlıklı bir çevre bırakmak için kritik öneme sahiptir (Alcolca, 2024). Örneğin, Avustralya'da bir çiftlikte uygulanan bulut tabanlı su yönetim sistemi, uydü verileri ile desteklenerek, su kullanımında önemli bir verimlilik artışı sağlamıştır. Bu sistem, çiftliğin su ihtiyacını gerçek zamanlı olarak belirleyerek, gereksiz sulamayı önler ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını teşvik eder (NGIS, 2024).

Geleneksel sulama uygulamaları; verimsiz su kullanımı, aşırı sulama ve yetersiz dağılım sistemleri gibi çeşitli güçlüklerle karşı karşıyadır. Bu durum, su kaybına, artan maliyetlere ve çevresel endişelere yol açmaktadır. Teknolojik yeniliklerle donatılan hassas ve mikro sulama sistemleri ise toprak nem sensörleri gibi araçlar vasıtasıyla bu zorlukların üstesinden gelmede önemli bir rol oynamaktadır. Küresel ölçekte su kaynaklarının giderek azalması ve iklim değişikliğinin etkilerinin artması, tarımda suyun daha verimli ve sürdürülebilir kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, yapay zeka destekli hassas tarım uygulamaları, tarımsal faaliyetlerde suyun yönetimini optimize ederek su tasarrufunu artırma potansiyeline sahiptir. Bu teknolojiler, çiftçilerin mevcut koşulları gerçek zamanlı izleyerek, sulama süreçlerini hassas bir şekilde planlamalarına ve uygulamalarına imkan tanır. Yapay zeka ve veri analitiğindeki ilerlemelerle birlikte, tarımsal su yönetiminde daha sofistike ve etkili çözümler geliştirilmektedir. Bu çözümler, yalnızca su tasarrufunu değil, aynı zamanda tarımsal üretimin verimliliğini de artırarak, sürdürülebilir tarım hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunur.

2.1.2. Döngüsel Su Ekonomisi: Su Kaynaklarının Geri Kazanımına Yönelik Öncü Stratejiler

Döngüsel su ekonomisi, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını, geri kazanımını ve yeniden kullanımını vurgulayan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu kavram, su kıtlığı, kirlilik ve iklim değişikliğinin etkileriyle karakterize edilen büyüyen küresel su krizine yanıt olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir. Döngüsel su ekonomisi, suyun çıkarılıp kullanıldıktan sonra atık olarak deşarj edildiği geleneksel doğrusal modelden, suyun yeniden kullanımı, geri dönüştürülmesi ve kaynak geri kazanımını içeren daha sürdürülebilir bir modele geçişi hedeflemektedir. Bu yaklaşım, yalnızca su tüketimini ve atığı azaltmayı amaçlamakla kalmaz, aynı zamanda değişen çevresel ve sosyal koşullara uyum sağlayabilen dayanıklı sistemler oluşturmayı da hedefler (Chia-Yang Chen vd., 2021: 2).

Döngüsel su ekonomisinin temel ilkelerinden biri, suyun her damlasının bir değer taşıdığı ve bu nedenle hiçbir şekilde boşa harcanmaması gerektiğidir. Bu bağlamda, evsel, endüstriyel ve tarımsal su kullanımında atık suyun geri kazanımı ve yeniden kullanımına odaklanılır. Örneğin, evsel atık suların arıtılarak tarımsal sulamada kullanılması veya endüstriyel süreçlerde kullanılan suların arıtılıp yeniden sisteme dahil edilmesi gibi yöntemler bu ekonominin pratik örneklerindedir. Böylelikle, suyun doğrudan kaynaklardan çekilme ihtiyacı azalırken, aynı zamanda çevresel etkiler de minimize edilir (Brears, 2023; Chia-Yang Chen, 2021: 13).

