

Su Kaynakları Yönetiminin Geleceği, Su Güvenliği ve Ortaya Çıkan Sorunlar

Cengiz Koç^{1,*} 

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 48000, Muğla.

Özet

Entegre Su Kaynakları Yönetimi (ESKY) gereksinimine ilişkin uluslararası anlaşmalar birçok ülkede önemli politik girişimlere ve çalışmalara neden olmuştur. ESKY, uluslararası kuruluşlar tarafından geniş çapta kabul görmektedir. ESKY, canlı ekosistemlerin sürdürülebilirliğinden ödün vermeksizin ekonomik ve sosyal refahı adil bir şekilde en üst düzeye çıkarmak için su, toprak ve ilgili diğer kaynakların koordineli gelişimini ve yönetimini destekleyen bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda küresel su güvenliğinde artan krize ilişkin uluslararası kaygılar giderek artmaktadır. Burada güvenlik, içme, gıda üretimi, enerji, ekosistem vb. için yeterli miktar ve kalitede suyun temin edilmesi anlamına gelmektedir. Bu çalışmada; su kaynakları yönetiminin geleceği, su güvenliği, ortaya çıkan zorluklar ve su kaynakları yönetimi ile bağlantısı, su güvenliği ve iklim değişikliği, su yönetimi bağlamında su güvenliği, politik kararlar ve su güvenliği, su güvenliği için finansman, altyapı ve mühendislik, sürdürülebilir su tasarruflu tarım için sulama konuları incelenmiş, değerlendirilmiş ve bazı sonuçlar çıkarılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Su Kaynakları Yönetimi, Su Güvenliği, İklim Değişikliği, Su Yapıları ve İklim Değişikliği, Sulama

The Future of Water Resources Management, Water Security and Emerging Problems

Abstract

International agreements on the need for Integrated Water Resources Management (IWRM) have led to important political initiatives and studies in many countries. IWRM is widely accepted by international organizations. IWRM is defined as a process that supports the coordinated development and management of water, land and other related resources to maximize economic and social well-being fairly, without compromising the sustainability of living ecosystems. International concerns about the increasing crisis in global water security have been growing in recent years. Here, water security means providing water in sufficient quantity and quality for drinking, food production, energy, ecosystem, etc. In this study, the future of water resources management, water security, emerging challenges and their connection with water resources management, water security and climate change, water security in the context of water management, political decisions and water security, financing, infrastructure and engineering for water security, irrigation for sustainable water-efficient agriculture issues were examined, evaluated and some conclusions were drawn.

Keywords

Water Resources Management, Water Security, Climate Change, Water Structures and Climate Change, Irrigation

1. Giriş

Su Kaynakları Yönetimi (SKY), su sistemlerinin mevcut ihtiyaçları karşılaması, gelecekteki ihtiyaçların aksatılmadan rasyonel ve sürdürülebilir bir duruma dönüştürülmesi ve topluma maksimum faydanın sağlanması için gerekli tüm yöntem ve uygulamaları içermektedir (Akhtar vd., 2021; Quitzow vd., 2021; Koç, 2018a). Su yöneticileri, daha belirgin iklim değişikliğinin etkileri, Covid-19, ekonomik durgunluk, savaşlar, nüfus hareketleri, artan enerji ve kaynak talebi gibi yeni zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorluklar, su yönetimi ve enerji, yakıtlar, sanayi, tarım, uluslararası ilişkiler ve ticaret, ekonomi, su, beşeri ve doğal sermaye kaynaklarını içeren çeşitli sektörleri etkilemektedir (Pande vd., 2020; Alamanos vd., 2022; Li vd., 2019). Bu durum, geleneksel yönetim yaklaşımlarının yeniden gözden geçirilmesini önermekte, karşılaşılan yönetim başarısızlıklarını ve gecikmelere neden olan derin belirsizliklerin ortaya konmasını önermektedir. Su kaynakları yönetiminin geleceği için üç araştırma sorusu tartışılmaktadır, Bunlar; çok disiplinli bilimi yeniden tanımlamak, yenilikçi iş birliklerini analiz etmek ve karmaşık problemleri çözmek; bilim destekli politikalar için kültür oluşturmak ve politikacıların araştırma ve teknolojik ilerlemeleri kavraması ve benimsemesi için tepkilerini hızlandırmak amacıyla etkili iletişim ve sürekli katılım; derin belirsizlik altında karar vermektir.

Bu bağlamda, su kaynakları yönetimi hidroelektrik ve tarımsal üretimi destekleyerek, mevcut altyapı sorunlarının, su kıtlığının, su kalitesi bozulmasının, ekstrem doğa olaylarının, insani, ekonomik ve kurumsal açıdan kötü yönetimin ve iklim değişikliği etkilerinin üstesinden gelmek zorundadır. Bu çalışmada; su kaynakları yönetiminin geleceği; su güvenliği; ortaya çıkan zorluklar ve su kaynakları yönetimi ile ilişkisi; su güvenliği ve iklim değişikliği; su yönetimi bağlamında su güvenliği, siyasi kararlar ve su güvenliği; finansman, altyapı ve mühendislik için su güvenliği; sürdürülebilir su etkin tarım için sulama konuları incelendi, değerlendirildi ve bazı sonuçlara ulaşıldı.

2. Metot

İnceleme süreci iki adımdan oluşmaktadır. İlk olarak Google Akademik'te (<https://scholar.google.com/>) "su kaynakları yönetimi", "su güvenliği" arama dizelerini kullanarak makaleler aranmıştır. Sadece dergi makaleleri, bildiriler ve raporlar seçilmiştir. 2018'den önce yayınlanan makaleler için yalnızca ikiden fazla atıf yapılan makaleler değerlendirmeye alınmıştır. 2018'den sonra yayınlananlar için yalnızca Web of Science ve/veya Engineering Village tarafından indekslenen makaleler dikkate alınmıştır. Seçilen her makalenin özeti okunduktan sonra, özeti "su kaynakları yönetimi ve su güvenliğiyle" ilgili olması durumunda makalenin tam metni indirilmiştir. İndirilen makalelerin referans bölümü daha sonra incelenen konu başlıklarıyla ilgili olası makaleler için taranmıştır. Özetlerin okunması ve referansların taranması süreci, "su kaynakları yönetimi ve su güvenliği" konusuyla ilgili başka dergi makalesi, tutanak ve rapor bulunmayana kadar tekrarlanmıştır. Daha sonra seçilen her makale dikkatle okunmuştur. Su kaynakları yönetimi ve su güvenliğine yönelik konular, ortaya çıkan zorluklar ve su kaynakları yönetimi ile bağlantısı, su güvenliği ve iklim değişikliği, su yönetimi bağlamında su güvenliği, politik kararlar ve su güvenliği, sürdürülebilir su tasarruflu tarım için sulama, alt başlıkları altında incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

3. Ortaya Çıkan Zorluklar ve Su Kaynakları Yönetimi ile Bağlantısı

Su yönetimi sorunlarıyla ilgilenen birçok politik organ ve paydaş, geleneksel yönetim yaklaşımlarının yeniden gözden geçirilmesini öneren karmaşık sorunlarla giderek daha fazla ilişkilendirilen yeni zorluklarla yüzleşmeye başlamıştır. Kaynakların aşırı kullanımı ve üretimin yoğunlaşmasıyla artan ihtiyaçlar, kıtlık, çevresel bozulma ve iklim değişikliğini artıran sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Enerjiye dayanan çeşitli insan faaliyetlerinin hızla yaygınlaşması da artan enerji talebine katkıda bulunmaktadır.

İklim değişikliğinin karşılıklı sonuçları arasında, yenilenebilir (rüzgar) enerji sistemlerine çok fazla yatırım yapan, ancak yeterli enerji depolama kapasitesine sahip olmayan Kuzey Avrupa bölgelerinde hakim olan düşük yoğunluklu rüzgarlar bulunmaktadır (Akhtar vd., 2021). Enerji arz ve talep desenindeki küresel değişimler, büyük talep artışlarına, arz ve mevcut stokların azalmasına, fiyatların (elektrik, doğalgaz vb.) ve enflasyonun artmasına neden olmuştur. Covid-19 ve ardından Ukrayna'daki savaş, Avrupa'da bu etkileri daha belirgin ve çok daha vurgulu hale getirmiştir (Quitow vd., 2021). Bu durum, birbiriyle etkileşim halinde ve öngörülmesi son derece güç olan çeşitli zorluklardan oluşan benzeri görülmemiş bir olguyu oluşturmakta ve bir belirsizlik yaratmaktadır. Bu durum, yatırımlar, altyapı ve yönetim kararlarını ve su kaynaklarıyla bağlantılı olan sistemleri etkilemektedir (Tablo 1).

Su yönetimi ve ilgili sistemleri, mevcut altyapı, su kıtlığı, su kalitesinin bozulması ve insani, ekonomik, kurumsal açıdan kötü yönetim sorunlarına ek olarak bu zorluklarla da başa çıkmak zorundadır. Bu nedenle, bilgi eksikliklerini belirlemek ve bilim destekli politikaların benimsenmesini hızlandırmak için yenilikçi çözümler uygulamak ve bu zorlukların sürdürülebilir yollarla üstesinden gelmek çok önemlidir (Şekil 1). Karmaşık krizler, farklı sistemleri (su-gıda-enerji-yakıt-kaynaklar-ekonomi) rekabetçi olarak ele alarak çatışmalar yaratabilir ve bu nedenle iyileştirme fırsatlarını kaçırabilir.

