



Enhancing Disaster Resilience: A Water Management-Oriented Approach

Bekir Tastan^{1,a,*}, Ekrem Mutlu^{1,b}

¹Kastamonu University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, 37150, Kastamonu, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 04.12.2025 Accepted : 22.12.2025</p> <p>Keywords: Natural Disasters Water Management Sustainability Resilience Disaster Management</p>	<p>A disaster is an event caused by natural forces or human activities that leads to considerable loss of life and property, resulting in circumstances that society struggles to manage. Over the ages, humanity has been upsetting the equilibrium of nature by overusing natural resources to fuel technological and economic advancement. Consequently, the frequency and intensity of disasters impacting individuals and assets have risen, worsening their destructive consequences. Resilience aims to protect and strengthen people and their assets against the destructive effects of disasters. To increase resilience and reduce vulnerabilities to disasters, community-based approaches are needed, especially activities such as disaster risk reduction and management. Recently, storms, droughts, floods, and inundations that have emerged under the influence of climate change have led to an increase in the number and severity of hydro-meteorological disaster risks. To reduce the damage that these disasters may cause and to increase resilience, approaches that ensure more rational management of water and water resources are required. In this way, sustainability can also be achieved more easily. In this study, hydro-meteorological disasters, which have increasingly affected our cities in recent years, and issues such as resilience against these disasters are discussed. Afterwards, the management of water, which is one of the important factors in ensuring resilience against these disasters, is examined. The strategies required for the rational management of water are analyzed from global-scale approaches to local-level practices. In today's world, where the effects of the climate crisis are felt more strongly, the rational management of water will make our society more resilient in the future and prevent disaster-related losses while accelerating sustainable development.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 14(4): 1196-1215, 2026

Afet Dirençliliğinin Artırılması: Su Yönetimi Odaklı Bir Yaklaşım

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makalesi</i></p> <p>Geliş : 04.12.2025 Kabul : 22.12.2025</p> <p>Anahtar Kelimeler: Doğal Afetler Su yönetimi Sürdürülebilirlik Dirençlilik Afet Yönetimi</p>	<p>Afet doğal ya da insani bir etkenle ortaya çıkan, gerçekleştiğinde çok büyük ölçüde can ve mal kaybına sebep olarak toplumun üstesinden gelemeyeceği koşulların yaşanmasıdır. İnsanoğlu yüzyıllardır teknolojik ve ekonomik gelişme için doğal kaynakları ölçsüz biçimde kullanarak doğanın dengesini bozmaya devam etmektedir. Bunun sonucunda insanları ve mal varlıklarını etkileyen afetlerin sayısı ve şiddetlerinde artışlar yaşanarak afetlerin yıkıcı etkileri fazlalaşmaktadır. Dirençlilik afetlerin yıkıcı etkilerine karşı insanları ve sahip olduğu mal varlıklarını korumak ve onları güçlendirmek amacı güder. Dirençliliğin artırılması ve afetlere karşı kırılganlıkların azaltılması için toplum temelli yaklaşımlara, özellikle zarar azaltma ve risk yönetimi gibi çalışmalara gereksinim duyulmaktadır. Son zamanlarda iklim değişikliği etkisiyle ortaya çıkan fırtınalar, kuraklıklar, sel, taşkın gibi hidrometeorolojik kaynaklı afet risklerinin sayısında ve şiddetlerinde artışların yaşanmasına sebep olmuştur. Bu afetlerin ortaya çıkaracağı zararların azaltılması ve kentsel dirençliliğin artırılması için su ve su kaynaklarının daha akılcı bir şekilde yönetileceği yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Böylelikle sürdürülebilirliğin de sağlanması kolaylaşmış olur. Çalışmada son zamanlarda öncelikle kentlerimizi giderek daha fazla etkileyen hidrometeorolojik afetler ve bu afetlere karşı dirençlilik gibi konular ele alınmıştır. Sonrasında bu afetlere karşı dirençliliğin sağlanabilmesinde önemli faktörlerden birisi olan suyun yönetimi incelenmiştir. Suyun akılcı yönetimi için gerekli olan stratejiler küresel ölçekli yaklaşımlardan yerel uygulamalara kadar analiz edilmiştir. İklim krizinin etkilerinin çok daha fazla hissedildiği günümüzde suyun akılcı yönetimi toplumu geleceğe daha dirençli taşıyacak ve afet kaynaklı kayıpların önüne geçerek sürdürülebilir kalkınmayı hızlandıracaktır.</p>

^a bekirtastan@kastamonu.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0002-3957-7371>

^b ekrem-mutlu@hotmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0002-6000-254X>



Giriş

İnsan ya da doğa kökenli bir olayla maruziyet, hassasiyet ve kapasite koşullarının etkileşimi sonucu insani, maddi, ekonomik ve çevresel kayıpların ortaya çıkmasıyla bir toplumun veya topluluğun işleyişinin ciddi bir şekilde bozulmasına afet adı verilir (UNDRR, 2017). Bu tanıma göre afetin gerçekleşmesi için iki farklı ögeye ihtiyaç vardır. Bunlardan birincisi doğa ya da insan kaynaklı bir olay, ikincisi ise insanların ve çevresinde bulunan çeşitli mal varlıklarının, doğal çevrenin tehlike etkisine maruz kalabilecek özellikleri ve nitelikleridir. Afet tehlikesi doğal, teknolojik, insan kaynaklı sosyo-ekonomik kayıpları oluşturabilen bütün olaylara denmektedir (AFAD, 2012). Tehlikelerin ortaya çıkmasında yerin iç yapısındaki değişimler etkili olabilir. Böylesi durumlarda depremler, volkanik aktiviteler oluşur. Jeolojik ve jeofiziksel ve jeomorfolojik yapıya bağlı olarak ise kütle hareketleri, kaya düşmeleri, yer kaymaları, moloz ve çamur akıntıları ortaya çıkar (UNISDR, 2009). İklimsel ve aşırı hava olaylarına bağlı olarak fırtınalar, aşırı yağışlar ve uzun süreli hava olayları gibi afet tehlikeleri de ortaya çıkar (Şahin ve Sipahioğlu, 2009). Birtakım afetler hızlı ve ani olarak gelişirler. Depremler, seller, fırtına ve tayfunlar bu tür afetlerdir. Bazıları ise yavaş yavaş gelişir. Bu tür afetlerin etkileri uzunca süreden sonra ortaya çıkar. İklim değişimi etkisiyle bu afetlerin gelişimi farklılaşır, başka tür afetlerin oluşumu ve gelişimine tesir ederler (Dickson ve ark., 2012). İnsan kökenli afetler de büyük boyutlu kayıplara neden olurlar. Her ne kadar afetler denilince akla doğal kökenli afetler gelse de beşeri afetler de insanları ve mal varlıklarını etkileyerek tamiri mümkün olmayan etkiler ortaya çıkarabilir (Smith, 2013).

Afetlerin bir kısmı tek kökenden kaynaklanan tehlikeler etkisiyle ortaya çıkarken, bazıları birçok afet tehlikesinin birbirini etkilemesi, tetikleme veya birbiri ardı sıra gelmesiyle ortaya çıkar. Bu tür durumlarda çoklu afet tehlikeleri oluşur. Çoklu afet tehlikeleri ve aralarındaki ilişkiler nedeniyle karada ve denizde birçok afet türü ortaya çıkmaktadır. Kasırgalar sonucu deniz kabarmaları ortaya çıkarken, bunun sonucunda kıyılarda yerleşim yerleri sular altında kalmaktadır (Zscheischler ve ark., 2018). İklim değişikliğine bağlı olarak yangınlar, kuraklık, böcek istilası gibi zincir tehlikeler ortaya çıkabilmektedir (Halofsky ve ark., 2020). Çoklu afetler ya birden çok afet tehlikesinin kazara bir arada görülmesiyle, ya da birbirini tetikleme veya biri diğerinin öncüsü olması durumunda gerçekleşebilir (Hewitt ve Burton, 1971). Çoklu afet tehlikesi durumunda afet tehlikelerinin karakteristikleri değişmekte, tehlikeler birbirini tetikleyebilmektedir. Böylesi durumlarda risk elemanlarına olan etki de değişir. Bu şekilde afetlerin ele alınması ve yönetilmesi zorlaşmaktadır (Kappes ve ark., 2012).

Afetlerden dolayı ortaya çıkan sosyal ve ekonomik kayıplar giderek artmaktadır. Daha fazla sıklık ve magnitüde sahip hidro-meteorolojik aşırı olayları da kapsayan küresel değişim senaryoları zaten kritik olan bir çerçevenin karmaşıklığını daha da artırmaktadır (Bressiani, 2016). Afetlerin ortaya çıkardığı negatif sonuçları ortadan kaldırılmak veya asgariye indirmek için yapılacak çalışmaların afet öncesi, sırası ve sonrasında belirli bir sistematik süreç içerisinde gerçekleştirilmesi için yapılan çok yönlü, aktörlü ve disiplinli yönetim sürecine

afet yönetimi adı verilir (AFAD, 2025). Afet yönetimi yaşamı tehdit eden olayları tamamen önleyemeyebilir veya ortadan kaldıramayabilir; ancak afetlerin etkisinin azaltılması ve yeniden inşa etmek için hazırlık ve diğer planların uygulanmasına odaklanır (UNDRR, 2017). Zarar azaltma afete müdahale periyodundan başlayarak sonraki afetin gerçekleşmesine kadar geçecek zaman içinde afet tehlikelerinden korunmak için gerekli teknik, idari ve sosyal önlemlerin tamamına denir. Afetlerin gerçekleşmesinden önce zarar azaltma çalışmalarının yapılması zorunludur (Güler, 2008). Zarar azaltma konuları arasında tehlikelerin belirlenmesi, risk profillerinin çıkarılması, afet senaryolarının üretimi, toplumun afet bilincinin geliştirilmesi, risk altındaki yapı ve insanların korunması, tarihi eserler, çevre ve doğal hayatın korunması amacıyla yapılan çalışmalar bulunur (Kadıoğlu, 2008).