Yenilikçi teknolojilerin kullanımı ve gelişimi, döngüsel su ekonomisinin başarısında önemli bir rol oynamaktadır. Gelişmiş arıtma sistemleri, enerji ve malzeme verimliliği sağlayan süreçler ve dijital su yönetim platformları, su kaynaklarının daha etkin yönetimini destekleyen araçlardır. Özellikle, membran biyoreaktörler, ters ozmoz gibi ileri arıtma teknolojileri, kirlenici maddelerin su kaynaklarından etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını ve geri kazanılmasını sağlar. Ayrıca, IoT (Nesnelerin İnterneti) ve veri analitiği, su tüketim alışkanlıklarının izlenmesi ve yönetimi açısından yeni fırsatlar sunmaktadır (Brears, 2023).

Döngüsel su ekonomisi aynı zamanda sürdürülebilir şehircilik uygulamaları ve politika değişiklikleri gerektirir. Şehirlerin su yönetiminde daha entegre yaklaşımlara yönelmesi, yeşil altyapının artırılması, yağmur suyu hasadı sistemlerinin kurulması ve suyun daha etkin kullanımı için toplumsal farkındalığın artırılması gibi unsurlar, bu dönüşümde kritik öneme sahiptir. Suyun yeniden kullanımı ve geri kazanımının teşvik edilmesi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için şehir yönetimlerinin öncelik vermesi gereken konular arasında yer alır (Christian ve Claudia, 2016: 2160-2162).

Sonuç olarak, döngüsel su ekonomisi, su kaynaklarının daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini sağlamak için yeni yaklaşımlar ve çözümler sunmaktadır. Bu model, yalnızca su kıtlığını ve su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda su güvenliğini artırarak iklim değişikliğine karşı daha dirençli bir gelecek inşa etmeye de yardımcı olur.

2.1.3. Yağmur Suyu Hasadı ve Doğa Tabanlı Su Yönetimi: Sürdürülebilir Çözümler

Yağmur suyu hasadı sistemleri ve doğa tabanlı su yönetimi yaklaşımları, su güvenliğini artırma ve çevresel sürdürülebilirliği destekleme konusunda birbirini tamamlayan önemli stratejilerdir. Yağmur suyu hasadı, özellikle su kıtlığı yaşanan bölgelerde ek bir su kaynağı sağlayarak geleneksel su kaynaklarına olan bağımlılığı azaltır. Modern yağmur suyu toplama sistemleri, çatılardan toplanan yağmur suyunu depolayarak sulama, tuvalet sifonu ve çamaşır yıkama gibi içme suyu dışındaki amaçlar için kullanıma sunar. Bu sistemler, aynı zamanda gelişmiş filtreleme ve arıtma süreçleri sayesinde depolanan suyun temiz ve güvenli olmasını sağlar. Böylece, su kıtlığı yaşayan bölgelerde içilebilir su kaynağı olarak dahi kullanılabilir hale gelir (Martinez, 2024).

Yağmur suyu hasadı sistemleri, özellikle kuraklık ve su kıtlığı dönemlerinde önemli bir rol oynar. Bu sistemler, suyun korunmasına katkıda bulunarak

nehirler ve yeraltı suları gibi doğal su kaynaklarına olan baskıyı azaltır. Aynı zamanda, aksi takdirde akışa ve sel riskine yol açabilecek yağmur suyunu toplayarak, kentsel altyapı üzerindeki baskıyı hafifletir. Çevresel açıdan ise, suyun doğal döngüsünü koruyarak ekosistemlerin sürdürülebilirliğine katkıda bulunur. Ekonomik anlamda, su faturalarını düşürmenin yanı sıra, birçok ülkede yağmur suyu hasadı sistemlerine yönelik teşvikler ve indirimler de sağlanmaktadır (Martinez, 2024).