3.1. Karmaşık Sorunların Analiz Etmek ve Çözmek İçin Çok Disiplinli Bilimi ve Yenilikçi İş Birliklerini Yeniden Tanımlamak

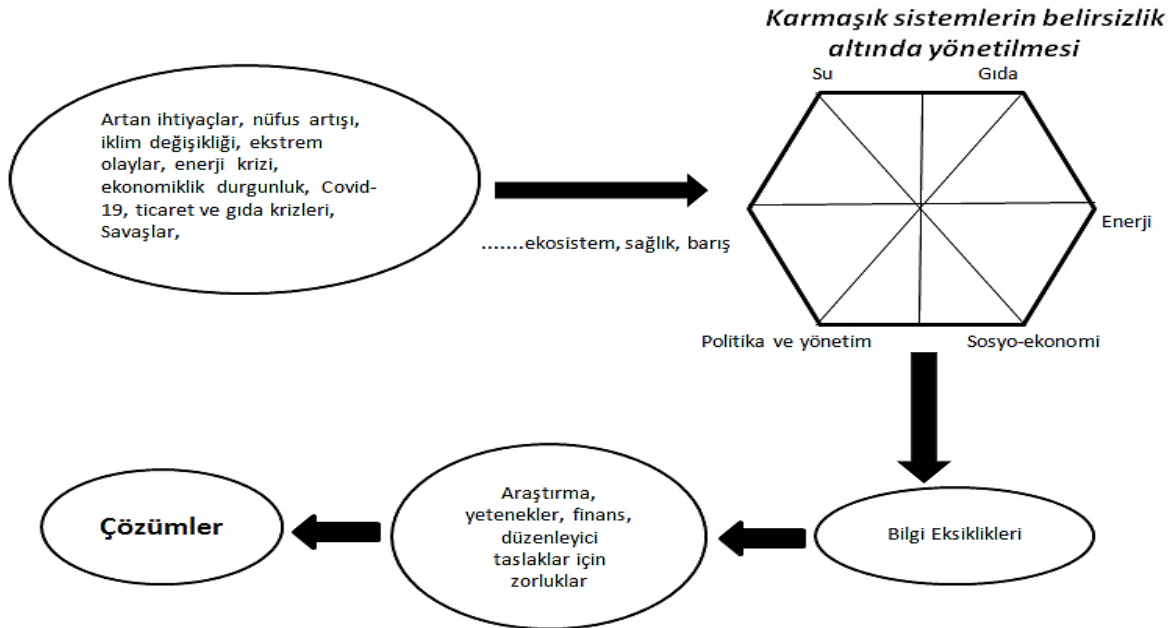
Son yıllarda çok disiplinli su sistemleri yönetimine geçiş açıkça görülmektedir. Çok disiplinliğin yeniden tanımlanması, farklı disiplinlerin eşit katkısı, modelleme ve uygulamada uyumlaştırılma üzerine inşa edilmelidir (tek bir disipline dayalı ana çalışma grubuna eklentiler yapma yerine, birleştirilmiş bilimsel alanlar). Bu tür bir yaklaşım pratikte temel ilerlemeler sağlayabilir. Bilgi tabanı geliştirilmeli ve bu geçiş zemin hazırlanmalıdır.

Bu durum, sistem dinamikleri, çok disiplinli yaklaşımlar, daha sosyal ve politik yönleri temsil eden karmaşık entegre modellere ilişkin çeşitli örneklerle (entegre su kaynakları yönetimi, entegre nehir havza yönetimi) doğrulanmaktadır (Koç, 2018b). Kültür, ilgili tüm aktörler için kendi disiplinlerinden ve diğer disiplinlerden mevcut sorunlara yenilikçi çözüm ve yaklaşımları tetikleyebilecek öğrenmeler yoluyla bu kültürü inşa etmenin bir eksiklik olarak görülmesidir. Doğal, insani (sosyal ve davranışsal) ve ekonomik alt sistemleri analiz etmek, kurumsal/politika düzenleyici alt sistemi uygun ve proaktif bir şekilde geliştirmek ve/veya değiştirmek için bunların tüm arz ve talep bileşenlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Üst düzey bir örnek Şekil 2'de sunulmuştur. Arz tarafı, kontrol edebileceğimiz veya daha iyi yönetebileceğimiz şekilde analiz edilmesi ve varlık olarak değerlendirilmesi gereken çevresel, sosyal ve ekonomik faktörleri içermektedir.

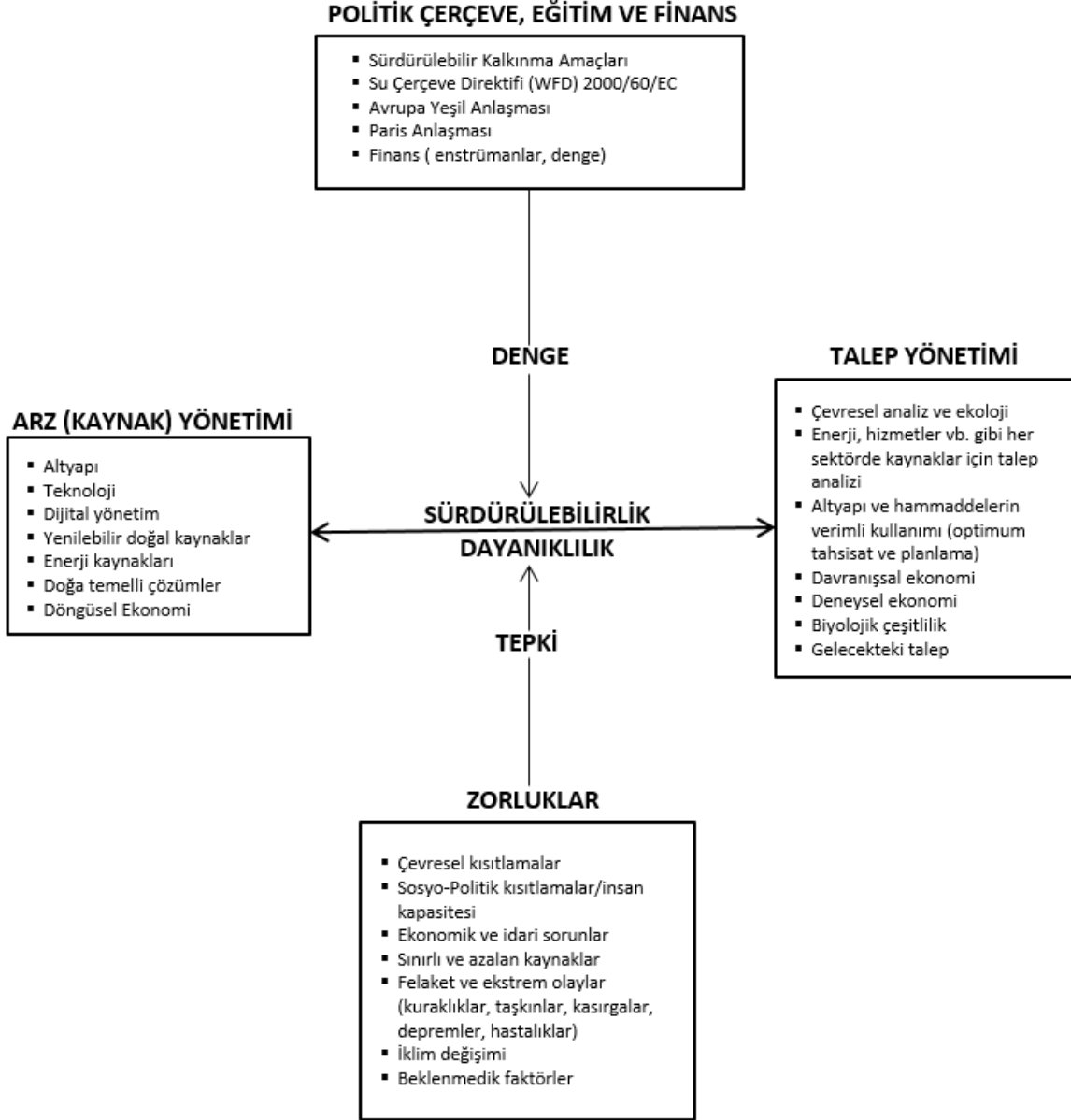
Varlıklarımızın daha verimli ve daha akıllı kullanımıyla arz sürdürülebilir bir şekilde artırılabilir. Talep tarafı, optimize edilebilecek ve verimli bir şekilde kullanılacak çok sayıda parametre ve disiplini (çevresel, sosyal, ekonomik) içermektedir. Kurumsal/politika-düzenleyici alt sistem, sistemlerin sürdürülebilir (hem çevresel hem de ekonomik) olarak işlenmesini sağlamak için arz ve talebi dengelemeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle çeşitli zorlukların üstesinden gelmek ve dayanıklılığa ulaşmak için gerekli zemin hazırlanırsa daha fazla çözüm sağlanabilir.

Tablo 1: Artan zorluklarla karşı karşıya olan gösterge niteliğindeki su yönetim alanları (Alamanos & Koundouri, 2022)

Alanlar	Açıklamalar
Afet yönetimi (taşkınlar, kuraklıklar, kirlilik, kirlilik olayları)	Değişen koşullar ve davranışlar altında tahmin, koruma, uyarı, önleme, değerlendirme, iyileştirme, farkındalık,
Sınır ötesi yönetim Su hakları	Değişen koşullar ve çatışmalar altında farklı talep ve baskıların kontrolü ve adil yönetimi,
Kaynakların dağılımı	Sınırlı ve kötüleşen (kalite ve miktar) mevcut yüzey ve yer altı su kaynakları ile rekabetçi talepleri karşılama
Su altyapısı (depolama, dağıtım, arazi, ıslah işleri, hidroelektrik vb.)	Altyapının tasarımı, işletilmesi, performansı ve verimliliği için farklı hedefler ve yatırımlar dikkate alan farklı stratejiler
Su kalitesi	Tüm kullanımlardan kaynaklanan noktasal ve noktasal olmayan kirlilik kaynaklarının planlanması, karar verilmesi, yönetimi, performansı, korunması, uyarısı, önlenmesi, restorasyonu ve kontrolü
Su kaynakları (toprak, arazi, peyzaj, hava, atmosfer, iklim, okyanuslar, biyolojik çeşitlilik, ekoloji vb.) ile birbirine bağlı fiziksel sistemler.	İzleme, tahmin, koruma, uyarı, önleme, değerlendirme, iyileştirme vb. çoklu etki, maliyet ve faydaları dikkate alan yönetim eylemleri
Sosyal ve ekonomik yönler (davranışsal, dinamikler, çevresel ekonomi, yatırım kararları vb.)	Hak ve payların değişen hedefleri, masraf ve faydaların dağılımı, toplumsal kabul ile başa çıkmak için farklı strateji, yöntem ve uygulamalar
Diğer disiplinler arası, birbirine bağlı dinamik sistemler (Ekohidroloji, Sosyo-hidroloji, Su-Enerji-Gıda Bağlantısı, Su Etiği vb.)	Tanımlama – 'en iyi' yönetim uygulamalarının yürütülmesi, belirli kriterler altında verimliliğin ve performansın optimize edilmesi
Politika ve Yönetim	Yukarıdakilerin tümünü stratejiler, eğitim, halk katılımı ve paydaş katılımı, güçlü kurumsal mekanizmalar ve finansman mekanizmaları ve yönetmeliklerle birleştirmek



Şekil 1: Yenilikçi çözümler talebi, insan-çevre sistemlerinin yönetimini zorlayan derin belirsiz koşulları yaratma, karmaşık ve birbirine bağlı problemler.