Afetler karşısında zarar görebilirlik insanlar ya da sahip olduğu mal varlıklarının afet tehlikesinin olumsuz etkilerine maruziyetine neden olan özellikleridir (UNISDR, 2009). Zarar görebilirlik sosyal olarak hassas olma, kırılabilirlik ve savunmasızlık şeklinde de bilinmektedir (Kadıoğlu ve Özdamar, 2008). Dirençlilik terimi sistem ya da toplumun afet tehdidinde maruz kalması durumunda, tehdidin yaratacağı negatif tesirlere karşı uyum sağlayabilmesi, kendini toparlayabilmesi, karşı koyabilmesi, iyileşebilmesi gibi anlamları ihtiva edecek şekilde tanımlanmaktadır (Özyetgin Altun, 2023). Dirençlilik kavramı afet yönetimi çerçevesinde farklı disiplinlerin bakış açılarıyla ele alınmaktadır. Dirençlilik birtakım çalışmalarda iklim değişikliği, kent planlaması ve tasarım gibi perspektifte incelenirken, psikoloji ve sosyoloji gibi bilim alanlarında toplumun gerginlik, travma ve kriz durumlarıyla başa çıkma kapasitelerini ve güçlü yönlerini anlatmaktadır (Akbaş, 2024). Küresel çapta ve Türkiye’de afetler kalkınmanın önünde yer alan en büyük engellerden birisidir. Bu sorunun üstesinden gelinmesi için tüm toplumun ortak çabası gerekmektedir. Toplumun afetlere karşı edineceği refleks çok öneme sahiptir. Toplumun işin içine katmayan bir afet mücadelesi ve afet yönetimi başarılı olamaz (Özler, 2021). İklim değişikliğiyle beraber büyüklükleri, frekansları ve risk elemanlarına verdikleri zararları artan hidro-meteorolojik afetlere karşı koyabilmek için yalnızca afetlerin doğasını anlamak yetmezken, onlara karşı koyabilmek için toplumsal dirençliliği sağlayabilecek uygulamalar ve suyun yönetimiyle ilgili stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Su yönetimi; insanların ekolojik ve ekonomik ihtiyaçları karşılamak için su kaynaklarının planlanması, geliştirilmesi, dağıtımı, yönetimi ve gözetimini kapsayan, ekosistem hizmetlerinin ve dayanıklılığın korunmasını amaçlayan bilinçli bir süreçtir (Benson, Gain & Giupponi, 2019). Bu kavram; yönetim, altyapı ve talep yönetiminin yanı sıra mevcut ve gelecek nesiller için güvenli su ve sanıtyona erişimi garanti altına alan teknik, kurumsal ve finansal düzenlemeleri de içerir (Sadoff, Borgomeo & Uhlenbrook, 2020). Sağlam bir su yönetimi anlayışının gerekliliği, suyun insan sağlığı, gıda ve enerji sistemleri ile endüstriyel faaliyetlerdeki merkezi rolü; buna karşılık tatlı su kaynaklarının sınırlı olması ve nüfus artışı, kentleşme ve

iklim değişikliğinden kaynaklanan artan baskılarla daha da belirginleşmektedir (Sadoff ve ark., 2020; Sörup ve ark., 2020). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) içinde özellikle SKA 6 – “herkes için temiz su ve sanitasyon” – evrensel erişimi, su kalitesini ve entegre su kaynakları yönetimini önceliklendiren küresel bir politika dayanağı sağlar (Roy ve ark., 2022; Basu & Dasgupta, 2021). Ancak, farklı bağlamlarda politika hedefleri ile fiili yönetim, finansman ve hizmet sunumu arasındaki farkları vurgulayan bilimsel analizler, SKA 6’nın başarılmasını zorlaştırmaktadır (Basu & Dasgupta, 2021).

Küresel su yönetimi üç temel ve birbiriyle bağlantılı sorunla karşı karşıyadır: Kıtık ve artan talep, kirlilik ve ekosistem bozulması ve verimsiz, adil olmayan veya dayanıklılığı zayıf yönetim yapıları (Sörup ve ark., 2020; Sadoff ve ark., 2020; Roy ve ark., 2022). 2025 yılında 2.2 milyar insan güvenilir su kaynaklarından mahrum yaşamaktadır (UN-Water, 2025). 2050’ye gelindiğinde ise eğer verimlilik, yönetim ve yatırımlar artırılmazsa dünya nüfusunun üçte ikisinin su stresine karşı karşıya kalacağını göstermektedir (Kulkarni ve ark., 2022). Küresel su yönetimi bibliyometrik analizlerle incelendiğinde, güvenli ve erişilebilir su (SKA 6.1), atıksu arıtımı ve yeniden kullanımı (SKA 6.3), entegrasyon ve sınır ötesi iş birliği (SKA 6.5) gibi temaların araştırmalarda merkezde yer aldığı görülmektedir (Roy ve ark., 2022; Basu & Dasgupta, 2021). Ancak eleştiriler de mevcuttur: Yalnızca “su merkezli” veya teknokratik yaklaşımların, SKA 6’ya ulaşmada gerekli sosyo-politik, ekonomik ve ekolojik boyutları tam olarak yansıtmadığı ileri sürülmektedir (Basu ve ark., 2019; Sadoff ve ark., 2020).

Küresel ilerlemeler, Entegre Su Kaynakları Yönetimi (IWRM) ilkelerinin, izleme teknolojileri, veri analitiği ve katılımcı yönetimle birleştirilmesi tanımlanmaktadır. IWRM, rekabet halindeki su kullanımlarını dengeleyen, havza ölçekli planlamayı, paydaş katılımını ve sektörler arası koordinasyonu teşvik eden bir çerçeve olarak yaygın biçimde uygulanmaktadır (Benson ve ark., 2019; Basu & Dasgupta, 2021). Ancak araştırmacılar, IWRM’nin etkin olabilmesi için esnek yönetim, adaptif finansman ve iklim değişikliğine duyarlı senaryo planlamasıyla desteklenmesi gerektiğini savunmaktadır (Sadoff ve ark., 2020). Akıllı su yönetimi, uzaktan algılama ve gerçek zamanlı su kalitesi izleme gibi yenilikler, daha hızlı ve kanıta dayalı karar almayı sağlamaktadır. Bununla birlikte, bilgi-uygulama arasındaki boşlukları kapatmak için veri eksiklikleri ve yönetim sınırlamalarıyla da mücadele edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Mwebaze vd, 2021; Bertule ve ark., 2018; Zindi & Shava, 2022).

Küresel bir bakış açısı, su yönetimi alanındaki bölgesel uygulama ve yaklaşımların çeşitliliğini de ortaya koymaktadır:

- Doğu Asya’da, özellikle Kore, sonuç odaklı yönetim ve topluluk katılımını birleştirerek su yönetiminde dayanıklılığı güçlendirmiştir (Evaristo ve ark., 2023).
- Avrupa ve Amerika’da yönetim reformları ve kentsel su sistemleri üzerine farklı deneyimler bulunmaktadır; örneğin İspanya’nın temiz su ve sanitasyon sektöründeki verimliliği, Romanya’nın ise yönetimde yaşadığı zorluklar dikkat çekicidir (Bao ve ark., 2023; Dube, Shekede & Massari, 2022; D’Amore ve ark., 2022).

- Ayrıca, vatandaş bilimi (citizen science) tabanlı izleme ve yönetim araçları, SKA 6’nın hesap verebilirliğini ve erişimini genişletmek için önem kazanmaktadır (Evaristo ve ark., 2023; Talpur ve ark., 2024).

Son olarak, SKA 6 gündemi, finansman, yatırım ihtiyacı ve evrensel erişim hedeflerinin ekonomik boyutuna da güçlü bir akademik ilgi çekmiştir (Basu & Dasgupta, 2021; Kulkarni ve ark., 2022; Bao ve ark., 2023). Bu küresel çerçeve, Türkiye gibi ülkelerdeki ulusal su yönetimini analiz etmek için bir temel sağlar. Türkiye, SKA 6, IWRM, su güvenliği ve iklim uyumu gibi küresel politika araçlarıyla uyumlu olmakla birlikte, özgül kurumsal, hukuki ve coğrafi analizler gerektirir. Mevcut kaynak kümesi Türkiye’ye özgü politika belgeleri içermese de Türkiye’nin su yönetimi potansiyelini bu küresel çerçeveler (IWRM, SKA 6, teknoloji destekli izleme, yönetim reformları) üzerinden değerlendirmek mümkündür (Benson ve ark., 2019; Roy ve ark., 2022; Basu & Dasgupta, 2021; Sadoff ve ark., 2020; Bertule ve ark., 2018).

Yöntem

Araştırma bir derleme çalışmasıdır. Derleme çalışmaları belirli bir konu üzerinde kanıtları eleştirel bir nitelikte değerlendirme, özetleme ve uzlaştırma yöntemine denmektedir. Geleneksel ve sistematik olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilirler (Hanley ve Cutts, 2013). Geleneksel yöntemde gerçekleştirilen çalışmalarda iki veya daha fazla çalışma üzerine inceleme yapıp bulgu ve sonuçlar sunulur. Sistematik derleme ise klinik bir sorunun yanıtlanması için o alanda yayımlanmış çalışmaların bütününe kapsamlı şekilde incelenip değerlendirilerek bulguların sentezlenmesine denmektedir (Karaçam, 2013). Çalışma kapsamında geleneksel derleme çalışması yapılmıştır. Çalışma konularıyla ilgili bilgi ve veriler Google akademik, Web of Science TR Dergipark dizini, Scopus, Science Direct gibi veri tabanlarından Türkçe ve İngilizce anahtar kelimeler (örn. Urban resilience/kentsel dirençlilik, hydrometeorological hazards/hidrometeorolojik afetler, water management/su yönetimi) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Seçilen kaynakların bulguları eleştirel olarak değerlendirilerek tematik başlıklar halinde sentezlenip sonuçlara dönüştürülmüştür.

Hidro-Meteorolojik Afetler

Doğal ya da beşeri kaynaklı olarak ortaya çıkan, fiziksel, sosyo-ekonomik kayıplara sebep olan gündelik yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak toplumu üstesinden gelemeyeceği şekilde etkileyen olaylara afet adı verilmektedir (Kadioğlu, 2008). Afetler bir olayın nedenini değil sonucunu gösterir. Çok şiddetli ve büyük bir olay büyük ölçüde can ve mal kaybına neden olmadıkça afet olarak nitelendirilmez. İnsanlar geçim şartları, yaşam kolaylığı, ulaşım şartları gibi etkenlerle afetlere maruz olan yerlerin yakınlıklarında hayatlarını sürdürürler. Nehirler boyunca sel olabilecek alanlara yerleşen insanlar sel riskiyle karşı karşıyadır. Seller taşkınları tetikler. Bu alanlardaki insanların sel risk düzeyleri sel olaylarının magnitudüne, sel frekansına, insanların maruziyet ve mal varlıkları durumlarına bağlıdır (Viglione ve Rogger, 2015).

Doğal tehlikeler geçtiğimiz on yıl içinde insanlara ve çevresine önemli ölçüde zararlar vermiştir (Loukas, Garrote ve Vasiliades, 2021). Doğal afetlerden en yıkıcı olanı nehir taşkınlarının neden olduğu seller, şehirlerdeki ani seller ve kıyı taşkınlarıdır (Tsakiris, 2014). Bu afetler nedeniyle birçok olumsuz durum ortaya çıkmaktadır. Çoğu zaman bu sorunların çözümü uzun yıllar almakta, bazı negatif sonuçlar çözülememekte, sonuç olarak insanların hayatında olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bazı çözümsüz sorunlara ilaveten iklim değişikliği yeni birtakım sorunları eklemektedir (Thomas, 2017). Okyanuslardaki su seviyesinin yükselmesi, küresel ortalama sıcaklıkların artması, buzullardaki erimeler, biyolojik çeşitliliğin azalması, meteorolojik, iklimsel ve hidrolojik kaynaklı afetlerin oluşum sayılarındaki artışı beraberinde getirmiştir (Kadioğlu, 2012). Bu tür iklim kaynaklı afetlerin ortaya çıkmasıyla bu afetlerin arasındaki etkileşimler de artmaya başlamıştır. Buna örnek olarak 2010 yılında Amerika'da Sandy kasırgasından sonra meydana gelen birtakım tehlike zincirleri örnek verilebilir. Aşırı yağışlar sellenmeleri tetikleyerek aynı zaman ve mekanda birleşen afetler oluşarak negatif etki artmıştır (Zscheischler ve ark., 2018).