Doğa tabanlı yağmur suyu yönetimi yaklaşımları ise, yağmur suyunun doğal süreçlerle yönetilmesini hedefler. Geleneksel mühendislik çözümleri, yağmur suyunu geçirimsiz yüzeylerden hızla şehir dışına yönlendirirken, doğa tabanlı çözümler suyun toprak tarafından emilmesi ve doğal yollarla arıtılmasını sağlar. Yeşil çatılar, yağmur bahçeleri ve geçirgen yüzeyler gibi çözümler, yüzey akışını azaltarak taşkın riskini minimize eder ve yer altı suyu seviyelerinin korunmasına yardımcı olur. Ayrıca, bu yöntemler kentsel ısı adası etkisini azaltarak daha yaşanabilir şehirler yaratır. Doğa tabanlı çözümler, ekosistem hizmetlerinden yararlanarak sadece çevresel değil, toplumsal ve ekonomik faydalar da sunar. Şehirlerin iklim değişikliğine karşı direncini artırarak su yönetiminde sürdürülebilirliği teşvik ederler. Ancak, bu tür çözümlerin uygulanması, yüksek başlangıç maliyetleri, teknik bilgi eksikliği ve mevcut altyapı ile entegrasyon zorlukları gibi bazı engelleri de beraberinde getirebilir. Bu nedenle, doğa tabanlı çözümlerin farklı coğrafi ve iklimsel koşullarda nasıl optimize edilebileceği üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (North Carolina Coastal Federation, 2021).

Sonuç olarak, hem yağmur suyu hasadı sistemleri hem de doğa tabanlı su yönetimi yaklaşımları, su güvenliği ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen etkili stratejiler sunmaktadır. Suyun korunmasına ve daha verimli kullanılmasına katkıda bulunan bu yöntemler, gelecekte su yönetimi politikalarının ayrılmaz bir parçası olmalıdır. Öyle ki ekosistem hizmetlerinden yararlanarak şehirlerin su yönetiminde yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler sunan bu yaklaşımlar, sürdürülebilir şehircilik stratejilerinin vazgeçilmez bir unsuru haline gelecektir.

2.1.4. Su Nötr Binalar: Öncü Sıfır Su Ayak İzi Tasarımları

Su nötr binalar, tatlı su kaynaklarına yönelik talebi minimize etmek ve çevresel, sosyal ve ekonomik faydalar sağlamak amacıyla yenilikçi tasarım ve teknolojilerle sıfır su ayak izine ulaşmayı hedefleyen yapılardır. Küresel ölçekte artan su kıtlığı sorunu, binaların su tüketiminin azaltılmasını zorunlu kılmakta, bu doğrultuda su nötr binalar, yağmur suyu hasadı, su tasarruflu cihazlar ve su arıtma ve yeniden kullanım sistemleri gibi yenilikçi çözümler

sunmaktadır. Su nötr binalar, su tüketimlerini ürettikleri veya yeniledikleri su miktarıyla dengeleyen, böylece net sıfır su ayak izi sağlayan yapılardır. Bu hedefe ulaşmak için kullanılan başlıca yöntemler arasında yağmur suyu hasadı, su tasarruflu armatür ve cihazlar ile suyun arıtılarak yeniden kullanımı yer almaktadır. Bu binalar, su kaynaklarının korunmasına yönelik etkin çözümler sunarken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de desteklemektedir (Federal Energy Management Program, 2023).

Su nötr binaların temel faydalarından biri, tatlı su kaynaklarına olan talebi azaltarak bu kaynakların başka kullanım alanlarına yönlendirilmesine olanak sağlamasıdır. Bunun yanı sıra, su nötr binalar, kentleşmenin su kaynakları üzerindeki baskısını hafifleterek su kirliliğini azaltma ve su kalitesini artırma potansiyeline sahiptir. Bu çevresel faydalar, su kıtlığına karşı dayanıklılığı artırmakta ve sürdürülebilir kentsel gelişime katkıda bulunmaktadır. Ekonomik açıdan, su nötr binalar su temini ve atık su arıtma maliyetlerini düşürebilmektedir. Ayrıca, bu binalar genellikle yeşil çatılar ve canlı duvarlar gibi su ve enerji tasarrufu sağlayan yenilikçi tasarımlarla donatılmış olup, bina sakinlerine daha sağlıklı ve yaşanabilir bir ortam sunarak sağlık ve refah açısından da olumlu etkiler yaratmaktadır (Naserisafavi vd., 2022: 1)