Şekil 2: Entegre sistemlerde değişik zorluklara hitap eden, arz ve talebi dengeleyen dayanıklılık ve sürdürülebilirlik (Alamanos vd., 2022).

3.2. Bilim Destekli Politikalar İçin Kültür Oluşturmak Amacıyla Etkin İletişim ve Sürekli Katılım

Açıklanan tüm süreç, politikacıların gerekli katılımı olmadan sağlıklı ve entegre bir şekilde işleyemez. Diğer aktörler gibi çözümlerin geliştirilmesi ve uygulanmasına yönelik iki yönlü bir bilgilendirme sürecinin parçası olmalıdırlar. Politikacılar, araştırmacıları bilgilendirerek insan-çevre sistemlerinin daha iyi yönetimine ilişkin somut eylemler ve adımları görmek için gerekli kültürü geliştirebilirler.

Teknolojik ve bilimsel ilerlemelerin hızı, yöneticilerin bu bilgiyi kavramak, uygun ilerleme ve çözümleri benimsemek ve bunları destekleyecek esnek düzenleyici çerçeveler geliştirmek için gereksinim duyduğu hızdan çok daha fazladır. Bu hız farkı olgusunun basit bir örneği, politikacıların tepkisinin özel sektörle karşılaştırıldığında yavaş olduğu ve sunulan çözümlerin hâlâ tam anlamıyla kullanılmadığı Dijital Su Yönetimi'dir. Hızla dijitalleşen dünyamızda yaşamsal bir kaynak olan suyun korunmasından sürdürülebilir yönetimine kadar birçok alanda dijital teknolojilerin sağlayacağı avantajlar artmaktadır. Bu anlamda 'Dijital Su' kavramı herkesin yeterli ve temiz suya ulaşımını sağlamak üzere bu kaynağın korunması ve en verimli şekilde yönetimi için büyük önem taşımaktadır. Gelişmiş sensörlerin, veri analizlerinin, blockchain entegrasyonunun ve yapay zeka teknolojilerinin su yönetimine uygulanması dijital su yönetim kavramını ortaya çıkarmıştır (Hydro Politic Academy, 2019).

Araştırmacılar bilimsel sonuçlar sağlamak için çaba harcarken, politikacılar da bu sonuçlardan verimli bir şekilde yararlanmak ve sosyo-politik engelleri aşmak için gayret göstermelidir. Yeni zorluklara verilecek yanıtlar, bilgiler, mevcut teknolojiler ve çözümler, gelecekte toplumların zorlukların üstesinden gelebilmesi için bir odak alanı olmalıdır.

3.3. Derin Belirsizlik Altında Karar Vermek

Başlangıçta açıklanan zorluklar ve krizlerin birleşimi karar vericilerin işini daha karmaşık hale getirmektedir. Çünkü, değişiklikler ve değişikliklerin ne kadar süreceği, nasıl etkileşimde bulunacaklarını tahmin etmek ve gelecek senaryolarında birçok faktörün yer değişimini başarılı bir şekilde ortaya koymak oldukça güçtür. Ayrıca, belirsizlikleri daha fazla artıran başka bir faktör, yukarıda belirtildiği gibi politikacıların yeni zorluklara ve yeni bilgilere yanıt verme yöntemidir. Gelecekteki araştırmalar, karmaşık sistemleri analiz ederken yeni bilgilere verilen tepkilerin nasıl karşılanacağı konusunda daha fazla fikir sağlayabilir.

Bu tür koşullar, derin bir belirsizlik- veya ekonomi terminolojisine göre belirsizlik (Li vd., 2019) ve onun temel parametrelerini ve/veya eş zamansızlık etkilerini temsil etmek için bilinmeyen olasılık dağılımlarına sahip olmalıdır. Derin belirsizlik altında karar vermek henüz net bir yanıt olmayan daha geniş bir endişe konusudur. Bu sorunun kökleri, karar vericinin rasyonelliğinin gerçekleştirilemediği sorunları ve tasarımları anlamaya yönelik mevcut yaklaşımların zayıflıklarında bulunabilir. Özellikle, başlangıçta riskle başa çıkmak için geliştirilen standart ekonomi ve mühendislik yaklaşımları derin belirsizlik içeren sorunları açıklamada yetersiz kalmaktadır (Bosserts vd., 2019). Rasyonel karar vermeyi araştırmak için kullanılan fayda teorisinin klasik çerçeveleri veya refahı maksimuma çıkaran sürdürülebilir yatırım tahsis kararlarında yararlanılan sosyal Maliyet Fayda Analizi ve diğer optimizasyon yaklaşımları yeterli değildir. Çünkü karşılaşılan karmaşık zorluklar, insanların risk ve kesinliği rasyonel varsayımlardan farklı şekillerde algılamasına neden olmaktadır. Standart mühendislik tasarımı ve karar verme yaklaşımları, belirsizlik altında geçerli olmayan rasyonellik varsayımı (aktörlerin tarafsız, tutarlı ve tamamen kişisel çıkarlarıyla karar vermesi) üzerine inşa edilmiştir (Klotz vd., 2019).

Bu durum, politika oluşturmanın net bir mekanizma veya süreç olarak hareket etmediği, araştırmacıların kararları etkilemek için bilimsel kanıtlarla sürecin hangi aşamasında devreye girebileceğini bildiği gerçek hayattaki uygulamalarda gözlemlenmektedir.

Literatürde bu endişenin su yönetimi (örneğin Su-Enerji-Gıda bağı) veya iklim kararları konularını nasıl etkileyeceği ve nasıl açıklanacağına ilişkin çeşitli örnekler bulunmaktadır (Yung vd., 2019; Trindade vd., 2019).

Mevcut yaklaşımların derin belirsizliği ele almada hala yetersiz olduğu ve su ile ilgili yatırım kararları da dahil olmak üzere politika esnekliği ve belirsiz yollara uyum sağlama konusunda mevcut yaklaşımların ve eleştirel düşünmenin tamamlayıcı kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Algoritmayı yeniden eğitmek için bir modelin çıktılarını yeni girdi olarak değerlendiren, karmaşık sistemleri analiz ederken yeni kanıtlara veya karar sonuçlarına bir yanıt kısmen içselleştiren Yapay Zekanın (YZ) yetenekleri, politikacıların yeni bilgilere nasıl tepki vereceğine dair bazı bilgiler sağlayabilmektedir. Ancak, bu tür sorunlar (su yönetimi, yatırım kararları ve yönetim) sadece yeni teknolojilere ve bilgi-işlem ilerlemelerine güvenerek çözülemeyeceği için insan ve teknoloji içeren verimli işbirlikçi zekaya ulaşılması gerekmektedir (Martínez-García, 2022). Bu durum, her bir kararın çok faktörlü karakterinin yanı sıra yerelden bölgesel ölçekteki etkilere ilişkin daha derin ve kapsamlı düşünmeyi gerekli kılmaktadır. Diğer iki araştırma alanı olan disiplinler arası çalışma ve bilim destekli politikalar için iletişim sadece bu yönü destekleyecek şekilde hareket edebilir.

4. Su Güvenliği ve İklim Değişikliği

Su güvenliği, dünya çapında birçok karar verici ve politikacının konuşma konusu haline gelmiştir. Bu bağlamda, “su güvenliği” nedir? Uygulanma kararlarının ve su altyapısının inşaatı/işletilmesi riski azaltılmış bir yaklaşımı benimsemesi gerektiği konusunda hepimiz hemfikir olabiliriz. İklim kaynaklı risklerin azaltılması, küresel, ulusal, bölgesel ve yerel istikrarı artırarak ve kamu güvenliğini geliştirerek ulaşım, gıda üretimi, ekonomik kapasite, kamu güvenliği ve ekosistem hizmetleri kapasitesinin korunmasını sağlayacaktır. Su güvenliği, su riski ve stres olmak üzere iki bileşenle karakterize edilmektedir. Su riski, kuraklıktan kaynaklanan su kıtlığı, taşkınlar ile zarar verme, altyapının bozulması veya sınır aşan anlaşmazlıklar gibi suyla ilgili bir zorluğun yaşanma olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Su riskinin kapsamı belirli bir zorluğun ortaya çıkma olasılığının ve etki şiddetinin bir fonksiyonudur (Goodwin & Wagner, 2022). Su stresi, tatlı suyun insan ve ekolojik talebi karşılama yeteneğini ifade etmektedir. Su stresi, su mevcudiyeti, kalitesi ve erişimin fiziksel yönlerini içermektedir. Su talebi, mekansal veya zaman bağlamında su arzını aştığında su stresi oluşabilir.

Küresel su kaynağı, mekansal dağılım, mevcudiyet ve kalite açısından farklılık göstermektedir. Küresel hidrolojik döngü; sızma, çökme, buharlaşma ve süblimleşme ile birbirine bağlanan yüzey ve yeraltı sularından oluşmaktadır. Dolaşımdaki suyun %90'ından fazlası okyanuslar, denizler, göller, nehirler ve akarsular arasındaki sürekli su alışverişi ile ilişkilidir. Sirkülasyonda kalan %10'luk suyun çoğu, bitki terlemesinden su buharı, yüzey suyundan buharlaşma ve yağ kar yığınlarından süblimleşme şeklini alır. Dünya önemli miktarda suya sahip olmasına karşın, tamamı insan tüketimi için uygun değildir. Su, insanları ve çevreyi desteklemek için kritik öneme sahiptir.

Ancak, tatlı su, toplam küresel su kaynağının %3'ünden daha azını oluşturur. Kalan %97 ise tuzlu sudur. Tatlı suyu oluşturan %3'lük kısım ise buzullar ve buzlar, yer altı, nehirler, göller ve atmosfer gibi pek çok farklı yere dağılmış durumdadır (Borden vd., 2017). İnsanlar ve ekosistemler için mevcut olan tatlı su, iklim değişikliğinden etkilenmekte ve küresel su güvenliğini sağlamanın odak noktasını oluşturmaktadır. Mevcut tatlı su kaynakları aşırı kullanım, kirlilik ve atık nedeniyle sürekli tehdit altında kalmaktadır. Kamu ve ekosistem hizmetleri için tatlı suyun işlevsel kapasitesini korumak, küresel topluluk için kritik öneme sahiptir. Yeterli temiz su kaynağına sahip olmamak, su yoksulluğuna yol açacaktır. İklim değişikliği, küresel su güvenliğini başta “*altyapı, karar alma, yönetim ve su adaleti*” olmak üzere birçok düzeyde etkilemektedir.