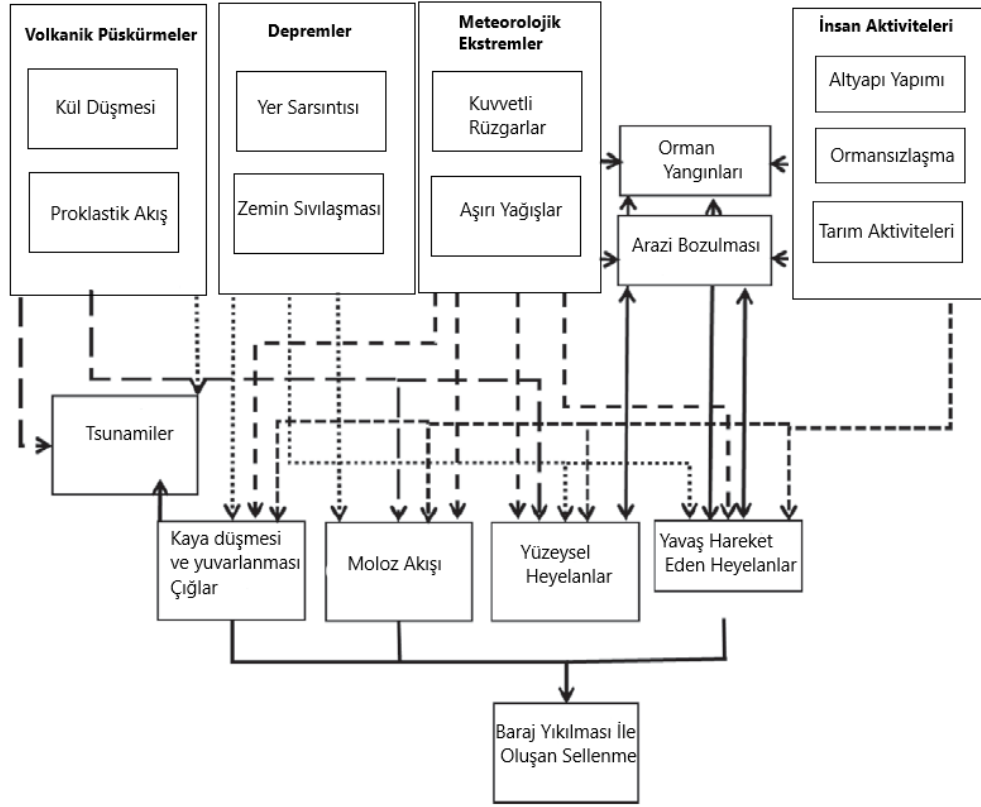
Hidrometeorolojik afetler can kaybı da dahil olmak üzere çeşitli zararlara yol açma potansiyeli bulunan atmosferik, hidrolojik veya oşinografik nitelikteki her türlü süreç ya da olgu şeklinde tanımlanabilmektedir (Tillekaratne ve ark., 2023). Hidrometeorolojik afetler iklimle alakalıdır. Bu afetler sellenmeleri, tornadoları, kıyı dalgalarını ve kuraklığı içerir (Putra, Dewata ve Gusman, 2021). Sel akarsu yatağının kesiti boyutları ele alındığında su fazlasının sebep olduğu olağan dışı hacimlere ulaşan su kütesinin yatak içinde veya yatak kesitini aşır eğim yönünde hızlı ve büyük bir enerjili kontrolsüz akmasıyla ortaya çıkan afetlerdendir (Demirbilek ve Turoğlu, 2025). Tropikal fırtınalar düşük basınç merkezinde, kuvvetli rüzgarlarla ve şiddetli yağmurlarla birlikte spiral şeklinde oluşan hızlı hareket eden sistemlerdir. Kuraklıklar uzun süreli yağış eksikliği olunca meydana gelir. Kuraklık ayrıca buharlaşmayı kolaylaştıran küresel sıcaklık artışı ve yağmur bulutlarını uzaklaştıran hava hareketlerinden kaynaklanır (Chuan ve ark., 2018). İnsan kaynaklı iklim değişikliği etkisiyle deniz seviyesinde yükselme, okyanuslarda asitlenme, akıntuların yönlerinde değişim, permafrost ve metan hidrat değişimlerinin meydana gelmesi beklenmektedir. Suyla, havayla, iklimle ve çevreyle alakalı konular birbirinden ayrı düşünülemez. Yağış yetersizliği veya fazlası yamaç dengesini bozup kütle hareketlerini etkiler. Deniz seviyesinin yükselmesi ve buz tabakalarının erimesi depremleri ve volkanik patlamaları tetikleyebilir. Riskin anlaşılması için tüm bu unsurlar ve aralarındaki ilişkiler belirlenip anlaşılmalıdır (Wisner ve ark., 2025).

Çoklu tehlike olayları tipik olarak birden fazla iklim etmeni veya tehlikenin bir araya gelerek toplumsal ya da çevresel risklere katkıda bulunmasıyla ortaya çıkmaktadır. Tekil tehlikelere kıyasla çoklu tehlike olayları daha büyük ekonomik ve can kayıpları dahil olmak üzere daha ciddi etkilere yol açabilir (Lee ve ark., 2024). Çoklu afetlerin gerçekleşmesi için tehlikeli olayların eş zamanlı, birbirini tetikleyebilen ve zaman içinde birikimli olarak meydana gelebileceği, aralarındaki ilişkilerin ve potansiyel tehlikelerinin ele alındığı özel durumlar ortaya çıkar (UNDRR, 2025). Çoklu afet türlerinin ortaya çıkması iki

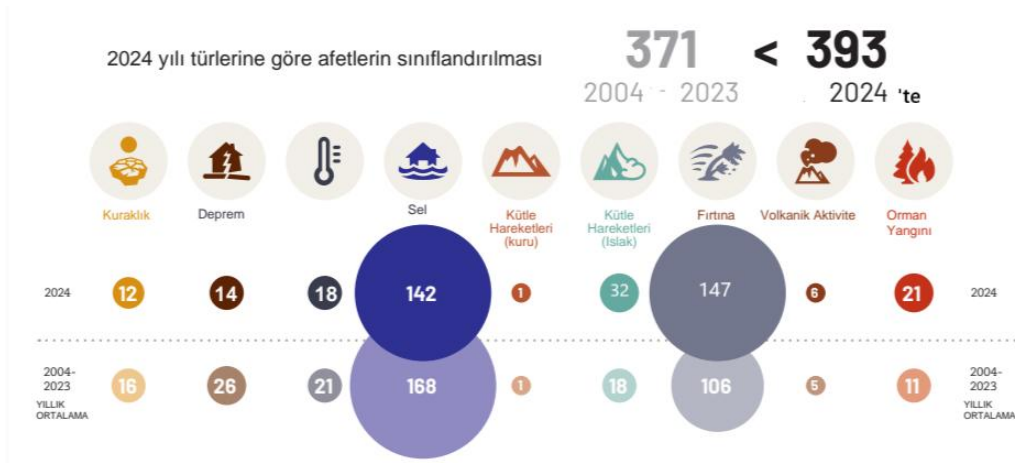
farklı şekilde gerçekleşir. Bunlardan birincisinde afet tehlikeleri birbirinden bağımsız ortaya çıkar ve aralarında herhangi bir etkileşim yoktur. Bu tür afetlerin gelişmesinde afetlerin birbirlerine herhangi bir etkisi ortaya çıkmaz. Örneğin depremle beraber fırtına ortaya çıkabilir. Deprem gelişmesinde fırtınanın bir etkisi bulunmaz. Benzeri şekilde volkanik bir aktiviteyle birlikte fırtına görülebilir. Tehlikelerin ikinci tür ilişkisinde bir tehlike türü diğerini tetikleyebilir ya da biri diğerinin öncüsü olabilir (Hewitt ve Burton, 1971). İkincil tehlikelerin oluşumunda ilk tehlike türünün oluşumu ikincil tehlikenin magnitüt ve frekansını değiştirebilir. Örneğin ormanlık alanda meydana gelen tahribat sonucu daha büyük magnitütte ve frekansta kaya düşmesi olayı gerçekleşebilir (Kappes ve ark., 2012).

Afetlerde tetikleyici etkiler çok boyutlu ve karmaşık olabilmektedir. Bu karışıklık zaman içinde de farklılaşabilir. Düşük düzeydeki tehlikeler zarar görülebilirlik yaygın etkisiyle tesir alanını genişletebilmektedir (Pescaroli ve Alexander, 2015). Fırtınalarda, sellenmelerde, heyelan ve volkanik püskürme olaylarında; afetlerin birbirini tetiklemesi veya insan faaliyetlerinin doğal tehlikeleri tetiklemesi, tehlikeler arasında etkileşimlerin ortaya çıkması, iki farklı tehlikenin aynı zaman ve mekanda bir araya gelmesi, insan aktivitelerinin doğal afetlerin tetiklenmesini şiddetlendirmesi (Gill ve Malamud, 2016) gibi durumlar ortaya çıkabilir. Tetikleyen tehlikeler arası etkileşim birçok şekilde gelişebilir. Deprem oluştuğunda zemin sıvılaşması tsunami, kaya düşmesi, çığ, moloz akıntısı, yüzeysel ve yavaş hareket eden heyelanlar gelişebilir (Taştan ve Aydınoglu, 2022). Meteorolojik olarak gerçekleşen bazı olaylar da ikincil türdeki afet tehlikelerinin tetiklenmesini ortaya çıkarabilir. Aşırı yağışlar ve kuvvetli rüzgar gibi meteorolojik ekstremler arazide bozulmalara sebep olurken, bu olay sonucu yüzeysel veya yavaş hareket eden heyelanlar ortaya çıkabilir. Kaya düşmesi ve moloz akışı gibi tehlikeler gelişebilir. Bu olaylar sonucunda eğer barajlar yıkılırsa sellenmeler meydana gelebilir (Şekil 1). Hidrometeorolojik afetlerdeki değişiklikleri ve bunların etkilerini açıklayabilecek çeşitli faktörler vardır (Kundzewicz ve Jania, 2007): 1- İklim ve atmosfer sistemindeki değişiklikler, 2-Atmosfer, kriyosfer ve okyanuslar arasındaki etkileşimler ve değişiklikler, 3- Karasal sistemlerdeki değişiklikler, 4- Sosyo-ekonomik sistemlerdeki değişiklikler (Arazi kullanımındaki değişiklikler, maruziyet ve hasar potansiyelindeki artışlar, risk algısındaki değişiklikler) bu faktörlerin göreceli önemi bölgeye ve olayın kendisine bağlıdır. Bu olaylar sonucunda insanoğlunu olumsuz yönde etkileyen birtakım negatif sonuçlar ortaya çıkar. Bunların gelişimi ve ortaya çıkardığı zararlar hem afet tehlikelerinin karakteristiklerine, hem de toplumların veya kişilerin özelliklerine bağlıdır. Bu zararları ortadan kaldırmak ya da etkilerini en aza indirmek için tüm toplumu ele alan afet yönetimi anlayışına ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda bu tür afetlerle başa çıkabilme stratejilerinin geliştirilmesi gerekir. Bu stratejilerin bir kısmı dirençlilik oluşturulması ve toplumun buna adaptasyon niteliklerine bağlıdır.

Son günlerde iklimsel değişimlerin etkisiyle dünya üzerinde görülen afetlerin sayıları ciddi şekilde artmaya başlamıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Çoklu tehlikeler ve aralarındaki ilişkilerin gösterimi (Van Westen ve Greving, 2017)
Figure 1. Representation of multi-hazards and their relationships (Van Westen ve Greving, 2017)



Şekil 2. 2004-2023 yılları arasındaki ortalama göre 2024 yılında gerçekleşen afet türlerinin dağılımı (CRED, UCLouvain ve USAID (2024).