Danimarka'daki Green Solution House, su nötr, karbon nötr ve enerji pozitif bir yapı olarak öne çıkan bir örnektir. Bu otel ve konferans merkezi, yağmur suyu hasadı, su tasarruflu armatürler ve su arıtma ve yeniden kullanım sistemleri ile su nötr statusüne ulaşmıştır. Binanın yağmur suyu hasadı sistemi, çatıdan toplanan yağmur suyunu depolayarak, tuvaletlerde ve pisuarlarda yeniden kullanım için işlemektedir. Ayrıca, düşük akışlı musluklar, duş başlıkları ve çift sifonlu tuvaletler su tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Arıtma sistemi ise binadan gelen atık suyu işleyerek içme suyu dışındaki kullanımlarda yeniden değerlendirilmesini sağlamaktadır. Green Solution House, bu yöntemlerle su tüketimini %75 oranında azaltmayı başarmış ve yağmur suyu hasadı ile yılda 120.000 litre tatlı su tasarrufu sağlamıştır. Bu başarı, su nötr binaların sürdürülebilir şehirler ve binalar yaratma yolunda ne kadar etkili olabileceğini göstermektedir (Brears, 2023).

2.1.5. Su Kalitesi ve Taşkın Kontrolü İçin Doğa Temelli ve Teknoloji Tabanlı Çözümler

Su kalitesi ve taşkın kontrolü, sürdürülebilir çevre yönetimi ve kamu sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel mühendislik çözümlerinin yanı sıra, doğa temelli çözümler, bu alanlarda etkili bir alternatif sunmaktadır. Doğa temelli çözümler, ekosistemlerin doğal işlevlerini kullanarak su yönetimini ve taşkın kontrolünü gerçekleştirmekte, böylece çevresel dengeyi

desteklemektedir. Su kalitesinin bozulması, tarım, sanayi, kentleşme ve iklim değişikliği gibi etkenlerden kaynaklanmakta ve su kaynaklarının azalmasına, ekosistemlerin tahrip olmasına yol açmaktadır. Doğa temelli çözümler, doğal ekosistemleri kullanarak kirleticileri filtreleme ve su kalitesini artırma yolunda etkili bir yöntem sunmaktadır. Özellikle sulak alanların restorasyonu, su kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Sulak alanlar, besin maddeleri, tortular ve zararlı kimyasallar gibi kirleticileri emme ve filtreleme kapasitesine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle, sulak alanlar doğal bir su filtresi işlevi görmekte ve kirleticilerin su kaynaklarına ulaşmasını önleyerek su kalitesini artırmaktadır (Rotary Service and Engagement, 2018). Ormanlar da su kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip bulunmaktadır. Ormanlar, yağmur sularını emme ve toprakta depolama yoluyla su kalitesini iyileştirmekte ve erozyonu azaltarak su kaynaklarını korumaktadır. Doğa temelli çözümler kapsamında ormanların korunması ve restorasyonu, su kalitesini artırmak için kritik bir strateji oluşturmaktadır (UNEP-DHI, 2020: 9).

Su kalitesi ve taşkın kontrolü için doğa temelli çözümler yanında, teknoloji tabanlı yaklaşımlar da önemli bir yer tutmaktadır. Akıllı su yönetim sistemleri, su kalitesinin izlenmesi ve taşkın kontrolü için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu sistemler, sensörler ve veri analitiği kullanarak su kaynaklarının gerçek zamanlı izlenmesini sağlamaktadır. Örneğin, su kalitesini izlemek için kullanılan dijital sensörler, kirleticilerin ve besin maddelerinin seviyelerini sürekli olarak takip ederek, hızlı bir şekilde müdahale edilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknolojileri, su kaynaklarının yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiler, taşkın riski taşıyan bölgelerin belirlenmesi ve su akışlarının analiz edilmesi için kullanılmakta, böylece önleyici önlemlerin alınmasına olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmaları, geçmiş veri setlerinden yararlanarak gelecekteki su kalitesi ve taşkın risklerini tahmin edebilmektedir. Son olarak, şehirlerde doğa temelli çözümlerle entegre edilmiş akıllı altyapı uygulamaları, kentsel taşkınları azaltma potansiyeline sahiptir. Örneğin, yağmur suyu toplama sistemleri, kentsel alanlarda suyun depolanmasına ve yeniden kullanımına olanak tanırken, dijital yönetim platformları, bu sistemlerin etkinliğini artırmaktadır (Ehsani vd., 2021: 2435).