Altyapı; iklim ve ilişkili döngüler, küresel hidrolojik döngünün artan değişkenliği ve yoğunluğunda açıkça görülmektedir. Artan deniz seviyelerini, aşırı yağış olaylarını, kuraklığı ve artan sayıdaki kıyı fırtınalarını ve bunun sonucunda iç kesimlere doğru ilerleyen dalgalanmaları görebilir ve ölçebiliriz. Bunların tümü yeni veya iyileştirilmiş altyapıyı gerektirmektedir. Etkiler endişe verici oranlarda artmakta, maliyetler insan hayatı ve finansal etkiler açısından ölçülmektedir.

Karar verme; su altyapısının inşasını belirlemek ve finanse etmek, politikacıların, kurum liderlerinin, yerel su kuruluşlarının ve kamu güvenliği kurumlarının sorumluluğundadır. Karar vericiler, eylemlerini fayda-masraf oranlarına, kamu güvenliğine ve genellikle siyasi desteğe dayandırmaktadır. Karar vericiye göre su güvenliği, riski azaltma şeklini almaktadır.

Yönetim; su altyapısı yöneticileri için su güvenliği, hizmet kesintisi ve kamu güvenliği riskini azaltırken su altyapısı ve sistemlerin işletimi ve yönetimini sağlama kapasitesini sürdürmeyle ilgilidir. Riski yönetmek ve altyapı işlevini sürdürmek, yönetsel su güvenliğinin başlıca itici güçleridir

Su Adaleti; tarihsel olarak su altyapısının geliştirilmesi siyasi destek, finansal kapasite ve fırsatların birleştiği noktada meydana gelmektedir. Küresel toplum, su altyapısı geliştirme çalışmalarının genellikle düşük ekonomik durumdaki toplulukları, yerli kültürleri ve haklarından mahrum toplulukları dışarıda bıraktığının giderek daha fazla farkına varmaktadır. Ekonomik duruma veya etnik kökene bağlı olarak, bazı düşük gelir grupları iklim değişikliğinin ani etkilerine karşı daha savunmasızdır. Bu topluluklar için su güvenliği, güvende olmak ve hayatta kalabilmek için temiz suya erişime sahip olmak, bazı topluluklar için ise suya bağımlı kültürel kaynakların sürdürülmesini sağlamaktır (Goodwin & Wagner, 2022).

4.1. Değişen Bir İklimde Su Güvenliğini Nasıl Ele Alabiliriz?

Su güvenliği, ulusların, bölgelerin, toplulukların ve bireylerin iklim değişikliği altında su ile ilgili geleceklerine nasıl yaklaşmaları gerektiğini göstermektedir. Su güvenliği, iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artıracak ve su yoksulluğu riskini azaltacak eylemlerin geliştirilmesi ve uygulanmasına bağlıdır. Mühendislik ve bilim topluluklarının uzmanlığının ve kapasitesinin uygulanabileceği üç alan vardır. Bunlar; *adaptasyon, hafifletme ve yönetimdir*. Bu eylemler ve ortaya çıkan çerçeve, bilgi, entegrasyon ve teşvikler etrafında inşa edilmelidir.

Adaptasyon; iklime dayanıklı ve su açısından güvenli bir yol geliştirmenin ilk adımı, değişen iklim koşullarına yerel olarak uyum sağlamamıza olanak tanıyan prosedürlerin geliştirilmesine rehberlik edecek eylemlerin belirlenmesi ve uygulanmasıdır. Bazı örnekler aşağıda verilmektedir:

- Arazi Kullanımı ve Şehir Planlaması: Fırtınanın neden olduğu etkilerde tampon görevi görebilecek alanların belirlenmesi ve korunması/iyileştirilmesi. Buna, oluşan fırtına dalgalarının tamponlanmasına yardımcı olabilecek kritik kıyı şeridi alanlarının kısıtlanması ve korunması da dahildir. Bugün dünya nüfusunun yaklaşık %56'sı (4,4 milyar kişi) şehirlerde yaşamaktadır. Bu eğilimin devam etmesi beklenmekte olup, kentsel nüfus, 2050 yılına kadar mevcut boyutunun iki katından fazla artacak ve bu noktada yaklaşık 10 kişiden 7'si şehirlerde yaşayacaktır (World Bank, 2023).
- Tatlı su sistemlerinin kullanımına ilişkin protokoller. Yer altı ve yer üstü su sistemlerinin yönetimi için ortak kullanım programlarının geliştirilmesini içermeli.

Hafifletme; Gelecekteki su güvenliği için hafifletme, iklim değişikliğine ilişkin küresel gelecek senaryolarının anlaşılmasını ve dayanıklılığı artıracak politika ve eylemlerin geliştirilmesini gerektirir.

- Su güvenliği üzerindeki küresel etkileri ele alacak politikaların uygulanmasına yönelik modeller ve gözlemler geliştirmek ve iyileştirmek,
- Küresel topluma iklim ve su güvenliği konusunda bilgi ve yaklaşımlar sunmak için bilgi dağıtım sistemlerini geliştirmek,

Yönetim; Yararlı adaptasyon ve hafifletme yöntemlerine dayanan su güvenliği, karar vericilerin ve politika geliştiricilerin bilgiye, eylemlerin entegrasyonuna, teşviklere ve izlemeye dayalı karar almayı uygulaması ve desteklemesi durumunda başarılı olabilir. Bir örnek:

- İster bilim ister öğrenilen dersler olsun, yeni bilgilerin karar çerçevesine geri alınmasını sağlayan uyarlanabilir bir yönetim yaklaşımının uygulanması,

4.2. Geniş Kabul Görmüş Üst Düzey Su Yönetimi İlkeleri Bağlamında Su Güvenliği

Su güvenliğine yönelik eski ve yeni tehditlerin farkına varılması son on yılda su hakkındaki düşüncelerimizi değiştirmiştir. Dünyanın birçok yerinde su güvenliği, hızlı artan nüfus ve ekonomik büyümeden kaynaklanan su kıtlığı; taşkın ve kuraklık gibi ekstrem hava ve iklim koşullarından kaynaklanan iklim değişikliği; su kirliliği; su ve kara ekosistemlerinin bozulması gibi faktörlerin birleşimi nedeniyle tehdit altındadır. Yıllar içinde bu tehditlere yanıtla ilgili birçok üst düzey ilke ve kavram ortaya çıkmıştır. Bu fikirler arasında su kaynaklarının sınırlı olduğunun kabul edilmesi, sürdürülebilir kalkınma kavramı, arzın artırılmasından talep yönetimine geçiş ihtiyacı, suya ilişkin insan hakkı, suyun ekonomik değeri ve su yönetiminde kadınların rolü yer almaktadır. Bu fikirlerin etrafındaki üst düzey ilkeler, Lahey'in 21. yüzyılda su güvenliğine ilişkin bakanlık beyanı, Bin Yıllık Kalkınma Hedefleri ve daha sonra Gündem 2030'un Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri gibi uluslararası kuruluşlar tarafından birçok belge ve beyanda ifade edilmiştir (Falconer & Mynett, 2022). Bu bildirelerin üst düzey ilkeleri ve hedefleri evrensel olarak benimsenmiş olmasına ve dilleri çoğu ülkenin birçok su politikası belgesinde bulunabilmesine karşın, bu ilkelerin eyleme nasıl dönüştürüleceği konusundaki zorluklar devam etmektedir.

Su güvenliğini artırmak için bu ilkelere uygun bir dizi çözüm mevcuttur. Bunlar, suya bağımlı ekonomik faaliyetlerin yeniden değerlendirilmesini (kuru iklimlerde susuz ürünlerin yetiştirilmesi); arzın artırılmasını (yeni büyük altyapı projelerinin inşa edilmesi); talep yönetiminin dengelenmesini (koruma ve kamu eğitimi, akıllı sayaçların kullanımı ve eşitlik temelinde fiyatlandırma); geleneksel olmayan su kaynaklarının kullanımını (arıtılmış atık su, tuzdan arındırma, yağmur suyu hasadı, vb.); artan su kullanım verimliliğini (sızıntıların/kayıpların azaltılması/ortadan kaldırılması, etkili sulama yöntemleri, su tasarruflu ev aletleri, vb.); doğa bazlı çözümleri ve akıllı arazi kullanım planlamasını içermektedir (UN-Water, 2013).

Su güvenliğini geliştirmeye yönelik bu üst düzey ilkelerin uygulanmasının önündeki engeller; başarısı suya bağlı olan farklı politikalarla çatışmaları, yasal ve kurumsal engeller, finansal kısıtlamalar, düzenleme eksikliğinden faydalananların düzenlemeye karşı çıkmaları, bazı durumlarda seçilmiş yetkililerin siyasi irade eksikliği, çoğunlukla seçmenlerinin kısa vadeli çıkarları doğrultusunda hareket etmesi, eylemsizliğin sonuçlarını göz ardı etmeyi içermektedir. OECD (2013) raporunda belirtildiği gibi, su güvenliğine yönelik özel bir zorluk, su, enerji, gıda, iklim ve biyolojik çeşitlilik arasındaki bağın doğru şekilde değerlendirilmesi ve tüm bu sektörlerdeki politikalar arasında tutarlılığın sağlanmasıdır. Ülkelerin tüm bu sektörlerde tutarlı politikalara sahip olmaları ve tüm sektörlerin (tarım, sanayi, enerji, sağlık, turizm) başarısının temel bileşeni, sektörler arası karar alma mekanizmasının geliştirilmesidir. Su güvenliği sadece gıda güvenliğiyle değil aynı zamanda ulusal güvenlikle de yakından ilgilidir. 88 ülkeden ulusal su liderleriyle yapılan görüşmelere dayanan su politikası üzerine yakın tarihli bir rapor (Water Policy Group, 2021), çoğu ülkedeki en önemli zorlukların yönetim sorunları ve parçalanmış su kurumlarıyla ilgili olduğunu bildirmektedir. Aynı rapor, en yüksek su risklerinin su kaynaklarını tehdit eden iklim değişikliği, artan talep, taşkın ve kuraklık gibi ekstrem olaylardaki artışlarla ilgili olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, daha zengin ve daha düşük gelirli ülkeler arasındaki politik zorluklar farklı öncelikler ortaya koymaktadır. Örneğin, Afrika'da su liderleri, yetersiz ve erişilemez veri ve bilgilerin yanı sıra yetersiz altyapının üstesinden gelme ihtiyaçlarına daha fazla öncelik vermektedir.