Figure 2. Distribution of disaster types in 2024 compared to the average for the period 2004–2023 (CRED, UCLouvain ve USAID (2024).

Geçtiğimiz yıl afetlerin dünya üzerinde gerçekleşme sayılarıyla ilgili elde edilen istatistiksel verilerle 2024-2023 yılları arasındaki afet sayıları ortalamaları karşılaştırıldığında şunlar söylenebilir (CRED, UCLouvain ve USAID (2024): 2004-2023 yılları arasında dünyada 168 adet sel, 106 adet ise fırtına olayı gözlemlenmiştir. 2024 yılındaysa 147 adet fırtına görülmüştür. 2024 yılında iklim kaynaklı afet türlerinde ciddi artışların ortaya çıktığı görülmektedir. Artan nüfusla beraber daha fazla doğal kaynak tüketilirken, iklim değişikliğinin baskısıyla fiziksel ve çevresel sistemlerde belirgin bozulmalar ortaya çıkarak, afetlere karşı

savunmasız durumda olan kentsel sistemlerin maruziyet durumları artmaktadır. Bu durum bu sistemlerin daha akılcıl bir şekilde yönetimini ve afetlere karşı dirençliliklerinin artırılmasını gerektirmektedir.

Hidrometeorolojik Afetlere Karşı Kentsel Dirençlilik

Dünya nüfusunun birçoğu artık kentlerde yaşamaktadır. Kentlerin sahip olduğu birçok çekici özellik sayesinde insanlar buralara yerleşmektedir. Fakat bu çekici niteliklerine rağmen kentlerde hem iklim hem de beşeri etkenler nedeniyle doğal ya da beşeri afetlerin etkileri

artmaktadır (Gerçek ve Güven, 2016). Kentler iklim değişikliği etkilerine karşı son derece savunmasızdır. Günümüzde kentler sel, aşırı sıcaklıklar, sıcak hava dalgaları, taşkın ve kuraklık gibi iklim tehlikelerinin etkisi altındadır (SBB, 2023). İklimsel değişimle ilgili belirsizlikler giderek artmakta ve etkileri kentlerde daha fazla hissedilmektedir. İklim risklerine bağlı olarak kentlerde sosyo-ekonomik kırılganlıkları artırmakta, dolayısıyla kentler afetler karşı dirençlilik sorunuyla karşı karşıya gelmektedir. Buna ilaveten gelecekte bu belirsizliklerden dolayı kentsel dirençlilik kapsamındaki sorunlarda da artışların yaşanması beklenmektedir (Coşkun Hepcan, 2022). Toplumun derinden yaralayan afetler karşısında dirençli şehirler inşa etmek mümkündür. Dirençlilik afet tehlikelerine karşı maruz kalan sistem veya toplumun esas yapısının ve işlevlerinin korunması ve onarımı dahil afet tehlikesinin etkilerine karşı koyması, direnmesi veya benimsemesi gibi yetenekleridir (UNDRR, 2017). Afetlere karşı dirençlilik hem bireysel hem de çevresel faktörlerle alakalıdır. Afetlerle yüzyüze kalındığında başa çıkabilme kapasitesi eğer yeterli ise olay afet boyutuna varmamaktadır. Afetleri absorbe edebilme yeteneği dirençlilikle alakalıdır. Toplumun afetleri absorbe etme yeteneği zayıfladığında etkilenme düzeyi artacaktır (Varol ve Buluş Kırıkaya, 2017).

Dirençli kentler güncel ve gelecekte gerçekleştirebilecek afetlere ve iklim değişikliği etkilerine adapte olabilmeyi ve etkilerin şiddetini belirli seviyede tutmayı başarabilen alanlardır (Coşkun Hepcan, 2022). Kent kavramı kapsamında dirençlilik, afet riskini azaltmakla iklim değişimi arasındaki boşluğu kapatmaya yardımcı olmuştur. Bu yöntemde belirli tehlikelerle ilgili risk değerlendirmelerine dayalı geleneksel risk yönetimi anlayışı takip edilmez. Bunun yerine stres ve şok gibi çok çeşitli yıkıcı olayların meydana gelebileceğini ve bunların öngörülebileceğini ve birden fazla tehlike karşısında bir sistemin dayanıklılığını artırmaya odaklanır (Da Silva ve Morera, 2014).

Zarar görebilirlik bir bireyin, toplumun veya insanların sahip olduğu mal varlıklarının tehlikelerin olumsuz tesirlerine karşı duyarlılığın artırılmasını sağlayan fiziki, sosyo-ekonomik, çevresel faktör veya süreçler vasıtasıyla belirlenen koşullardır (UNDRR, 2017). Dirençlilik terimiyle zarar görebilirlik uzun zamandır karşıt, ilişkili ya da bağımsız kavramlar gibi algılanmıştır. Dirençliliğin artmasının zarar görebilirliği artıracığı düşünülmüştür. Bu farklı tanımlarına rağmen günümüzde dirençlilik genel olarak üç boyutta ele alınmaktadır: Toparlanma, daha iyi toparlanma ve ileriye sıçrama (Graveline ve Germain, 2022). Tanımlarındaki belirsizliklere rağmen dirençlilik terimi daha çok artan nüfusla nasıl başa çıkılabilir, hayatta nasıl kalınabilir gibi ortak temaları belirtir olmuştur. Kentler nüfusun çokluğu nedeniyle dirençlilik için bir laboratuvar alanı haline gelmiştir. Dirençli kentlerin oluşturulmasının odak noktası sürdürülebilirliğin sağlanması, kaynakların etkili ve verimli kullanılması ve kent ile sistemlerin uyumunu sağlamaktır (Kahraman ve Polat, 2019). Yakın zamanda gerçekleştirilen birçok çalışma kentlerdeki mekansal planlamanın iklim değişikliğiyle mücadele ve kentsel dirençliliği artırmada önemli bir rol üstlenebileceğini göstermektedir (Dinçer ve Yalçın Ercoşkun, 2021).

Kentlerin afetlere karşı dirençliliği afet tehlikelerini öngörebilme, baş edebilme, toplumun afetler sonrası normal gündelik yaşamına dönmesi ve gelecekte de afetler karşısında dirençli olabilmelerini ifade eder. Afetler karşısında dirençliliği güçlendiren unsurların çok farklı olması afet risk analiz, azaltım, hazırlık ve yeniden inşa aşamalarında çok boyutlu yaklaşımları gerektirir (Genç ve Alev, 2022). Afet yönetim sürecinde afetler gerçekleştirmeden önce yapılabilir faaliyetlere risk yönetimi çalışmaları adı verilmektedir. Risk yönetimi çalışmalarının başarıyla yapılabilmesi afet sonrası yapılacak çalışmalara göre daha etkili sonuçlar ortaya çıkarır. Risk yönetimi çalışmaları bünyesinde zarar azaltma çalışmaları yaşanabilecek hidrometeorolojik kaynaklı sel ve taşkın gibi afetlerden dolayı ortaya çıkabilecek zararları önleyebilmek amacıyla gerçekleştirilebilir. Bunun yapılabilmesi için risk taşıyan bölgelerin önceden tespitine ihtiyaç duyulur. Tespit edilen bu bölgelerde yapısal ve yapısal olmayan önlemler alınabilir (Pancar ve Gökçe, 2022). Kentlerin afetler karşısında dirençliliklerinin artırılması faaliyetleri; kent planlaması, altyapı unsurlarının geliştirilmesi, toplumsal katılım, bilinçlendirmenin sağlanması ve acil durum yönetimine yönelik çeşitli stratejileri içermektedir. Afetlere karşı dirençli kentler afet riskinin azaltılması ve afet sonrası acil durum yönetimini sağlayabilen alanlardır. Bu sebeple afetler karşısında dirençli kentlerin oluşturulması kent planlaması ve yönetimi alanında öncelikli bir konudur (Varol ve Derin, 2023).

Afet yönetiminin temel amacı afetlerin gerçekleşmesinden önce risk değerlendirmesini yaparak olası afet bölgelerini belirlemek ve risk elemanlarının afete ne kadar maruz kalabileceğini öngörmektir. Geçmişteki afet yönetimi uygulamalarında, genellikle tek bir kökenden gelen afet riskleri ele alınmış ve bu risklerin ortaya çıkarabileceği zararlar belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak insan nüfusunun hızlı artışı, iklimsel etkenler, kentsel alanların kontrolsüz büyümesi gibi nedenlerle aynı zaman ve mekanda birleşen afetler kentlerde daha fazla görülmeye başlanmıştır. Bu nedenle afetlere bakış açısı değişerek afetlerin birbirlerini tetikleyebileceği, zarargörebilirlik durumlarının değişebileceği ve risklerin çoklu boyutlu olabileceği kabul edilmiştir. Bundan dolayı afet yönetiminde çoklu risk yaklaşımı öne çıkmaktadır.

İklim kaynaklı afet riskleri, tehlikelerin bütünleşmesi, birbirini tetiklemede giderek artan bir etkiye sahiptir. Bu şekilde gelişen çoklu afetlere karşı kentleri dirençli hale getirebilmek için insanların içinde yaşadığı şehirlerin niteliklerinin kapsamlı biçimde analiz edilmesi gerekir. Asian Development Bank'a (2014) göre, kentsel dirençliliğin değerlendirilmesinde öncelikle şu üç temel soru sorulmalıdır:

- Şehirdeki sistemler, ani şoklara ve uzun süreli streslere karşı ne derece dayanıklıdır?
- Kentte yaşayan bireyler ve kurumlar, bu şok ve streslere uyum sağlayabilme kapasitesine sahip midir?
- Kurumsal yapılar, bireylerin ve kurumların dirençlilik çabalarına destek sunmakta mıdır?

Bu sorular kentsel dirençliliğin başlangıç düzeyde incelenmesi için gerekli kritik öneme sahiptir. Kentsel dirençlilik kavramı afet yönetimiyle doğrudan ilişkiye sahip olmakla beraber, sürdürülebilirlikle de büyük etkileşime sahiptir. Bu kapsamda dirençlilik kavramı sürdürülebilirlikten farklı bir yaklaşım ortaya koyar. Sürdürülebilirlik dış koşulların sabit kalacağını varsayarak sosyo-ekonomik ve çevresel dengelerin korunmasını hedeflerken, dirençlilik değişken koşullara uyum sağlama ve beklenmedik şoklara karşı dayanıklılığın oluşturulması üzerine odaklıdır (Harrison ve Williams, 2016). Bu sebeple kentsel dirençliliğin yalnızca kavramsal bir çerçeve değil, bunun yanında afet riskinin yönetilmesinde köklü bir dönüşüm aracı olarak değerlendirilmesi gerekir. Dönüşüm afet risk yönetimi sistemlerinin iklimsel aşırı olaylar kapsamında köklü biçimde yeniden yapılandırılmasıdır. Bu dönüşüm iklim değişikliğine uyum stratejileri ve insani gelişim sistemleriyle entegrasyon yoluyla gerçekleşir (O'Brien, 2012). Dönüşümü sağlayabilmek için özellikle iklim değişikliğinin etkileriyle ortaya çıkan sorunlar konusunda yenilikçi çözümleri öngörmektedir. Azalan su kaynakları arasında su ve suyun yönetimi bu kapsamda kentlerin çözüm için üzerinde çalıştıkları bir konudur (Aslan, 2025).