Ayrıca kentsel alanlarda uygulanan doğa temelli çözüm unsurları, taşkın kontrolünde de önemli bir rol oynamaktadır. Geçirgen kaldırımlar, yağmur bahçeleri ve yeşil çatılar, yağmur suyu akışını yöneterek taşkın riskini azaltmakta ve su kalitesini artırmaktadır. Bu uygulamalar, doğal ekosistemleri taklit ederek kentsel çevrelerde suyun daha etkili bir şekilde yönetilmesine olanak

tanılmaktadır. Sonuç olarak, su kalitesi ve taşkın kontrolü için doğa temelli ve teknoloji tabanlı çözümler, sürdürülebilir su yönetimi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Doğal ekosistemlerin korunması ve restorasyonu, su kalitesinin iyileştirilmesi ve taşkın risklerinin azaltılması amacıyla etkili bir strateji sunmakta ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Bu nedenle, bu tarz çözüm uygulamalarının yaygınlaştırılması ve entegrasyonunun sağlanması, gelecekteki su yönetimi politikalarının önemli bir parçası olmalıdır.

2.1.6. Atıksu Yönetiminde Endüstriyel Simbiyoz Modeli

Endüstriyel simbiyoz modeli kapsamında atık su yönetimi, kaynak verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu model, atık suyun yeniden kullanımı ve arıtılması yoluyla doğal su kaynaklarının korunmasına ve atıkların çevresel etkilerinin azaltılmasına önemli katkılar sağlar. Atık su, endüstriyel simbiyozda yalnızca bertaraf edilmesi gereken bir atık değil, aynı zamanda yeniden değerlendirilebilecek bir kaynak olarak görülmektedir. Endüstriyel simbiyozun en başarılı örneklerinden biri olan Kalundborg Eko-Endüstriyel Parkı, atık suyun yeniden kullanımında öncü uygulamalar sunmaktadır. Parktaki farklı endüstriyel tesisler arasında oluşturulan iş birliği sayesinde, bir tesisin atık suyu diğer bir tesisin üretim süreçlerinde yeniden kullanılmaktadır. Örneğin, Kalundborg'daki ilaç üretim tesisinden çıkan atık su, ileri arıtma süreçlerinden geçirilerek yakındaki petrol rafinerisinde proses suyu olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, su kaynaklarının verimli kullanımını teşvik etmekle birlikte, hem su tüketimini azaltmakta hem de atık suyun çevresel etkilerini en aza indirmektedir (Brears, 2023).

Atık suyun yeniden kullanılması sadece endüstriyel süreçlerde su tasarrufu sağlamamakta, aynı zamanda çevre üzerindeki kirlilik yükünü de azaltmaktadır. Arıtma tesisleri, atık sudaki kirletici maddeleri azaltarak çevreye salınan suyun kalitesini iyileştirmekte ve yerel ekosistemlerin korunmasına katkı sağlamaktadır. Kalundborg'da görüldüğü gibi, atık suyun endüstriyel süreçlerde yeniden kullanılması, doğrudan su kaynaklarına olan talebi düşürmekte ve endüstrilerin su ayak izini azaltmaktadır. Endüstriyel simbiyoz modelinde atık su yönetiminin bir diğer önemli yönü, enerji tasarrufudur. Atık su arıtma süreçlerinde açığa çıkan ısı enerjisi, Kalundborg örneğinde olduğu gibi, diğer endüstriyel tesislerde farklı amaçlarla kullanılabilir. Örneğin, atık su arıtma sürecinden elde edilen fazla ısı, tarım alanlarındaki biyolojik gübre üretimi için kullanılabilir. Bu, enerji verimliliğini artırarak endüstrilerin çevresel etkilerini daha da azaltmaktadır. Endüstriyel simbiyozda atık suyun etkin bir şekilde yönetilmesi, sadece

çevresel sürdürülebilirlik için değil, aynı zamanda ekonomik verimlilik için de kritik önemdedir. Atık suyun yeniden kullanımına yönelik uygulamalar, işletmelerin su tedarik maliyetlerini düşürmesine ve atık su bertarafı için harcanan maliyetlerin azalmasına olanak tanımaktadır. Bu da endüstrilerin hem çevresel hem de ekonomik performanslarını iyileştirmektedir (Ramin vd., 2024: 1-2).