4.3. Politik Tutarsızlık Su Güvenliğini Zayıflatıyor

Bazı politikaların su güvenliğini nasıl zayıflatabileceğini anlamak için aşağıda verilen uygulamaların dikkate alınması gerekmektedir.

- Kısa vadeli çıkarları hedefleyen, uzun vadeli sonuçlarını göz ardı eden politikalar,
- Geçmişte belirli bir amaç için uygulamaya konulan politikaların asıl amacına uzun süre önce ulaşılmış olmasına karşın zaman içinde neredeyse donmuş halde kalması,
- Su haklarını tesis eden ve genellikle uzun zaman önce yasalaştırılan politikaların bugün uygulandığında sürdürülebilirliği engellemesi,

Bu politikaların birçoğu, dünyanın en büyük su kullanıcısı olan enerji, sanayi ve tarım gibi diğer sektörlerle de doğrudan veya dolaylı olarak ilgilidir. OECD'nin geleceğe yönelik öngörülleri, enerji üretimi ve imalattan kaynaklanan su eksikliğinin geçmişe göre oransal olarak çok daha belirgin hale gelmesiyle küresel su çekme ve su tüketimi desenlerinde önemli bir değişimin olduğuna işaret etmektedir (OECD, 2013). Su için rekabetin yükselme potansiyeli ve artan talep, sektörler arasında ve zaman ölçeğinde amaca uygun su kullanımını iyileştirmek için uygulayıcıları ve karar vericileri yönlendiren ve özendirilen politik tutarlılığı gerektirir.

Uzun süreli su güvenliğini engelleyen, yenilenemeyen su kaynaklarının tükenmesine yol açan öngörüsüz tarım politikalarının birçok örneği vardır. Bu tür politikalar bazen çiftçiliğin tek istihdam fırsatı olabildiği ve genellikle geçimlik tarıma dayalı olduğu kırsal alanlarda sosyo-ekonomik kalkınmayı sağlamayı veya gıda güvenliğini gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Her ne kadar kısa vadede sosyal fayda sağlasalar da bu alanlarda sulu tarımın uzun dönemli sürdürülebilirliğini dikkate almazlarsa geleceği göremeyebilirler. Bu durum, Suudi Arabistan'ın 1980'li yıllardaki tarım politikasına bir örnektir. Ülke ekonomisini çeşitlendirme ve gıdada kendi kendine yeterliliği sağlama ihtiyacından hareketle, yenilenemeyen su kaynaklarının önemli bir kısmını hızla kullanarak birkaç yıl içinde bir çöl ülkesini buğday ihracatçısı yapan kuyulara, pompalara ve fosil yeraltı suyunun kullanılması için enerjiye yönelik devlet

destekleri, mahsul fiyat desteği gibi çeşitli önlemleri uygulamaya koydu. Ancak, bu tür yeraltı suyu kullanımının sürdürülebilir olmadığını fark ederek birkaç yıl sonra bu politikadan vazgeçildi (Sadoff vd., 2015).

Yüz yılı aşkın bir süre önce benimsenen, ancak amacına ulaşıldıktan sonra uzun süre yürürlükte kalan bir politikaya örnek olarak, Amerika Birleşik Devletleri hükümetinin Batı Amerika'ya büyük ölçüde devlet destekli su sağlama politikası, yirminci yüzyılın başlarında bölgeyi geliştirme ve nüfusu artırma çabasının bir parçası olarak uygulamaya konulmuştur. Birçok büyük su altyapı projesi, bu politikanın amacına ulaşıldıktan çok sonra bile sulu tarımı desteklemeye devam etmiştir. Bu durum, bölgenin kurak ve yarı kurak kısımlarında pamuk ve yonca gibi çok su tüketen bazı ürünleri yetiştirmeye devam etmek için çiftçileri teşvik etmiştir (Findikasis & Soo, 2022).

Su güvenliği, bazı su hakları çeşitleri için yasalaşan politikalar ile de tehdit edilebilir. Bunların arasında, arazi sahiplerinin çıkarabilecekleri su miktarında herhangi bir kısıtlama olmaksızın mülklerinin altındaki su üzerinde mutlak hakka sahip oldukları için mutlak mülkiyet doktrinine dayanan yeraltı suyu hakları da yer almaktadır. Dünyanın bazı yerlerinde bu tür yeraltı suyu haklarının kontrolsüz kullanımı yöresel akiferlerin ciddi şekilde tükenmesine yol açmıştır (Paleologos & Mertikas, 2013). Özellikle, ülkemizin önemli turizm bölgelerinden biri olan Bodrum yarımadasına içme suyu sağlamada kullanılan yeraltı suyu kuyularından yaz aylarında aşırı su çekimi nedeniyle akiferler tüketilmekte, akiferlere deniz suyunun girmesiyle suyun kalitesi bozulmaktadır (Koç, 2017a).

Uzun dönemli su güvenliğini aynı derecede tehdit eden bir diğer husus ise değerli su kaynaklarının korunmasını amaçlayan hükümet müdahalesinin veya düzenlemelerin uygulanmamasıdır. Su kaynaklarının sürdürülemez kullanımı, (örneğin yeraltı suyunun aşırı kullanımından kısa dönemde fayda sağlayan büyük ve küçük çiftçiler gibi) mevcut uygulamaların sürdürülmesinde çıkarları olan kişiler tarafından desteklenmektedir. Bunun bir örneği, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki High Plains akiferinin birçok bölümünde, özellikle Kuzey Teksas'ta, yeraltı suyu çıkarılmasında yıllardır herhangi bir kontrolün bulunmamasıdır (Water Policy Group, 2021).

4.4. Su Güvenliği İçin Finansman, Altyapı ve Mühendislik

Geleneksel olarak yeterli su sağlamayı güvence altına almaya yönelik politikalar, mühendislik altyapı projeleri aracılığıyla su kaynaklarının geliştirilmesine odaklanmıştır. Dünyanın birçok yerinde bu durum artık bir seçenek değildir. Bunun nedeni, bazı ülkelerde tüm su kaynaklarının mevcut durumda geliştirilmiş olması değil, su politikasının, altyapı çözümlerinin çevre, jeo-politik çıkarlar ve sosyo-ekonomik refah ile sahip olduğu karşılıklı ilişkileri tanıması gerektiğidir.

Bazı durumlarda tek alternatif, sürdürülebilir su kullanımı için su arzı sınırlamalarını talep yönetimiyle dengelemeyi amaçlayan politikaları benimsemektir. Bunun bir örneği, Kaliforniya'da birçok akiferin aşırı kullanımıyla mücadele etmek için 2014 yılında uygulamaya konulan Sürdürülebilir Yeraltı Suyu Yönetimi Yasasıdır. Bu yasa, 20 yıllık bir zaman dilimi içinde yeraltı suyunun sürdürülebilir kullanımına yönelik planlar geliştirme ve uygulama sorumluluğuna sahip yerel kurumların oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Bu kurumların her biri, yeraltı suyu kuyularının kayıt altına alınmasını talep etme, yıllık su çıkarma raporlarını zorunlu kılma ve yeraltı suyu çıkarma oranına sınırlama getirme yetkisine sahiptir (Findikasis & Soo, 2022).

Çok amaçlı, çevreyle ve diğer sektörlerle uyumlu çalışan su altyapısı ve mühendislik çözümleri su güvenliği için mutlaka gereklidir. Dünyadaki birçok ülkenin kalkınma potansiyelini hayata geçirmek için daha yeni hidrolik çözümlerin acilen tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir. Örneğin Afrika'da, Sahra altı nüfusun üçte ikisi hala güvenli bir şekilde yönetilen içme suyuna erişimden yoksun olup, sulama potansiyeli büyük ölçüde az gelişmiş ve hidroelektrik potansiyelinin neredeyse %90'ı henüz kullanılmamıştır. Kore, Singapur veya İspanya gibi birçok gelişmiş ülke, kamu politikasını geleneksel hidrolik işleri dijital altyapıyla tamamlamaya yönlendirmektedir. İspanyol Hükümeti tarafından, kentsel ve endüstriyel düzenlemeler, sulamayı dijitalleştirme, idari düzenlemeleri dönüştürme ve eğitim, araştırma ve inovasyonu kolaylaştırmada yeni teknolojilerin kullanımını içeren ve ülkede su yönetimini dijitalleştirmeyi amaçlayan 3 milyar Avro'luk bir program başlatılmıştır (United Nations, 2021).

Uygulanacak politika aynı zamanda mevcut hidrolik işlerin yenilenmesini, değiştirilmesini veya hizmetten çıkarılmasını da teşvik etmelidir. Birleşmiş Milletler Üniversitesi (Perera vd., 2021) tarafından yapılan bir araştırma, dünya çapındaki 58.700 büyük barajın çoğunun 1930 ile 1970 yılları arasında inşa edildiğini ve tasarım ömrünün 50 ila 100 yıl olduğunu bildirmektedir. 2050 yılına kadar, dünya nüfusunun büyük bir kısmının bu altyapılardan birinin aşşağısında yaşayacağı varsayıldığında; gelecek on yıllarda iklim değişikliği senaryolarının derin belirsizlikler sunması nedeniyle politikacılar ve tasarımcıların sadece tarihsel verilere dayalı olmayan gelecek senaryolarını entegre etmelerine acil bir ihtiyaç vardır. Ancak, küresel su güvenliğini sağlayacak su işlerinin planlanması, tasarımı ve inşası için bütüncül bir yaklaşım izlenmelidir (Perera vd., 2021).

Herkes için su güvenliğini sağlamanın kritik yollarından biri suyla ilgili altyapının finansmanıdır. Su güvensizliğine bağlı küresel ekonomik kayıpların yıllık miktarının yetersiz su temini ve sanitasyondan yılda 260 milyar ABD Doları, kentsel mülklerdeki taşkın hasarlarından yılda 120 milyar ABD Doları ve mevcut sulama tesislerindeki su güvensizliği nedeniyle yılda 94 milyar ABD Doları olduğu tahmin edilmiştir (Sadoff vd., 2015). Buna karşın, gelecekteki yatırım ihtiyaçlarına ilişkin öngörüler, 2030'da 6,7 trilyondan 2050'de 22,6 trilyon ABD Dolarına kadar değişen küresel tahminler ile mevcut finansman önlemlerinden çok daha ağır basmaktadır (High-Level Panel on Water, 2018).