Dünya'da Su Yönetimi

Entegre Su Kaynakları Yönetimi (IWRM) – Rehber Çerçeve

Entegre Su Kaynakları Yönetimi (IWRM), su kullanımını dengelemeyi, parçalanmayı azaltmayı ve su politikalarını daha geniş kalkanıma ve çevre hedefleriyle uyumlu hale getirmeyi amaçlayan bütüncül bir yaklaşım olarak yaygın biçimde benimsenmiştir. Kavramsal olarak IWRM, havza ölçeğinde planlamayı, sektörler arası koordinasyonu, paydaş katılımını ve değişen hidrolojik ve sosyo-ekonomik koşullara uyum sağlayabilecek esnek yönetimi vurgular (Benson ve ark., 2019; Basu ve Dasgupta, 2021).

Ampirik ve teorik analizler, başarılı bir IWRM uygulamasının yalnızca teknik araçlara değil, aynı zamanda yönetim reformlarına, kurumsal kapasiteye ve uygun finansman mekanizmalarına da bağlı olduğunu göstermektedir (Benson ve ark., 2019; Bertule ve ark., 2018). Literatürde ayrıca IWRM'nin bir "etiket" olmaktan öteye geçmesi gerektiği, başarının yalnızca prosedürel benimsemeye değil, meşru yönetim süreçlerine dayandığı belirtilmektedir (Benson ve ark., 2019; Basu ve Dasgupta, 2021). Bu bağlamda IWRM, statik bir hedef değil, dinamik bir süreç olarak görülmelidir (Benson ve ark., 2019).

SKA 6 – Politika Dayanağı ve Yönetişim Hedefi

Sürdürülebilir Kalkınma Amacı 6 (SKA 6), güvenli içme suyu, atıksu yönetimi, su kullanımını verimliliği ve sınır ötesi iş birliği için kapsamlı bir politika yol haritası sunar. SKA 6; özellikle 6.1 (güvenli ve erişilebilir içme suyu), 6.3 (atıksu arıtımı ve yeniden kullanımı), 6.5 (IWRM ve sınır ötesi iş birliği) ve 6.6 (su ekosistemlerinin korunması) alt hedefleriyle öne çıkar (Roy ve ark., 2022; Basu ve Dasgupta, 2021). Bibliyometrik analizler, bu alt hedeflerin – özellikle 6.1, 6.3 ve 6.5'in – literatürde en sık atıf yapılan konular olduğunu ve küresel araştırmaların

erişim, arıtım ve ortak kaynak yönetimi üzerine yoğunlaştığını göstermektedir (Roy ve ark., 2022). SKA 6 çerçevesi, aynı zamanda yönetim izleme yaklaşımlarının (ör. SKA 6.5.1 – IWRM uygulama göstergesi) gelişmesini teşvik etmiş ve entegre su yönetiminde ilerlemeyi ölçmeye yönelik pratik bir altyapı oluşturmuştur (Bertule ve ark., 2018). Bununla birlikte, araştırmacılar veri, finansman ve yönetim açıklarının giderilmesi gerektiğini, su güvenliği ile sosyal eşitlik ve çevresel sürdürülebilirliğin dengelenmesinin zorunlu olduğunu vurgulamaktadır (Sadoff ve ark., 2020; Roy ve ark., 2022).

Bölgesel Sorunlar ve Yenilikler

Bölgesel deneyimler, su yönetimi zorluklarının ve çözümlerinin tek tip olmadığını; biyofiziksel koşullar, kurumsal miras ve yönetim olgunluğuna göre değiştiğini göstermektedir. Ilıman, kurak ve tropik bağlamlardan gelen bulgular; yönetim ölçeklemesi, sınır aşan iş birliği ve veri-temelli karar vermenin SKA 6 ilerleyişinde sonuçları nasıl belirlediğini ortaya koymaktadır (Schattman, Niles ve Aitken, 2020; Williams, 2018; Banerjee, Bhaduri ve Saraswat, 2022; Rivera-Torres ve Gerlak, 2021).

- *Çok düzeyli yönetim ve sınır aşan karar alma:* Uluslararası-ulusal-bölgesel-yerel düzeylerdeki kararların etkileşimi, sonuçları doğrudan etkiler. Ilıman bölgelerde (örn. ABD'nin kuzeydoğusu) iklim kaynaklı değişkenlik ve arazi/su kullanımı değişimleri, yargı alanları arası uyarlanabilir koordinasyon ihtiyacını artırır (Schattman, Niles ve Aitken, 2020). Ölçeği büyütme-küçültme yerel aktör teşviklerini ve sistem dayanıklılığını değiştirir (Schattman ve ark., 2020; Banerjee, Bhaduri ve Saraswat, 2022; Rivera-Torres ve Gerlak, 2021). Sınır aşan havzalarda, tahsis-koruma-yatırım konularında müzakere gücü asimetrisi adaletsiz sonuçlar doğurabilir (Williams, 2018; Rivera-Torres ve Gerlak, 2021) Mekong-Tonle Sap sistemi bu gerilimlerin çarpıcı bir örneğidir (Sithirith, 2022).
- *Sınır aşan hidropolitik ve bölgesel eşitlik:* Güney/Güneydoğu Asya gibi bağlamlarda, mevcut resmî kurumlar özellikle iklim baskısı ve hızlı kalkınma koşullarında adil erişim ve zamanlı ortak yatırımı sağlamada yetersiz kalabilir (Williams, 2018; Sithirith, 2022). Çok paydaşlı platformlar ve havza komisyonları bilgi paylaşımı ve ortak yatırımları ilerletse de uygulama ve kapasite boşlukları sürmektedir (Rivera-Torres ve Gerlak, 2021; Sithirith, 2022).
- *Sulama yönetimi, su güvenliği ve çiftlik ölçeğinde dayanıklılık:* Sulama sistemleri bölgesel su güvenliğinin merkezinde olsa da çiftlik ve havza ölçeğindeki yönetim çerçeveleri sonuçları belirgin biçimde modüle eder. Tacikistan örneğinde, su bolluğu dahi zayıf yönetimi telafi etmeyip sahadaki dayanıklılığı zayıflatabilir (Klümper, Herzfeld ve Theesfeld, 2017). Başarı için çiftlik kararları ile havza planlamasının entegrasyonu, altyapı rehabilitasyonunun yönetişim reformuyla bağlanması ve şeffaf tahsis kuralları gereklidir (Klümper, Herzfeld ve Theesfeld, 2017; Bergsma ve ark., 2018).

- **Kentsel su yönetişimi ve dijitalleşme:** Yaşlanan şebekeler, hızlı kentleşme ve artan hizmet beklentileri, kent-metropol ölçeğinde dijitalleşme, veri-temelli yönetim ve çok-aktörlü iş birliği gerektirir (Banerjee, Bhaduri ve Saraswat, 2022; Leeuwen ve ark., 2019; Jetoo, 2017). Dijital yönetim fırsatları (Bengaluru-Singapur karşılaştırması) kadar, dijital uçurum ve kurumsal parçalanma riskleri de vardır; kapsayıcı düzenleme ve katılımcı süreçler şarttır (Banerjee, Bhaduri ve Saraswat, 2022; Kuss, 2017).
- **İzleme, veri ve uyarlanabilir yönetişim yenilikleri:** Uzaktan algılama, CBS, gerçek-zamanlı kalite sensörleri veri yoksunu bağlamlarda havza planlamasını ve yerel ölçekte kararları destekler (Dube, Shekede ve Massari, 2022; Kuzdas ve ark., 2014). Açık veri, vatandaş bilimi ve paydaş katılımı, SKA 6 raporlamasını ve hesap verebilirliği genişletebilir; bunun için veri kalitesi, mahremiyet ve adil erişimi güvenceye alan reformlar gerekir (Talpur, Choi ve Chung, 2024; Martínez-Córdoba ve ark., 2020; Bezerra ve ark., 2021). Freshwater Health Index (FHI), IWRM'i yönetim performansı-ekolojik/sosyal sonuç bağıyla operasyonelleştiren bir araçtır (Bezerra ve ark., 2021). Yapay zekâ ve kestirimsel analitik yönetişimde politika tutarlılığını ve Su-Enerji-Gıda (Nexus) takaslarının öngörülmesini destekleyebilir; ancak meşru ve kapsayıcı kurumlar içine gömülmelidir (D'Amore ve ark., 2022; Sithirith, Doma ve Sao, 2024; Rumihin, 2024).
- **Eşitlik, meşruiyet ve iktidar dinamikleri:** Etkili su yönetişimi yalnızca verimlilik değil, eşitlik ve kapsayıcılık da gerektirir. Tasarım, iktidar ilişkileri ve meşruiyet; kırılğan grupların sonuçlarını belirler. Katılım, hesap verebilirlik ve ortak-yönetim odaklı düzenlemeler önerilmektedir (Koebele, 2023; Nkhata, 2024). Yerli/yerel bilgi sistemleri ve topluluk temelli örgütler, tanıma ve güç paylaşımı sağlandığında meşru-etkin yönetişimi güçlendirir (Mugejo, Ncube ve Mutsvangwa, 2022).
- **Bölgesel vaka çalışmaları:** Mekong Deltası'nda çok ölçekli iklim-ekoloji-kalkınma hedeflerinin eşgüdümü önemli güçlükler sunar (Park, Adibayeva ve Saari, 2020; Sithirith, 2022); Aral-İrtiş-Mekong karşılaştırmaları, bölgesel iş birliği potansiyeli ile iktidar asimetrisi/maliyetlerinin kalıcılığını birlikte gösterir (Park, Adibayeva ve Saari, 2020). Karayipler/Latin Amerika'da merkezileşme-yerelleşme reformları, kurumsal tasarım ve kapasite uyumuna bağlı olarak iyileştirici de olumsuzlaştırıcı da olabilir (Lubis, Harahap ve Zuska, 2022; Bezerra, Vieira ve Ribeiro, 2021). Avrupa ve Kuzey Amerika karşılaştırmaları, uyarlanabilir yönetişimde ilerleme kadar politika-finansman-kapasite hizalaması gereğini de vurgular.
- **Sentez ve karşıt görüşler:** Bulgu birikimi, IWRM'nin sektörler ve ölçekler arası koordinasyonda değerli olduğunu; başarının ise uyarlanabilir yönetişim, kapsayıcı katılım ve yeterli finansmana bağlı kaldığını doğrular (Benson ve ark., 2019; Sadoff ve ark., 2020; Roy ve ark., 2022; Basu ve Dasgupta, 2021; Bezerra ve ark., 2021). "Tek tip reçete" eleştirisi, bölge-özellik konfigürasyonların ve yerel bilgi/eşitlik boyutlarının

önemini vurgular (Schattman, Niles ve Aitken, 2020; Rivera-Torres ve Gerlak, 2021; Koebele, 2023; Nkhata, 2024). İzleme-veri paylaşımı-katılımcı yönetişim yenilikleri, meşru ve hesap verebilir kurumlara gömüldüğünde SKA 6 hızlanmasına umut vaat eder (Dube, Shekede ve Massari, 2022; Banerjee, Bhaduri ve Saraswat, 2022; (Bezerra ve ark., 2021).

İzleme, Veri ve Teknoloji Destekli Yönetişim

Güncel çalışmalar, bilgi, dijitalleşme ve uzaktan algılama teknolojilerinin uyarlanabilir su yönetimini mümkün kıldığını vurgulamaktadır.