Sonuç olarak, endüstriyel simbiyoz modelinde atık suyun yeniden kullanımı, sürdürülebilir su yönetiminin ve döngüsel ekonominin önemli bir unsuru olarak öne çıkmaktadır. Atık suyun farklı endüstriyel süreçlerde değerlendirilmesi, doğal kaynakların korunmasına, çevresel kirliliğin azaltılmasına ve endüstriyel verimliliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Kalundborg Eko-Endüstriyel Parkı, bu konuda başarılı bir örnek sunarak, atık su yönetiminin endüstriyel simbiyozda nasıl stratejik bir kaynak olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

SONUÇ

Dünya genelinde su kıtlığı ve su kirliliği, insanlığın karşı karşıya olduğu en acil çevresel ve sosyal sorunlar arasında yer almakta ve bu sorunlar, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için uluslararası iş birliği ve yenilikçi yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Artan nüfus, iklim değişikliği ve yanlış yönetim, su kaynakları üzerinde büyük bir baskı oluştururken, bu baskıyı hafifletmek için etkin ve uzun vadeli çözümler gerekmektedir. Su kaynaklarının korunması, yalnızca mevcut nesillerin değil, gelecekteki nesillerin de temel ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için kritik önemdedir. Bu bağlamda, su krizinin çözümünde sürdürülebilir yönetim stratejileri ve teknolojik inovasyonların entegrasyonu, hayati bir rol oynamaktadır.

Sürdürülebilir su yönetimi, modern kentleşme ve iklim değişikliği gibi küresel zorluklarla başa çıkabilmek için bütüncül ve yenilikçi yaklaşımlar gerektirmektedir. Su kaynaklarının korunması ve verimli kullanımı, ileri teknolojilerin entegrasyonu ve katılımcı yönetim modelleriyle mümkün hale gelmektedir. Akıllı su şebekeleri, sensör tabanlı izleme sistemleri ve atık suyun geri dönüşümü gibi yenilikçi çözümler, su yönetiminde etkinliği artırarak hem ekosistemlerin hem de toplumların su güvenliğini sağlamaya yönelik önemli katkılar sunmaktadır. Bu bağlamda, teknolojik ilerlemeler, su kaynaklarının gelecek nesiller için sürdürülebilirliğini sağlamada hayati bir rol oynamaktadır.

Son yıllarda yapay zeka ile güçlendirilmiş hassas tarım uygulamaları, su kaynaklarının daha verimli kullanımını teşvik ederek sürdürülebilir tarımsal üretimi desteklemektedir. Bu teknolojiler, sulama süreçlerini optimize

ederek, su israfını azaltmakta ve tarımsal verimliliği artırmaktadır. Yapay zeka algoritmaları, toprak nemi ve bitki su ihtiyaçlarını gerçek zamanlı olarak analiz ederek, tarımsal faaliyetlerin su kullanımını en aza indirmekte ve çevresel sürdürülebilirliği artırmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşımlar, küresel su krizine karşı tarımsal su yönetiminde etkili çözümler sunmaktadır.

Dahası, döngüsel su ekonomisi, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini ve geri kazanımını teşvik eden yenilikçi bir yaklaşımdır. Atık suyun yeniden kullanımını ve geri dönüştürülmesini sağlayan bu model, su kıtlığı ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlara karşı etkili çözümler sunmaktadır. İleri arıtma teknolojileri ve dijital su yönetim sistemlerinin desteğiyle, su tüketimi ve çevresel etkiler azaltılmakta, su güvenliği artırılarak daha dirençli bir gelecek inşa edilmektedir.

Ayrıca, yağmur suyu hasadı ve doğa tabanlı su yönetimi çözümleri, su güvenliği ve çevresel sürdürülebilirliğin güçlendirilmesine yönelik yenilikçi stratejiler sunmaktadır. Bu yaklaşımlar, su döngüsünün korunmasına katkı sağlarken, ekosistem hizmetlerini de devreye sokarak şehirlerin iklim değişikliğine karşı direncini artırmaktadır. Suyun etkin kullanımı ve taşkın risklerinin azaltılması gibi somut faydalar sunan bu yöntemler, sürdürülebilir kentleşme politikalarının temel bileşeni olarak değerlendirilebilir.