Bu ihtiyaçları karşılamak için özellikle politikacıların katıldığı Üst Düzey Su Panellerinde bazı amaçlara yönelik özel politika önerilerinde bulunmuştur. Bunlar, su ile ilgili yatırımlar için mevcut mülklerin değerinin en üst düzeye çıkarılması; uzun vadede faydaları en üst düzeye çıkaracak yatırım yöntemlerinin tasarlanması; diğer sektörlerdeki yatırımlarla sinerji ve tamamlayıcılık sağlanması; su yatırımlarının risk-getiri profilini iyileştirerek daha fazla finansmanın çekilmesidir ([High-Level Panel on Water, 2018](#)).

Çok ihtiyaç duyulan altyapı ve mühendislik çözümlerini destekleyecek politik seçeneklere ulaşmak zordur. Uygun teknik çözümler, jeo-politikalar, toplumsal talepler ve çevrenin korunmasıyla uyumlu sürdürülebilir finansman ve "güvenilir" yatırımlara yönelik karmaşık talepler politikacılar için zorlu bir görevi oluşturmaktadır. Karar vericiler arasında ortak zorlukların, yaklaşımların ve çözümlerin paylaşılması, yerel bağlamlara uyarlanmış zor karar alma sürecini destekleyecek bir "politika iskelesi" sağlayabilecektir.

4.5. Su Mühendisliğinde İklim Değişikliğine Uyum

Su mühendisliği sektöründeki profesyoneller, paydaşlar ve son kullanıcılar topluluğu, küresel ısınmanın ve ilgili değişikliklerin ([Masson Delmotte vd., 2018](#)) su döngüsü üzerinde gözlemlenen ve öngörülen etkisi konusunda endişe duymaktadır. Gözlemlenen küresel sıcaklık artışının mevcut durumda hidrosferin bazı bileşenlerini etkilediği konusunda çok az şüphe olmasına karşın, en belirgin olanı buz kütlelerinin geri çekilmesiyle birlikte kriyosferdir. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt, DLR) tarafından 2002 yılında başlatılan Yerçekimi Geri Kazanımı ve İklim Deneyi (GRACE), Grönland ve Antarktika'nın 2002'den 2016'ya kadar sırasıyla 281 Gigaton/yıl ve 125 Gigaton/yıl buz kütlesi değişiklikleri yaşadığını göstermektedir ([NASA, 2018](#)).

Bu durum, önümüzdeki on yıllarda öngörülen küresel ısınma ve okyanus suyunun termal genişmesi dikkate alındığında, deniz seviyesinde yüzyılda 11 cm'lik bir artışa karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin yıllık su akışı ([Su vd., 2018](#)) ve dünya çapındaki taşkınların yoğunluğu ([Blöschl vd., 2018](#)) üzerindeki etkisi hala belirsizdir. Bunun nedeni, kısmen bu tür değişikliklere neden olan doğal ve antropojenik zorlamalar arasındaki ayrımı yapmanın kolay olmamasıdır. Bu durum, kıyılar ve adalar, dağlık alanlar, hızla gelişen mega şehirler ve sürekli donmuş yüksek enlem tundraları gibi iklime en duyarlı ortamlarda hidrolik yapıları tasarlama ve su kaynaklarını yönetme yaklaşımımızı yeniden gözden geçirmemiz gerektiğini göstermektedir. Aynı zamanda, küresel ısınmanın su sistemleri üzerindeki etkisini izleme ve anlama konusundaki bilimsel çabalarımızı güçlendirmemiz gerekmektedir.

Dünya Bankası Grubu (2019) ve Asya Kalkınma Bankası (2013) gibi finansman kuruluşları büyük su projelerinin mühendislik tasarımına iklim değişikliği senaryolarının dahil edilmesini giderek daha sık talep etmektedir. Ancak, küresel ısınmanın, kuraklık ve taşkınların yoğunluğu ve zamanlaması gibi su döngüsünün çeşitli yönlerini nasıl ve ne ölçüde etkileyeceği konusundaki belirsizlik nedeniyle zaman serisi analizlerine durağan olmamayı dahil etme kriterleri, bilim ve mühendislik camiasındaki fikir birliğine dayalı olarak daha da geliştirilmelidir. Umarız bu fikir birliğine kısa sürede ulaşılır. İklim değişikliğinin etkisini doğru şekilde hesaba katan tasarım kriterleri ([Ranzi, 2020](#)), önceden inşa edilen hidrolik yapıların dayanıklılığını değerlendirmek, bakımlarını iyileştirmek veya değişiklik ihtiyacını tekrar gözden geçirmek için de kullanılmalıdır. İklim en duyarlı ortamlarda hidrolik yapılar tasarlama ve su kaynaklarını yönetme yaklaşımı yeniden değerlendirilmelidir. Su mühendisliğinde iklim değişikliğine uyumda anahtar konular; küresel ısınmanın su döngüsüne etkisinin bölgesel ölçekte değerlendirilmesi, bilim adamları ve profesyoneller arasında iklim değişikliği senaryoları da dahil olmak üzere tasarım kriterlerinin iyileştirilmesi konusunda fikir birliğine varılması, sürdürülebilir su etkin tarım için ileri teknolojiler ve geleneksel sulama sistemlerinin harmanlanması, kıyı savunmasında güncel geleneksel 'gri' mühendislik ile 'yeşil' doğa temelli çözümlerin birleştirilmesi, taşkın ve sıcak hava dalgalarına karşı daha dayanıklı, yeşil "sünger" şehirlerin planlanması ve yenilenmesi, sanal su ticareti ve su-gıda-enerji iklim arasında ilişki kurmak olarak sıralanmaktadır.

5. Sürdürülebilir Su Tasarruflu Tarım İçin Sulama

Değişen bir iklimde, tarım için su kullanımında verimliliğin artırılmasına özel önem verilmelidir. İklim değişikliği ve arazi kullanımıyla ilgili Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporu ([Shukla vd., 2020](#)), değerlendirilen tüm sosyoekonomik yolların su talebinde artışlara ve su kıtlığını şiddetlendirmeye yol açtığını göstermektedir. Aynı rapor, iklim değişikliğine uyum sağlamaya ve etkilerini hafifletmeye yardımcı olan ve aynı zamanda çölleşmeyle mücadelede katkıda bulunan çözümlerin su hasadı ve mikro sulama gibi sulama tekniklerini içerdiğini belirtmektedir. Uydu izleme veya insansız hava araçlarıyla desteklenen, su verilmesinin zamanlaması ve miktarının uzaktan kontrolüne yönelik teknolojiyle mikro sulamanın doğru şekilde geliştirilmesi ve iyileştirilmiş sulama yönetimi, yalnızca suyun kıt olduğu bölgelerde su tüketiminin verimliliğini ve gıda güvenliğini artırmakla kalmayacak, aynı zamanda toprağın organik fonksiyonlarının korunmasına, çölleşmeyle mücadelede, toprakta karbon depolanmasına ve iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına da katkıda bulunacaktır. [FAO \(2018\)](#)'ya göre, sulama, peyzajın dayanıklılığını artırmak için çiftçileri, genel halkı, toplulukları ve diğer paydaşları içeren ekosistemik (bütüncül) bir yaklaşımı gerektiren sürdürülebilir tarımın daha genel bağlamda çerçevesini gerektirmektedir.

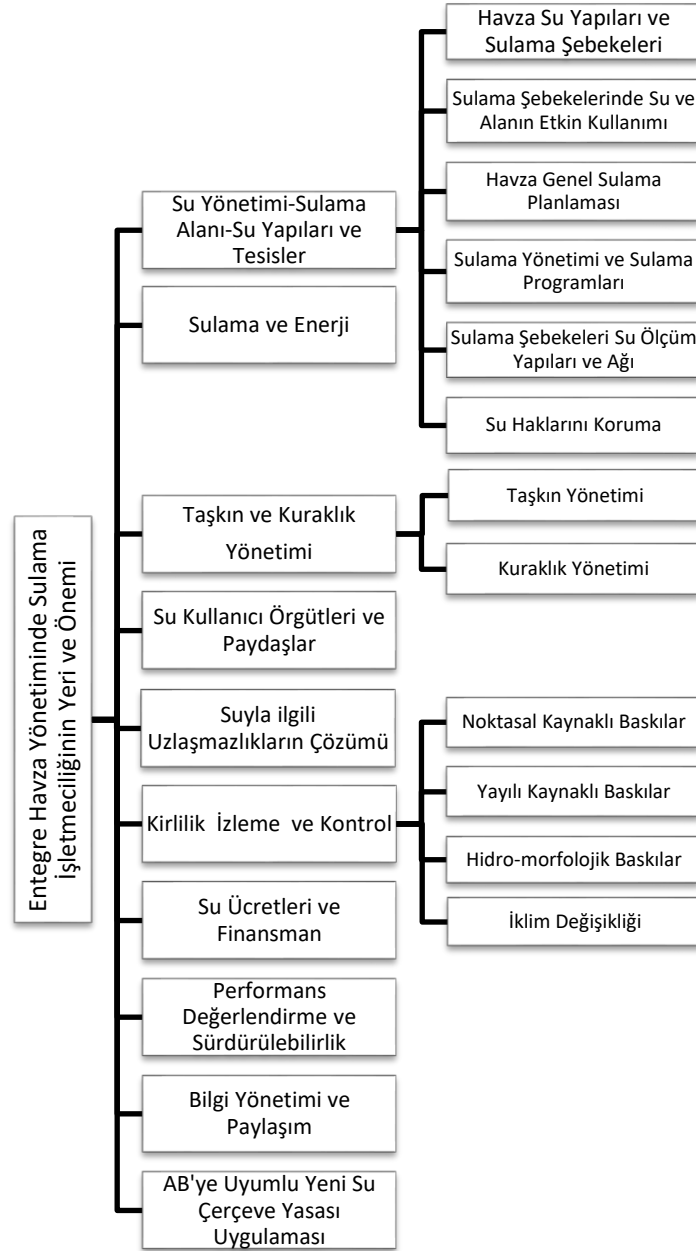
Suyun küresel ölçekte verimli kullanımı, su ve gıda güvenliği üzerinde güçlü etkileri olan su-gıda-enerji-iklim bağının önemli bir bileşeni olan sanal su ticaretini de (D'Odorico vd., 2019) içermektedir. Sulamanın sürdürülebilir tarımın daha genel bağlamında çerçevelendirilmesi gerekmektedir.