- Uzaktan algılama ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), özellikle veri yetersizliğinin yaşandığı bölgelerde arazi kullanımı ve su kaynaklarının izlenmesinde giderek yaygınlaşmakta; havza ölçeğinde planlamayı ve daha doğru su tahsisini kolaylaştırmaktadır (Bertule ve ark., 2018; Verma ve Mehta, 2025).
- Gerçek zamanlı su kalitesi izleme ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things) tabanlı sensör sistemleri, yönetişimi güçlendirmekte; ancak bu sistemlerin karar alma süreçlerinde etkin kullanılabilmesi için veri altyapısına ve kurumsal kapasiteye yatırım gerekmektedir (Verma ve Mehta, 2025).
- Vatandaş bilimi, izleme ağını genişletmek ve yerel toplulukları yönetim süreçlerine dahil etmek için pratik bir araç olarak öne çıkar (Talpur, Choi ve Chung, 2024; Martínez-Córdoba ve ark., 2020).
- Bununla birlikte, akıllı su yönetimi uygulamalarının başarısı, yalnızca teknolojik yeniliklere değil, aynı zamanda bu yenilikleri kapsayıcılık ve adalet ilkeleriyle bütünleştirebilen yönetim yapılarının varlığına bağlıdır (Bao ve ark., 2023; Baskaran ve Kennedy, 2022).

Sınır Aşan Sular ve Yönetişim Boyutu

Sınır aşan su yönetişimi, küresel ölçekte etkili su yönetiminin kritik bir unsurudur. Çünkü dünyanın birçok önemli nehir havzası siyasi sınırları aşmakta, bu durum aşağı havza devletleri, ekosistemler ve bölgesel istikrar üzerinde zincirleme etkiler yaratmaktadır. SKA 6.5 hedefi açıkça "tüm seviyelerde entegre su kaynakları yönetimi (ESKY) dâhil olmak üzere sınır aşan iş birliğini" teşvik eder (Roy ve ark., 2022; Basu ve Dasgupta, 2021; Kulkarni ve ark., 2022). Yapılan ampirik ve kavramsal analizler, kurumların iş birliği kapasitesi, bilgi paylaşımı ve karşılıklı fayda sağlayan yatırımların bir araya geldiği durumlarda olumlu sonuçlar elde edildiğini; buna karşın güç asimetrisi, yaptırım eksiklikleri ve adaletsizliklerin süreci zayıflattığını göstermektedir (Hussein, Menga ve Greco, 2018; Williams, 2018), (Rivera-Torres ve Gerlak, 2021). Eleştirel hidro-politik çalışmalar, resmi anlaşmalar bulunsa bile müzakere gücü, bilgiye erişim ve karar alma süreçlerinin meşruiyetinin, kıyıdaş aktörler arasındaki ilişkilerde belirleyici olduğunu vurgular (Hussein, Menga ve Greco, 2018; Williams, 2018; Nkhata, 2024). Bu bağlamda sınır aşan yönetişim yalnızca su tahsisine ilgili teknik bir uygulama değil; iklim ve ekonomik şoklara dayanabilecek kapsayıcı, meşru ve uygulanabilir yönetişim düzenlerinin inşa edildiği politik bir süreçtir (Nkhata, 2024; Mugejo, Ncube ve Mutsvangwa, 2022).

Kurumsal Yapılar ve Yönetişim Düzenleri

Sınır aşan havzalar için geliştirilen kurumsal modeller çeşitlilik gösterse de literatürde bazı ortak eğilimler öne çıkmaktadır. Havza ölçekli planlama birimleri, ortak su kullanımı yönetmelikleri, veri paylaşım platformları ve çok paydaşlı yapılar etkili sınır aşan yönetimi kolaylaştıran unsurlar arasında yer alırken; ölçek uyumsuzluğu, parçalı kurum yapıları ve zayıf denetim mekanizmaları performansını düşürmektedir (Banerjee, Bhaduri ve Saraswat, 2022; Park, Adibayeva ve Saari, 2020; Lubis, Harahap ve Zuska, 2022). Ulusal kurumları havza komisyonlarıyla birleştiren çok düzeyli ve çok sınır ötesi kurumların bilgi akışını, yatırımların bütünlüğünü ve hesap verebilirliği artırdığı görülse de bu sonuçlar her zaman garanti edilmemektedir (Banerjee, Bhaduri ve Saraswat, 2022; Lubis, Harahap ve Zuska, 2022; Bezerra, Vieira ve Ribeiro, 2021). Mekong ve Aral Gölü sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, resmi anlaşmaların tek başına yeterli olmadığını; güven inşası, gayriresmî normlar ve etkin yaptırım mekanizmalarının sürdürülebilir eylem için gerekli olduğunu ortaya koyar (Park, Adibayeva ve Saari, 2020). Tersine, aşırı merkezi veya koordinasyonsuz yapılar yerel uygulamalarda tutarsızlığa yol açarak SKA 6 hedeflerinin ve sınır aşan iş birliğinin zayıflamasına neden olmaktadır (Park, Adibayeva ve Saari, 2020; Leeuwen ve ark., 2019).

Veri Paylaşımı, Şeffaflık ve Uyarlanabilir Yönetişim

Veri paylaşımı, şeffaflık ve uyarlanabilir yönetişim yaklaşımları, başarılı sınır aşan yönetimin temel bileşenleri olarak görülmektedir. Açık veri platformları, katılımcı izleme sistemleri ve vatandaş bilimi girişimleri, veri tabanını genişletmekte ve sınır ötesi karar alma süreçlerine meşruiyet kazandırmaktadır. Ancak bu süreçlerin verimliliği için verilerin güvenilirliği, gizliliği ve adil erişim ilkelerinin yönetişim çerçevelerinde güvence altına alınması gereklidir (Dube, Shekede ve Massari, 2022; Talpur, Choi ve Chung, 2024; Martínez-Córdoba ve ark., 2020). ESKY'nin izlenmesi için geliştirilen SKA 6.5.1 çerçevesi, göstergeleri pratik reformlarla ilişkilendiren yenilikçi bir yönetişim anlayışı ortaya koymuş; bu da sınır ötesi hesap verebilirliği güçlendirmiştir (Bertule ve ark., 2018; Dube, Shekede ve Massari, 2022; Bezerra ve ark., 2021). Bununla birlikte, yalnızca veri paylaşımının yeterli olmadığı; yönetişim yapılarının güç asimetrisi, kapasite eksiklikleri ve meşruiyet sorunlarını da ele alması gerektiği vurgulanmaktadır (Nkhata, 2024; Mugejo, Ncube ve Mutsvangwa, 2022).

Ekonomik ve Finansal Boyutlar

Sınır aşan bağlamlarda ekonomik ve finansal boyutlar da büyük önem taşır. Literatür, SKA 6 hedeflerine ulaşmak için önemli düzeyde kamu ve özel yatırımların gerektiğini, bu yatırımların sınır ötesi altyapı, su kalitesinin iyileştirilmesi ve su verimliliğinin artırılmasını kapsaması gerektiğini ortaya koymaktadır (Kulkarni ve ark., 2022; Bertule ve ark., 2018). Finansman modelleri şeffaf ve adil olmadığına, zengin kıyıdaş ülkelerin ya da büyük şehirlerin orantısız biçimde fayda sağlaması mümkündür (Hussein, Menga ve Greco, 2018; Almula ve Nerini, 2021). Bu nedenle, yatırım politikaları suyun ekonomik değerini artırırken eşitliği gözetmeli, fayda ve risk paylaşımı mekanizmalarını kurumsallaştırmalıdır (Kulkarni ve ark., 2022; Landwehr, Schomberg ve Pahl-Wostl, 2021).

Tuzdan Arındırma ve Yeni Yönetişim Ufukları

Tuzdan arındırma (desalinasyon) ve sınır ötesi su yönetimi, giderek önem kazanan yeni bir yönetişim alanıdır. Bazı araştırmalar, tuzdan arındırmanın su arzını çeşitlendirerek bölgesel su güvenliğini güçlendirebileceğini ve belirli koşullarda sınır ötesi gerilimleri azaltabileceğini öne sürmektedir. Ancak aynı zamanda enerji kullanımı, çevresel etkiler, atık tuz (brine) yönetimi ve maliyetlerin paylaşımı gibi yeni yönetişim sorunlarını da beraberinde getirdiği belirtilmektedir (Walschot, 2018; Klein ve Theobald, 2025; Rashidi, 2024). İyi yapılandırılmış tuzdan arındırma iş birlikleri, su kıtlığının “güvenlik” perspektifinden çıkarılarak “iş birliği” çerçevesinde ele alınmasını sağlayabilir; ancak yerel paydaşların sürece dâhil edilmemesi yeni adaletsizliklere yol açabilir (Walschot, 2018). Ürdün–İsrail–Batı Şeria bölgesi ve diğer sınır ötesi örnekler, tuzdan arındırmanın dayanıklılığı artırma potansiyelini gösterirken; pazarlık gücü eşitsizlikleri ve düzenleyici boşluklar nedeniyle ortak faydaların zayıflayabileceğini ortaya koymuştur (Klein ve Theobald, 2025; Rashidi, 2024; Jouzdani ve ark., 2020).

Bölgesel Örnekler ve Çıkarımlar

Mekong, Aral, Tonle Sap ve Colorado nehir havzaları üzerine yapılan çalışmalar, yönetişim sonuçlarının bağlama duyarlı tasarımlara bağlı olduğunu göstermektedir. Ölçek, jeopolitik koşullar ve tarihsel miras, reformların adil su erişimi ve sürdürülebilir kullanım sağlayıp sağlamayacağını belirleyen faktörlerdir (Sithirith, 2022; Park, Adibayeva ve Saari, 2020; Lubis, Harahap ve Zuska, 2022). Bölgesel düzeyde planlama, şeffaflık veri paylaşımı, ortak yatırım ve hesap verebilirlik mekanizmalarını ön plana çıkaran kurumsal yapılar genellikle SKA 6 uyumlu sonuçlar üretmekte; ancak kapasite eksikliği veya siyasi istikrarsızlık gibi faktörler bu çerçevelerin başarısını sınırlayabilmektedir (Banerjee, Bhaduri ve Saraswat, 2022; Park ve ark., 2020; Bezerra, Vieira ve Ribeiro, 2021; Leeuwen ve ark., 2019). Ayrıca, yerel kullanıcıların, yerli ve geleneksel toplulukların yönetişim süreçlerine katılımı; farklı bilgi sistemlerinin dikkate alınması, sosyal adalet ve ekolojik bütünlük açısından vazgeçilmezdir (Nkhata, 2024; Mugejo, Ncube ve Mutsvangwa, 2022).