Bunlarla birlikte, su nötr binalar, küresel su kıtlığına karşı sürdürülebilir çözümler sunarak, çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar sağlamaktadır. Yağmur suyu hasadı, su tasarruflu cihazlar ve suyun geri dönüştürülmesi gibi yenilikçi yöntemlerle su tüketimini minimize eden bu yapılar, tatlı su kaynaklarının korunmasına katkı sağlarken, kentleşmenin su kaynakları üzerindeki baskısını da azaltmaktadır. Green Solution House gibi başarılı örnekler, su nötr binaların sürdürülebilir şehirlik politikalarının ayrılmaz bir parçası olma potansiyelini göstermektedir.

Yine su kalitesi ve taşkın kontrolü için doğa temelli ve teknoloji tabanlı çözümler, sürdürülebilir su yönetimi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Sulak alanların restorasyonu, ormanların korunması ve geçirgen yüzeyler gibi doğa temelli çözümler, su kalitesini iyileştirirken taşkın risklerini de azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, akıllı su yönetim sistemleri ve veri analizine dayalı teknolojiler, su kaynaklarının daha etkin izlenmesini ve yönetilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemlerin entegre edilmesi, gelecekte su yönetiminde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması adına kritik bir rol oynayacaktır.

Tüm bu çözümlerin yanında, endüstriyel simbiyoz modeli çerçevesinde atık su yönetimi de sürdürülebilir su kullanımı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Atık suyun yeniden kullanımı, doğal

su kaynaklarının korunmasına ve çevresel kirliliğin azaltılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Kalundborg Eko-Endüstriyel Parkı gibi örnekler, atık suyun endüstriyel süreçlerde stratejik bir kaynak olarak değerlendirilmesinin ekonomik verimliliği artırdığını ve çevresel etkileri minimize ettiğini göstermektedir. Bu modelin yaygınlaştırılması, dögüsel ekonomi hedeflerine ulaşılmasına ve endüstriyel sürdürülebilirliğin sağlanmasına önemli katkılar sunacaktır.