Sulamanın gelişmesi, toplam üretimin ekili alandan çok daha hızlı büyümesine olanak sağlayan yoğun tarımın bir sonucudur. Dünyada sulama için şebeke inşa edilmiş küresel arazi alanı 2000 yılında 289 milyon hektar iken 2020 yılında 349 milyon hektara ulaşmıştır (FAO, 2022). Sulama alanlarının büyük çoğunluğu, sulamanın yeşil devrimin önemli bir bileşeni olduğu Asya'da (% 70) yer almakta (FAO, 1999) olup; dünya toplamının % 16'sı Amerika'da ve % 8'i Avrupa'da bulunmaktadır. Çin (75 milyon hektar) ve Hindistan (73 milyon hektar) sulama için en geniş ekipmanlı alanlara sahip olup, Amerika Birleşik Devletleri'nin (27 milyon hektar) önündedir. Çin ve Hindistan 2000 ile 2020 yılları arasında sulama şebekesi inşa edilen alanda en büyük net kazanıma sahip ülkelerdir (Çin +21 milyon hektar ve Hindistan +12 milyon hektar). Avrupa dışındaki tüm bölgelerde sulamaya uygun alanlarda artış görülmüştür. En hızlı büyüyen Afrika (% +28), Okyanusya (% +23), Asya (% +23) ve Amerika'dır (% +19). Mevcut durumda, yağmur ile beslenen tarımda kullanılan ve sulu tarıma uygun araziler açısından sulu tarımın yaygınlaştırılma potansiyeli bulunmaktadır. Ancak, fiziksel ve ekonomik açıdan yeni sulama alanlarını geliştirmek için en büyük engel su kıtlığıdır. Fiziksel su kıtlığı birçok nehir havzasında, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın bir sorundur. Bu sorun gelecekte iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri nedeniyle daha da ağırlaşacaktır (Conforti, 2011). Kuzey Afrika, Orta Doğu ve Orta Asya artan su kıtlığıyla karşı karşıyayken, Sahra altı Afrika'da su kaynakları fiziksel olarak mevcut olmasına karşın gerekli hidrolik altyapıdan yoksundur.

Drenaj suyu ve arıtılmış atık su gibi geleneksel olmayan su kaynakları su kıtlığından fiziksel olarak etkilenen alanlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ancak, bu kullanım, ilkin tuzluluk riski ve ikinci olarak sağlık riskleri nedeniyle kapsamlı bir kontrolü gerektirmektedir. Günümüzde arıtılmış atık su, bu amaçla kullanılan suyun yaklaşık %1'ini oluşturan küçük bir sulama suyu kaynağı olup, kentsel çevre tarımında önem kazanmaktadır. Yağmur hasadı ve toplanan ve arıtılan suyun sulama için kullanılması, gelişmekte olan ülkelerde kent çevresindeki nüfusun gıda ihtiyacını iyileştirmek için de kullanılmaktadır. Tuzdan arındırılmış su, maliyetleri nedeniyle geleneksel ürünlerin sulanması için henüz uygun değildir (Koç, 2008). Ancak, maliyetler düşürülürse, özellikle tuzlu su arıtmanın iç bölgelere göre daha az çevresel etkiye sahip olduğu kıyı bölgelerde ürünlerin sulanması için düşünülebilir.

Sulamanın genişletilmesi için kısıtlamalar iki yönlüdür, bunlar; sulama şebekesinin inşaatı için ihtiyaç duyulan yatırımlar ile gelişmekte olan bazı ülkelerde sulama sektörünü güçlendirmek için gerekli kurumsal ve yasal gelişme eksikliğidir (Koç, 2011). Bu nedenle, düşük gelirli ülkelerde küçük ölçekli sulama ile birlikte kapasite geliştirme ve sulamanın geliştirilmesi önemli adımlar olarak değerlendirilmelidir. Belirtilen kısıtlamalar nedeniyle sulama geliştirme programlarında öncelik sulanan alanlarda su verimliliğinin artırılması olmalıdır. İşletme halindeki sulama sistemlerinin modernizasyonu ve rehabilitasyonu bu amaca yönelik temel faaliyetlerdir. Modernizasyon, su kayıplarını azaltmak ve suyun esnekliğini, güvenilirliğini ve zamanında ulaşmasını iyileştirmek için sulama suyunun taşınması ve dağıtılmasına yönelik sistemlerde yapılan iyileştirmeleri içermektedir. Bu durum, ana kanalları kaplayarak, su akışını kontrol edecek yapılar inşa ederek ve ana kanallarda küçük yan düzenleme rezervuarları yaparak, dağıtım şebekesinde açık kanalları borulu sistemlerle değiştirerek gerçekleştirilebilir. Modernizasyon aynı zamanda çiftçilerin yenilenen hidrolik altyapıyı su kullanıcı organizasyonları (Sulama Birlikleri, Kooperatifler) aracılığıyla işletme ve bakımını yapma kapasitesinin geliştirilmesini de içermektedir (Koç, 2007; Koç & Bayazıt, 2015). Su verimliliğinin artması, sulama suyunun uygulama etkinliğinin iyileştirilmesine de bağlıdır. Bu nedenle, su tasarrufu yapmak ve boşaltılacak drenaj suyu hacmini azaltmak için yüzey akışın ortadan kaldırılması ve derine sızmanın azaltılması gerekmektedir. Yağmurlama ve damla sulamaya geçiş sulama uygulama verimliliğini artırmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Hem sulamanın genişletilmesi hem de modernizasyonu için, kurumsal güçlendirmenin yanı sıra hükümetler tarafından belirlenen politikaların uygulanması, sulama gelişimini ileriye götürmek için temel eylemlerdir. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkelerde gıda güvenliğini sağlamak için tarımsal üretimin artırılması mümkün olabilecektir. Gelişmekte olan ülkelerde şimdiye kadar uygulanan başarılı sulama ve drenaj pilot projelerinin ölçeğinin yükseltilmesi için kamu desteğinin yanı sıra en yoksul çiftçilerin teknik kapasitelerinin artırılmasına da ihtiyaç vardır. Havzalarda mevcut su kaynaklarının büyük bir oranı sulama amaçlı kullanıldığı için entegre havza yönetiminde sulama işletmeciliği önemli bir yer tutmaktadır (Şekil 3). Birçok havzada su kaynaklarının önemli bir kısmı tarım tarafından kullanıldığı için sulama işletmeciliği entegre havza yönetimin ilkeleriyle birlikte ele alınmalıdır. Sulama şebekelerinde su ve alanın etkin kullanımına ilişkin konuda, sulama oranı, sulama alanı sürdürülebilirlik oranı ve proje sulama randımanı parametreleri kullanılmalıdır. Sulama oranı, sulama şebekelerinde incelenen yılda fiilen sulanan alanın, proje net sulama alanına oranı; sulama alanı sürdürülebilirlik oranı, mevcut durumda sulanabilir proje net alanının, başlangıçtaki proje net alanına oranı; proje sulama randımanı (Koç, 2013) ise sulama şebekelerinde bitkinin ihtiyaç duyduğu net sulama suyu miktarının, sulama şebekesinde kullanılan toplam sulama suyu miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Sulama oranı, sulama şebekesi inşa edilen proje alanının tarımsal amaçlı etkin kullanılıp kullanılmadığını; sulama alanı sürdürülebilirlik oranı, havzada sulu tarıma ayrılan ve sulama şebekesi inşa edilen alanların fiziki değişimini; proje sulama randımanı ise havza sulama şebekelerinde suyun etkin kullanılıp, kullanılmadığını göstermektedir (Koç, 2015; Koç, 2017b).



Şekil 3: Entegre nehir havzası yönetiminde sulama yönetimi (Koç, 2015)

6. Sonuçlar

Gelecekteki zorlukları bilmek, planlama, yönetme ve modelleme tarzımızı daha iyiye doğru değiştirecek yöntemlerle bunları nasıl karşılayacağımızı ortaya koymaktadır. Araştırmacılar olarak rolümüz, karmaşık sistemlerin ve zorlukların nasıl işlediğini ve etkileşime girdiğini anlamak ve yaklaşımlarımızı bunları analiz etmek ve ele almak için uyarlamaktır. Son derece belirsiz koşullarla nasıl başa çıkılacağına ve sürdürülebilir ve dirençli insan-çevre sistemlerinin nasıl yaratılacağına ilişkin yanıtlara sahip olmak zordur. Bu yanıtların basit olduğuna ve her koşulda işe yarayacağına inanılmamalıdır. Belki her zaman bu tür zorluklarla karşılaşacağız. Ancak, bilim ve teknoloji bunları aşmamıza yardımcı olacak şekilde geliştikçe, biz (belki de dünyadaki olaylara veya diğer dışsallıklara yanıt olarak) yeni zorluklarla karşılaşacağız ve bunlarla yüzleşeceğiz. Odak noktasının sürdürülebilirliğe doğru değişmesi ve sürdürülebilir şekilde tasarlanmış sistemlerin geliştirilmesi, bu makalede açıklanan üç araştırma alanından elde edilen bilgilerin birleştirilmesi, en uygun genel kararların alınmasına yardımcı olabilir.

Su güvenliği dili dünya çapındaki politika bildirilerinde geniş çapta benimsenmiştir. Ancak, bunu eyleme dönüştürmenin önünde birçok engel bulunmaktadır. Araştırmacılar ve uygulayıcılar, bilim adamları ve mühendislerden oluşan bilgili topluluklar, politikayı su çözümlerine bağlamanın önündeki bazı engellerin aşılmasına yardımcı olabilir.

Bilimsel ve teknik çalışmaların bulgularını yalın bir dil kullanarak halka iletmeye çalışarak başlayabilirler ve muhtemelen politika özetleri hazırlayarak siyasi liderleri ve diğer karar alıcıları bilgilendirme/egitime çabalarını artırabilirler. Ayrıca, ortak girişimler başlatmak, bilgi notları hazırlamak ve ortak toplantılar veya konferanslar düzenlemek için güçlerini birleştiren farklı toplumlarla disiplinler arası işbirliklerini teşvik etmelidirler. Uluslararası platformlar, uygulayıcıların ve yenilikçilerin, daha güvenli bir su geleceğine yönelik değişimi hızlandırmak üzere politikacılar ve bilim insanlarıyla özgürce fikir alışverişinde bulunmaları için alan ve fırsat yaratır.

Su yönetimi zorlukları çoğunlukla arazi kapsamında suyun kullanımı ve dinamikleriyle ilgilidir. Arazilere insan müdahalesi, özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde ani taşkınlar, ısı stresi, kimyasal ve hidromorfolojik baskılar, toprak erozyonu ve hızlandırılmış drenaj, yeraltı suyunun tükenmesi gibi çeşitli su güvenliği zorluklarına yol açan doğal işleyişi ve dinamikleri azaltmaktadır. Su güvenliği sorunlarına yönelik iyileştirmeler üzerinde çalışırken bu farklı yöntemler arasındaki etkileşim, kaynaktan denize kadar bir havza yaklaşımı dahilinde tüm yönlerin iyileştirilmesi üzerine çalışan entegre stratejileri gerektirir.