Türkiye İçin Çıkarımlar ve Politika Önerileri

Türkiye her ne kadar mevcut referans setinde doğrudan ülke odaklı çalışmalarda ele alınmamış olsa da küresel örüntüler Fırat-Dicle, Çoruh ve Kızılırmak gibi ortak havzalar açısından uygulanabilir dersler sunmaktadır. Havza ölçekli ESKY uygulamaları, açık hesap verebilirlik mekanizmaları ve katılımcı yönetişim yapıları, Türkiye'nin SKA 6 hedeflerini güvenli içme suyu, atık su arıtımı ve ekosistem hizmetleri açısından somut ilerlemelere dönüştürmesine yardımcı olabilir (Benson ve ark., 2019; Basu ve Dasgupta, 2021; Bertule ve ark., 2018). Komşu ülkelerle veri paylaşımının, yatırım planlamasının ve fayda paylaşımının şeffaflık biçimde yürütülmesi, bölgesel gerilimlerin artmasını önleyecektir (Hussein, Menga ve Greco, 2018; Sithirith, 2022; Park, Adibayeva ve Saari, 2020; Lubis, Harahap ve Zuska, 2022). Tuzdan arındırma alanındaki küresel literatür ayrıca Türkiye için uyarıcıdır: Enerji tüketimi, atık tuz bertarafı ve yerel paydaş katılımı konularında adil yönetişim sağlanmadıkça

yeni eşitsizlikler ortaya çıkabilir (Walschot, 2018; Rashidi, 2024). Son olarak, hesap verebilirlik, öğrenme süreçleri ve çok düzeyli katılım mekanizmaları içeren uyarlanabilir yönetim modelleri, Türkiye'nin iklim kaynaklı değişkenlik ve bölgesel kalkınma baskıları altında paylaşılan su kaynaklarını daha etkin yönetmesini sağlayabilir (Koebele, 2023; Nkhata, 2024; Bezerra, Vieira ve Ribeiro, 2021).

Politika Önerileri ve Sentez

- Havza ölçekli ESKY'yi açık roller, performans göstergeleri ve sınır ötesi koordinasyon mekanizmalarıyla geliştirerek SKA 6 hedeflerinin somut yatırımlara ve adil hizmet sunumuna dönüşmesini sağlamak (Benson ve ark., 2019; Basu ve Dasgupta, 2021; Kulkarni ve ark., 2022; Banerjee, Bhaduri ve Saraswat, 2022).
- Veri paylaşımı, açık yönetim platformları ve katılımcı izleme sistemlerine yatırım yaparak sınır ötesi karar süreçlerinde güven ve meşruiyet oluşturmak (Dube, Shekede ve Massari, 2022; (Talpur, Choi ve Chung, 2024; Martínez-Córdoba ve ark., 2020; Bezerra ve ark., 2021; Nkhata, 2024; Mugejo, Ncube ve Mutsvangwa, 2022).
- Tuzdan arındırma planlamasını enerji verimliliği, atık tuz yönetimi ve çevresel önlemlerle entegre biçimde ele alarak tüm paydaşlar arasında eşitlikçi maliyet-fayda paylaşımı sağlamak (Walschot, 2018; Rashidi, 2024; Jouzdani ve ark., 2020).
- Güç asimetrisini dikkate alan, dezavantajlı grupların ve yerli toplulukların katılımını güvence altına alan yönetim yapıları kurmak; biçimsel kurumları kapsayıcı ve esnek süreçlerle birleştirmek (Koebele, 2023; Nkhata, 2024; Lubis, Harahap ve Zuska, 2022).
- Mekong, Aral, Tonle Sap ve Ürdün-Tiberias havzalarından elde edilen deneyimleri dikkate alarak bölgesel politik, kültürel ve ekolojik koşullara uygun yönetim tasarımları geliştirmek (Sithirith, 2022; Park, Adibayeva ve Saari, 2020; Klein ve Theobald, 2025; Leeuwen ve ark., 2019).

Özetle, sınır aşan su yönetimi hem teknik hem de politik bir girişimdir. Etkili sonuçlar elde edebilmek için güçlü kurumlar, şeffaf veri paylaşımı, kapsayıcı katılım ve dengeli finansman düzenlemeleri gereklidir. ESKY, SKA 6, sınır ötesi iş birliği ve tuzdan arındırma teknolojilerinin kesişimi, sürdürülebilir ve adil su yönetimi için kapsamlı bir yol haritası sunmaktadır. Ancak başarı, yalnızca teknik kapasiteyle değil; meşru, uyarlanabilir, kapsayıcı ve mali açıdan sürdürülebilir yönetim modellerinin hayata geçirilmesiyle mümkündür (Hussein, Menga ve Greco, 2018; Williams, 2018; Sithirith, 2022; Walschot, 2018; Rashidi, 2024; Jouzdani ve ark., 2020; Dube, Shekede ve Massari, 2022; Talpur, Choi ve Chung, 2024; Martínez-Córdoba ve ark., 2020; Koebele, 2023; Nkhata, 2024; Lubis, Harahap ve Zuska, 2022).

Su Kalitesi, Kirlilik ve Sağlık Bağlantısı

Genel Çerçeve ve Konumlandırma

Su kalitesi, toplum sağlığının temel belirleyicisidir; akut su kaynaklı enfeksiyonlardan kronik hastalık sonuçlarına kadar geniş bir yelpazede riskleri etkiler. İçme suyundaki sağlık yükü; mikrobiyal patojenler, kimyasal kirlenimler ve yükselen kirlenimlerden kaynaklanır; bu durum sağlık eşitliği ve sağlık harcamaları üzerinde ciddi etkilere sahiptir.

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve çeşitli ulusal programlar, içme suyu kalitesi ve halk sağlığını güvenceye almak için risk temelli, önleyici yaklaşımları (ör. Su Güvenliği Planları—WSP) teşvik etmektedir; yine de kalite ve yönetimde önemli bölgesel farklılıklar sürmektedir (Gelting, Delea ve Medlin, 2012; Hruday ve ark., 2024; Huynh ve ark., 2023). Kanıtlar, birçok yerde mikrobiyal kirliliğin hâlâ en acil sağlık riskini oluşturduğunu; kimyasal kirlenimlerin (ağır metaller, nitratlar, organikler) ise özellikle kırsal ya da yarı-kentsel savunmasız gruplarda kanser ve diğer bulaşıcı olmayan hastalık risklerini artırarak uzun dönemli yük oluşturduğunu göstermektedir (Bradford ve ark., 2016; Lee ve ark., 2022; García ve Matthews, 2024; Singh ve ark., 2013). Ayrıca, su kalitesi başarısızlıklarının sağlık maliyetleri ve önleyici, gözetim temelli su yönetiminin (WSP uygulanması, izleme kapasitesinin artırılması, açık veri yönetimi) ekonomik faydaları giderek daha fazla kabul görmektedir (Hruday ve ark., 2024; Gelting, Delea ve Medlin, 2012; Berg ve ark., 2019).

Mikrobiyal Kirlilik ve Akut Sağlık Sonuçları

İçme suyundaki mikrobiyal patojenler başta gastrointestinal enfeksiyonlar olmak üzere akut hastalıklara yol açar. Bu durum çocuklar, yaşlılar ve dezavantajlı grupları orantısız biçimde etkiler. Birçok derleme ve süreyans çalışması, dezenfeksiyon süreçlerindeki aksaklıklar, dağıtım şebekesi bütünlüğündeki sorunlar ve izleme kapasitesi eksikleri ile ilişkili salgınlar ve endemik ishal patemlerinin yaygınlığını göstermektedir (Bradford ve ark., 2016; Singh ve ark., 2013; Setty ve ark., 2017). Yerli/uzak topluluklarda kalite sorunları çoğu kez altyapı yetersizlikleri ve yönetim eksikleriyle bağlantılıdır; sınırlı gözetim ve geciken müdahaleler sağlık sonuçlarını ağırlaştırır (Bradford ve ark., 2016; Lee ve ark., 2022; Suhanto, Westari ve Ilman, 2025). Düşük/orta gelirli bağlamlarda, örneğin Katmandu Vadisi ve Pakistan ile bazı Güneydoğu Asya bölgelerinde koliform/E. coli gibi bakteriyel ve kimyasal sorunlar, korunmasız ya da düzensiz arıtılan kaynaklara bağımlı nüfuslarda ishal ve ilişkili sağlık problemleriyle ilişkilendirilmiştir (Sarkar ve ark., 2022; Chi, Sun ve Li, 2021). Bu bulgular, “güvenli erişim” istatistikleri yüksek olsa dahi dağıtım kalitesi, bakım ve operatör yetkinliği gibi faktörlerin gerçek sağlık korumasını belirlediğini teyit eder (Lee ve ark., 2022; Setty ve ark., 2017).

Kimyasal Kirlenimler ve Uzun Dönem Sağlık Riskleri

Ağır metaller (arsenik, kurşun, kadmiyum), nitratlar, dezenfeksiyon yan ürünleri ve organik kirlenimler; kanser riski, nörogelişimsel etkiler, kardiyovasküler sorunlar ve diğer kronik durumlarla ilişkilendirilmektedir (çoğu zaman doz-yanıt ilişkileriyle) (Lü ve Villa, 2021; Alzahrani, Collins ve Erfanian, 2020). Tarımsal olarak yayılan kaynak kirliliği ve ağır metal maruziyeti, içme suyu üzerinden nüfus sağlığını etkileyebilir (Çin örneği) (Lü ve Villa, 2021); ABD ve diğer bölgelerde kontamine içme suyu, artan sağlık bakım maliyetleri ve morbidite patemleriyle ilişkilendirilmiştir (Alzahrani, Collins, ve Erfanian, 2020). Kırsal, merkezi olmayan su sistemlerine bağımlı veya yerli/marjinal topluluklara hizmet veren şebekelerde izleme ve arıtma altyapısının yetersizliği nedeniyle kimyasal kirlenimlere maruziyetin daha yüksek olduğu vurgulanmaktadır (Akter ve ark., 2016; Naidu, Joseph ve Ghani, 2021; Valerko ve ark., 2025).

Yükselen Kirleticiler ve Sağlık Risk Sinyalleri

Mikroplastikler, farmasötik kalıntılar ve diğer iz kirleticilerin içme suyu kaynaklarına girişi, yeni risk alanları oluşturur. Sağlık etkileri hâlen aydınlatılmakla birlikte, ihtiyat ilkesi çerçevesinde kaynak ve dağıtım sistemlerinde bu kirleticilerin rutin izlenmesi önerilmektedir (Siregar ve Santi, 2025), (Mhlongo, Tekere ve Sibanda, 2019). Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ve Yapay zekâ destekli izleme gibi yöntemler, erken uyarı kapasitesini artırarak uygulanabilir yönetim stratejilerine entegre edildiğinde sağlık etkilerini önleyici potansiyel sunar (Kareem ve ark., 2024; Lü ve Villa, 2021).

Su Güvenliği Planları (WSP), İzleme ve Sağlık Koruması

Önleyici ve risk temelli WSP yaklaşımı; tehlikelerin belirlenmesi, koruyucu önlemlerin uygulanması ve arıtmadan dağıtım performansın izlenmesini amaçlar. Sistematik derlemeler ve uygulama çalışmaları, iyi icra edilen WSP'lerin kontaminasyon risklerini belirgin biçimde azalttığını ve sağlık temelli hedeflerle uyumu güçlendirdiğini; ancak etkinliğin kurumsal kapasite, veri kalitesi ve yönetim taahhütlerine bağlı olduğunu göstermektedir (Gelting, Delea ve Medlin, 2012; Vidal, Torres-Lozada ve Vélez, 2009; Setty ve ark., 2017; Huynh ve ark., 2023). İklim dayanıklılığının WSP'lere entegrasyonu (iklim risklerinin izleme ve planlara dahil edilmesi), aşırı olaylara hazırlığı artırır (Berg ve ark., 2019; Huynh ve ark., 2023). Ulusal/bölgesel örnekler, WSP'lerin açık veri ve katılımcı yönetim ile birlikte, sektörler arası iş birliğini ve sağlık korumasını artırabileceğini; ancak kalıcı faydalar için sürekli yatırım ve yönetim reformları gerektiğini ortaya koymaktadır (Gelting, Delea ve Medlin, 2012; Berg ve ark., 2019; Huynh ve ark., 2023).