Ancak, tüm bu yenilikçi çözümlerin uygulanmasında çeşitli engeller de bulunmaktadır. Öncelikle, finansal kaynakların yetersizliği ve yüksek başlangıç maliyetleri, teknolojik yeniliklerin hayata geçirilmesini zorlaştırmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları için gereken yatırımlar genellikle yetersiz kalmakta ve bu durum, su kaynaklarının etkin yönetimini engellemektedir. Ayrıca, mevcut politikaların yetersizliği ve bürokratik engeller, yenilikçi çözümlerin benimsenmesini geciktirmekte ve yerel düzeyde iş birliğini zorlaştırmaktadır. Eğitim eksiklikleri ve farkındalık düzeyinin düşük olması da, toplulukların bu tür çözümleri kabul etmesini engelleyen önemli bir faktördür. Sonuç olarak, bu engellerin aşılması, sürdürülebilir su yönetimi çözümlerinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, sürdürülebilir su yönetimi ve yenilikçi çözümlerin entegrasyonu, su kaynaklarının korunması ve yönetimi konusunda umut verici bir perspektif sunmaktadır. Bu çözümlerin uygulanması, hem çevresel sürdürülebilirliği artıracak hem de toplumların su güvenliğini sağlamada önemli bir adım olacaktır. Dolayısıyla, su yönetimi politikalarının ve uygulamalarının geliştirilmesine yönelik daha fazla araştırma ve inovasyon çabası, gelecekte su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Alcolca, J. (2024). “Tarım için Görme Yapay Zekası Kullanmanın En Önemli 10 Faydası”, Ultralytics. <https://www.ultralytics.com/tr/blog/top-10-benefits-of-using-vision-ai-for-agriculture>. Erişim Tarihi: 28.02.2024.
- Brears, R. C. (2023). “Circular Water Economy: Innovative Approaches to Water Resource Recovery and Resiliency”, Medium. <https://medium.com/mark-and-focus/circular-water-economy-innovative-approaches-to-water-resource-recovery-and-resiliency-57d33dc6cf92>. Erişim Tarihi: 12.09.2024.
- Chen CY, Wang SW, Kim H, Pan SY, Fan C, Lin YJ (2021). “Non-conventional water reuse in agriculture: A circular water economy”, *Water Res*, 2021 Jul 1, 199 (117193), 1-17. doi: 10.1016/j.watres.2021.117193.
- Christian K., Claudia P., (2016). “A Comparative Analysis of Water Governance, Water Management, and Environmental Performance in River”. *Water Resources Management*, 30(7), 2161–2177.
- Ehsani, N., Didehvar, F., Moosavian, M. A. (2021). “Application of artificial intelligence in water quality prediction: A review of state-of-the-art methods”. *Water Resources Management*, 35(8), 2435-2452. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02841-3>
- Federal Energy Management Program (2023). “Net Zero Water Building Strategies”, <https://www.energy.gov/femp/net-zero-water-building-strategies>, Erişim Tarihi: 06.10.2024.
- Lehtoranta, S., Nissinen, A., Mattila, T., Melanen, M., (2011). “Industrial symbiosis and the policy instruments of sustainable consumption and production”, *J. Clean. Prod.* 19, 1865–1875. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2011.04.002>.
- Martinez, D. (2024). “Innovative Solutions for Sustainable Water Management: Top Technologies”, *Woke Waves*. <https://www.wokewaves.com/posts/sustainable-water-management-technologies>. Erişim Tarihi: 06.10.2024.
- Muluk, Ç., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U. (2014). “Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif”, *Sürdürülebilir Kalkınma Derneği*, FAO, Doğa Koruma Merkezi, Yaşama Dair Vakıf, Türkiye.
- Naserisafavi N., Yaghoubi, E., Sharma, A.K. (2022). “Alternative water supply systems to achieve the net zero water use goal in high-density mixed-use buildings”. *Elsevier, Sustainable Cities and Society*, 76 January (103414), 1-11
- NGIS (2024). “Fortescue Globe”, <https://ngis.com.au/case-studies/fortescue-globe/>. Erişim Tarihi: 09.09.2024.
- North Carolina Coastal Federation (2021). “Action Plan for Nature-based Stormwater Strategies: Promoting Natural Designs that Reduce Floo-

- ding and Improve Water Quality”, <https://www.nccoast.org/resource/nbss/#:~:text=The%20key%20principle%20of%20nature,and%20large%2Dscale%20watershed%20restoration.>, Erişim Tarihi: 06.10.2024.
- North Carolina Department of Environmental Quality (2020). “Stormwater Design Manual,” deq.nc.gov/about/divisions/energy-mineral-land-resources/energy-mineral-land-permit-guidance/stormwater-bmp-manual, Erişim Tarihi: 06.10.2024.
- Polat, N., Bilgiç, E., Gündüz, O. (2017). “Akıllı Kentlerde Su Yönetimi Uygulamaları”, Uluslararası 4. Su Kongresi, 2-4 Kasım, İzmir, s.365-375.
- Ramin, E., Faria, L., Gargalo, C.I., Ramin, P., Flores-Alsina, X., Andersen, M.M., Gernacy, K.V. (2024). “Water innovation in industrial symbiosis - A global review”, *Journal Environmental Management*, 349 (119578), 1-16.
- Soylu, N., Suişmez, B.R., Baran, E. A., Alemdaroğlu, E., Gözar M.; Ünal, S. (2006). Türkiye Su Kaynakları ve Sulama Hizmetleri Yapılanması, TMMOB Su Politikaları Kongresi 21-23 Mart 2006, TMMOB, Ankara, s.331-348.
- UNEP-DHI (2020). “Nature-Based Solutions For Water Management”, UN Environment-DHI, UN Environment and IUCN, A Primer.
- UNESCO (2019). UN World Water Development Report 2019: Leaving no one behind. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>, Erişim Tarihi: 29.01.2024.
- UNESCO (2023). UN World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesco.org/un-world-water-development-report-2023>, Erişim Tarihi: 25.01.2024.