Küresel olarak insan güvenliğine ilişkin maliyetler ve altyapıya olan etkiler artmaktadır. Etkileri azaltmaya yönelik eylemlerin uygulanması ve bilim ve mühendislik temelli iklim değişikliğine dirençlilik protokollerinin oluşturulması, koordinasyonu ve altyapının tasarımı, inşaatı ve işletilmesine yönelik geleneksel yaklaşımların izlenmesiyle ilişkili risklerin anlaşılmasını gerektirir.

Küresel su güvenliği sorunları çoktur ve toplumsal ve çevresel ihtiyaçlara göre hem çok fazla veya çok az suyla hem de çok kirli suyla ilgilidir. Taşkınların, kuraklıkların ve kirlenmiş suların olası olumsuz etkilerini azaltmak için çok çeşitli yönetim çözümleri mevcuttur. Son yıllarda su güvenliği sorunlarının yönetilmesine yönelik genel stratejilerin bir parçası olarak Doğa Temelli Çözümlerin potansiyel rolüne giderek daha fazla önem verilmektedir.

Kaynaklar

- Akhtar, N., Geyer, B., Rockel, B., Sommer, P.S., & Schrum, C. (2021). Accelerating deployment of offshore wind energy alter wind climate and reduce future power generation potentials. *Scientific Reports*, 11, Article 11826. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91283-3>
- Alamanos, A., & Koundouri, P. (2022). *Emerging challenges and the future of water resources management*. Athens University of Economics and Business. <http://wpa.deos.aueb.gr/docs/2022.WATER.RESOURCES.MANAGEMENT.pdf>
- Alamanos, A., Koundouri, P., Papadaki, L., Pliakou, T., & Toli, E. (2022). Water for tomorrow: a living lab on the creation of the science-policy-stakeholder interface. *Water*, 14(18), Article 2879. <https://doi.org/10.3390/w14182879>
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R. A. P., Parajka, J., Merz, B., Lun, D., ... Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
- Borden, C., Goodwin, P., & Swanson, D. (2017). Integrated hydro-environment assessment with latitude (IHEAL): A framework for conceptualizing and quantifying water use sustainability. In A. A. Ghani (Ed.). *E-proceedings of the 37th IAHR World Congress* (pp. 1–13). IAHR & USAINS HOLDING SDN BHD.
- Bossaerts, P., Yadav, N., & Murawski, C. (2019). Uncertainty and computational complexity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1766), Article 20180138. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0138>
- Conforti, P. (2011). *Looking ahead in world food and agriculture. Perspectives to 2050*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/3/i2280e/i2280e.pdf>
- D'Odorico, P., Carr, J., Dalin, C., Dell'Angelo, J., Konar, M., Laio, F., Ridolfi, L., et al. (2019). Global virtual water trade and the hydrological cycle: patterns, drivers and socio-environment impacts. *Environmental Research Letters*, 14(5), Article 053001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab05f4>
- Falconer, R & Mynett, A. (2022). *Introduction to Global Water Security*. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). <https://www.iahr.org/library/infor?pid=20699>
- FAO. (1999). *The FAO field programme and agricultural development in Asia and the Pacific* (RAP Publication 1999/28). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/AC621E/ac621e00.htm>
- FAO. (2018). *World Food and Agriculture - Statistical Pocketbook 2018*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/ca1796en/ca1796en.pdf>
- FAO. (2022). *FAOSTAT*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/>
- Findikakis, A. N., & Soo, T. (2022). *The link between policy and water security*. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). <https://hdl.handle.net/20.500.11970/109565>
- Goodwin, P., & Wagner, D. (2022). *Water Security: Climate change and the great unknowns*. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). <https://hdl.handle.net/20.500.11970/109564>
- High-Level Panel on Water. (2018). *Making every drop count, an agenda for water action*. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/17825HLPW_Outcome.pdf
- Hydro Politic Academy. (2019). *Akıllı kentlerde yenilikçi su yönetimi yol haritası* (Rapor No: 2019-3). Su Politikaları Derneği.
- Klotz, L., Weber, E., Johnson, E., Shealy, T., Hernandez, M., & Gordon, B. (2018). Beyond rationality in engineering design for sustainability. *Nature Sustainability*, 1, 225–33. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0054-8>
- Koç, C. (2007). Assessing the financial performance of water user associations: a case study at Great Menderes Basin, Turkey. *Irrigation and Drainage Systems*, 21(2), 61-77. <https://doi.org/10.1007/s10795-006-9015-x>
- Koç, C. (2008). The environmental effects of salinity load in Great Menderes Basin Irrigation Schemes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 146(1-3), 479–489. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0478-0>
- Koç, C. (2011). A study on construction costs per unit area of irrigation schemes. *Irrigation and Drainage Systems*, 25(4), 255-263. <https://doi.org/10.1007/s10795-011-9120-3>

- Koç, C. (2013). A study on some parameters which can affect the project irrigation efficiency in irrigation networks. *Irrigation and Drainage*, 62(5), 586–591. <https://doi.org/10.1002/ird.1754>
- Koç, C. (2015). A study on the role and importance of irrigation management in integrated river basin management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 18(8), Article 488. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4647-7>
- Koç, C. (2017a). Assessment of drinking water quality in Bodrum Peninsula-Tourism Region, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(4), 1274–1284. <https://doi.org/10.1002/ep.12801>
- Koç, C. (2017b). A study on importance and role of irrigation and hydropower plant operation in integrated river basin management. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.4236/cweee.2017.61001>
- Koç, C. (2018a, 22–24 Mart). *Integrated management of water resources at river basin level: a case study in Büyük Menderes Basin* [Bildiri sunumu]. International Water and Environment Congress, Bursa, Türkiye.
- Koç, C. (2018b, 14–16 Kasım). *Past and future of integrated river basin management studies in Turkey and other countries* [Bildiri sunumu]. International Congress on Engineering and Architecture, Alanya-Antalya, Türkiye.
- Koç, C., & Bayazit, Y. (2015). A study on assessment financing of irrigation schemes. *Irrigation and Drainage*, 64(4), 535–545. <https://doi.org/10.1002/ird.1925>
- Li, C., Turmunkh, U., & Wakker, P.P. (2019). Trust as a decision under ambiguity. *Experimental Economics*, 22(1), 51–75. <https://doi.org/10.1007/s10683-018-9582-3>
- Martínez-García, A.N. (2022). Artificial Intelligence for Sustainable Complex Socio-Technical-Economic Ecosystems. *Computation*, 10(6), Article 3390. <https://doi.org/10.3390/computation10060095>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H. O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., & Waterfield, T. (2018). *Global Warming of 1.5°C*. IPCC. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- NASA. (2018). *GRACE-FO: Tracking Earth's Mass in Motion*. National Aeronautics and Space Administration (NASA). https://eosps.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/publications/GRACE_FO%20Mission%20Brochure_508.pdf
- OECD. (2013). *Water security for better lives, a summary for policymakers*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264202405-en>
- Paleologos, E., & Mertikas, S. (2013). Evidence and implications of extensive groundwater overdraft-induced land subsidence in Greece. *European Water*, 43, 3–11.
- Pande, S., Roobavannan, M., Kandasamy, J., Sivapalan, M., Hombing, D., Lyu, H., & Rietveld, L. (2020). A socio-hydrological perspective on the economics of water resources development and management. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.657>
- Perera, D., Smakhtin, V., Williams, S., North, T., & Curry, A. (2021). *Ageing Water Storage Infrastructure: An Emerging Global Risk* (UNU-INWEH Report Series 11). Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH). <https://inweh.unu.edu/wp-content/uploads/2021/01/Ageing-Water-Storage-Infrastructure-An-Emerging-Global-Risk.pdf>
- Quitow, R., Bersalli, G., Eicke, L., Jahn, J., Lilliestam, J., Lira, F., Marian, A., Süsler, D., Thapar, S., Weko, S., Williams, S., & Xue, B. (2021). The COVID-19 crisis deepens the gulf between leaders and laggards in the global energy transition. *Energy Research & Social Science*, 74, Article 101981. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101981>
- Ranzi, R. (2020). *Climate change adaptation in water engineering* (IAHR White Paper Series 1). IAHR.
- Sadoff, C.W., Hall, J. W., Grey, D., Aerts, J. C. J. H., Ait-Kadi, M., Brown, C., Cox, A., Dadson, S., Garrick, D., Kelman, J., McCornick, P., Ringle, C., Rosegrant, M., Whittington, D., & Wiberg, D. (2015). *Securing water, sustaining growth: report of the GWP/OECD task force on water security and sustainable growth*. University of Oxford. <http://www.gwp.org/Global/About%20GWP/Publications/The%20Global%20Dialogue/SECURING%20WATER%20SUSTAINING%20GROWTH.PDF>
- Shukla, A., Garg, S., Mehta, M., Kumar, V., & Shukla, U. K. (2020). Temporal inventory of glaciers in the Suru sub-basin, western Himalaya: impacts of regional climate variability. *Earth System Science Data*, 12, 1245–1265. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1245-2020>
- Su, L., Miao, C., Kong, D., Duan, Q., Lei, X., & Hou, Q. (2018). Long-term trends in global river flow and the causal relationships between river flow and ocean signals. *Journal of Hydrology*, 563, 818–833. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.058>
- Trindade, B. C., Reed, P. M., & Characklis, G. W. (2019). Deeply uncertain pathways: Integrated multi-city regional water supply infrastructure investment and portfolio management. *Advances in Water Resources*, 134, Article 103442. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.103442>
- United Nations. (2021). *What Are the Sustainable Development Goals?* <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- UN-Water. (2013). *What is water security?* https://www.unwater.org/app/uploads/2017/05/unwater_poster_Oct2013.pdf
- World Bank. (2023). *The World Bank, Urban Development*. 3 Haziran 2023'te [https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/adresinden alindi](https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/adresinden%20alindi).
- Water Policy Group. (2021). *Global Water Policy Report, Listening to National Water Leaders*. Global Water Institute. <https://waterpolicygroup.com/wp-content/uploads/2022/02/2021-Global-Water-Policy-Report-4-Feb-2022.pdf>
- Yung, L., Louder, E., Gallagher, L.A., Jones, K., & Wyborn, C. (2019). How methods for navigating uncertainty connect science and policy at the water-energy-food nexus. *Frontiers in Environmental Science*, 7, Article 37. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00037>