Sağlık Eşitliği, Kırılabilirlik ve Su Kalitesi Yönetimi

Su kalitesinden kaynaklı sağlık riskleri eşit dağılmaz. Ekonomik/coğrafi olarak dezavantajlı gruplar, güvenli kaynaklara sınırlı erişim, yetersiz altyapı ve kurumsal destek eksikliği nedeniyle daha yüksek maruziyet yaşar. Kırsal ve yarı-kentsel alanlar, renkli topluluklar ve yerli/marjinal nüfuslar için kaynatma uyarıları ve altyapı arızaları orantısız hastalık yükleri ve artan sağlık maliyetlerine yol açmaktadır (Lee ve ark., 2022; Zafar ve ark., 2020; Ngcongco ve Tekere, 2023; Naidu, Joseph ve Ghani, 2021; Alzahrani, Collins, ve Erfanian, 2020). Bu eşitlik odaklı bakış, su kalitesi iyileştirmelerinin en kırılabilir gruplara ulaşması için kapsayıcı karar alma, şeffaf veri paylaşımı ve yerel bilgi-teknik uzmanlık entegrasyonu gerektirdiğini gösteren yönetim literatürü ile uyumludur (Koebele, 2023; Nkhata, 2024; Mbu, Manyor ve Sunjo, 2024; Hruday ve ark., 2024). Sağlık etki değerlendirmeleri ve WSP uygulamaları giderek eşitlik boyutunu içselleştirmekte; yönetim, finansman ve topluluk katılımındaki paralel reformlar olmaksızın teknolojik çözümlerin tek başına sağlık iyileşmesi üretmeyeceğini vurgulamaktadır (Gelting, Delea ve Medlin, 2012; Setty ve ark., 2017; Huynh ve ark., 2023).

İzleme, Veri Entegrasyonu ve Sağlık Sonuçları İçin Kanıt Tabanı

İçme suyu sağlığını güvenceye almak için sağlam izleme, veri entegrasyonu ve su kalitesini sağlık sonuçlarına bağlayan standart göstergeler gereklidir. Küresel sürveyans çerçeveleri ve standart su kalite endekslerinin değeri vurgulanırken, coğrafi ve metodolojik

farklılıkların sağlık sinyallerini gölgeleyebileceği de not edilmektedir. WSP'ler, sürveyans protokolleri ve açık veri platformları, sağlık risk değerlendirmeleri ve politika oluşturma için kritik girdiler sağlar; ancak ulusal sürveyans sistemleri, veri erişilebilirliği ve veriyi zamanında sağlık müdahalesine dönüştürme konularında süregelen boşluklar mevcuttur (Lopes ve ark., 2022; Gelting, Delea ve Medlin, 2012; Huynh ve ark., 2023). Özellikle yerli ve kırsal nüfuslarda sağlık verisi-su kalitesi verisi kesişimi, mahremiyet, kapasite geliştirme ve topluluk katılımı güvencesine alan işbirlikçi yönetim mekanizmalarının gerekliliğini ortaya koyar (Bradford ve ark., 2016; Lee ve ark., 2022; Ngcongco ve Tekere, 2023; (Lopes ve ark., 2022; Setty ve ark., 2017).

İklim Değişikliği, Afetler ve Evrilen Sağlık Riskleri

İklim değişkenliği ve aşırı olaylar, içme suyu kalitesi ve güvenliğine ciddi tehditler oluşturur. Kuraklıklar, seller ve yağış rejimi değişimleri, kaynak suyu kalitesini, şebeke dayanıklılığını ve kirletici taşınımını etkileyerek akut salgınlar ve uzun dönem sağlık risklerine yol açabilir. Bulgular, iklim bilgili WSP'ler, dayanıklı izleme ağları ve sağlam arıtım/dağıtım altyapısına yatırım gerekliliğini vurgular (Berg ve ark., 2019; Murau ve Rosvold, 2025; Gallegos-Neyra ve ark., 2025). Etkili risk iletişimi ve kamu farkındalığı ise yanlış risk algısını önlemek ve koruyucu önlemleri etkin kılmak için güvenilir teknik kapasite ve yönetim tarafından desteklenmelidir (Suhanto, Westari ve Iman, 2025; Hruday ve ark., 2024; Huynh ve ark., 2023).

Politika ve Uygulama İçin Öneriler

- Rutin izleme ve veri paylaşımını güçlendirin, özellikle kırılabilir ve uzak topluluklara odaklanın; veri platformlarını eşitlikçi, katılımcı yönetim ile eşleyerek hesap verebilirliği ve hızlı müdahaleyi sağlayın (Lopes ve ark., 2022; Gelting, Delea ve Medlin, 2012; Setty ve ark., 2017; Huynh ve ark., 2023).
- WSP'lerin yaygınlaştırılması ve uyarlanması: Yerel kapasite, karşılanabilirlik ve sağlık eşitliğini güçlendirecek biçimde uygulayın; WSP'lere iklim riskini entegre edin (Gelting, Delea ve Medlin, 2012; Setty ve ark., 2017; Berg ve ark., 2019; Huynh ve ark., 2023).
- Arıtım ve dağıtım altyapısına yatırım: Mikrobiyal ve kimyasal kirleticileri hedefleyin; merkezi olmayan kaynaklar ve kırsal su teminine öncelik verin; bölgeler arası eşitsiz fayda-maliyet dağılımını önleyen finansman çerçeveleri kurun (Akter ve ark., 2016; Alzahrani, Collins ve Erfanian, 2020; Mandour, 2013; Hasanawi ve Salami, 2022).
- Gelişmiş tespit ve karar destek teknolojileri (AI, CNN vb.) ile erken uyarı kapasitesini güçlendirin; veri bütünlüğü/mahremiyeti ve pragmatik işletme şartlarını güvenceye alın (Kareem ve ark., 2024; Yang, Yang, Zhang ve Wang, 2021; Wryrwooll ve ark., 2022).
- Yükselen kirleticilerin (mikroplastikler, farmasötikler, dezenfeksiyon yan ürünleri) sağlık etkilerini ihtiyat temelli yönetim ve risk değerlendirmeleri ile ele alın; sağlık-çevre kurumları ve işletmecilerle sektörler arası iş birliği kurun (Mhlongo, Tekere ve Sibanda, 2019; Siregar ve Santi, 2025; Elsyra ve Rahmi, 2025).

- Sağlık eşitliğini politika çerçevelerinin merkezine alın: Topluluk katılımı, hesap verebilirlik ve adil fayda paylaşımı mekanizmalarını içeren yönetim düzenleri kurun (Koebele, 2023; Nkhata, 2024; Ngongo ve Tekere, 2023; Khatib ve Wahid, 2015; Huynh ve ark., 2023).

Su kalitesi-sağlık ilişkisi en güçlü hâline; izleme, yönetim ve altyapı yatırımının uyumlu olduğu, mikrobiyal ve kimyasal tehlikelere maruziyetin azaltıldığı ve korumanın en kırılgan nüfuslara ulaştığı koşullarda ulaşır. Literatür, WSP'ler, açık veri yönetimi ve veri temelli kararların sağlık sonuçlarını iyileştirebildiğini; ancak bunun güçlü finansman, kapasite geliştirme ve kapsayıcı yönetim olmadan sürdürülemeyeceğini tutarlı biçimde göstermektedir. Ters durumda, izleme kapasitesi, veri kalitesi, adil finansman ya da topluluk katılımındaki zayıflıklar, ilerlemeyi baltalayarak su kalitesine bağlı sağlık eşitsizliklerini kalıcı hâle getirebilir (Gelting, Delea ve Medlin, 2012; Setty ve ark., 2017; Berg ve ark., 2019; Huynh ve ark., 2023; Bradford ve ark., 2016; Lee ve ark., 2022; Ngongo ve Tekere, 2023; Alzahrani, Collins ve Erfanian, 2020).

Türkiye'de Su Yönetimi

Bu bölüm, Türkiye'nin su yönetimini küresel bağlam içinde ele almakta; Entegre Su Kaynakları Yönetimi (IWRM), Sürdürülebilir Kalkınma Amacı 6 (SKA 6) ve iklim uyumu çerçevelerini bütünleştirmektedir. Türkiye'nin kurumsal yapısı, havza temelli planlama anlayışı, sınır aşan su ilişkileri ve yönetim reformları değerlendirilerek, su güvenliği, kalkınma ve bölgesel iş birliği arasındaki dengenin nasıl kurulduğu analiz edilmektedir.

Bağlam ve Kurumsal Çerçeve

Ulusal yönetim yapısı ve politika çerçevesi

Türkiye'nin su yönetimi, ulusal politika koordinasyonu ile havza düzeyindeki uygulamaların bütünleştiği çok katmanlı bir sistemdir. Bu yapı giderek IWRM ve SKA 6 ilkeleriyle uyumlu hale gelmektedir. Fırat-Dicle havzasına ilişkin araştırmalar, Türkiye'nin su politikalarında havza temelli, iş birliğine dayalı yönetim mantığını öne çıkardığını göstermektedir (Mhlongo, Tekere ve Sibanda, 2019). Literatür, Fırat-Dicle sisteminin Türkiye'nin su politikasında belirleyici bir çerçeve oluşturduğunu; yukarı havza konumundaki Türkiye'nin projelerinin, Irak ve Suriye gibi aşağı havza ülkelerindeki su akışları üzerinde doğrudan etkiler yarattığını belirtmektedir (Al-Ansari, 2019; Mhlongo, Tekere ve Sibanda, 2019). 1990'lardan itibaren yapılan kurumsal çalışmalar, kıyıdaş ülkeler arasında düzenli istişare mekanizmaları kurulması ve sınır aşan su zorluklarını yönetebilecek kurumsal yapıların geliştirilmesi gereğini vurgulamaktadır (Kareem ve ark., 2024).

GAP programı ve sektörel entegrasyon

Türkiye'de su yönetiminin en büyük ölçekli girişimi Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP)'tır. GAP, sulama, taşkın kontrolü ve hidroelektrik üretimini birleştiren entegre bir kalkınma projesidir ve Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun su yönetiminde merkezi bir konuma sahiptir (Vidal, Torres-Lozada ve Vélez, 2009). Bölgedeki baraj ve rezervuar sistemleri, Türkiye'nin enerji ve tarımsal üretim

hedeflerini desteklemekte; GAP, havza ölçeğinde planlamanın ulusal su güvenliği politikalarına nasıl dönüştüğünü gösteren bir model olarak kabul edilmektedir (Vidal, Torres-Lozada ve Vélez, 2009).

Sınır aşan yönetim ve uluslararası bağlam

Türkiye'nin su diplomasisi, Fırat-Dicle, Çoruh, Meriç aşağı havzasında ve Aras gibi havzalar aracılığıyla komşu ülkelerle doğrudan etkileşim içindedir. Yukarı havza konumu nedeniyle Türkiye, kendi kalkınma hedefleri ile aşağı havza ülkelerinin su güvenliği arasında denge kurmak zorundadır. Bu durum, su diplomasisi ve yönetim reformlarına ilişkin akademik tartışmaların odağını oluşturmaktadır (Zafar ve ark., 2020; Ngongo ve Tekere, 2023). Özellikle Fırat-Dicle havzasında çevresel etki değerlendirmeleri ve uluslararası hukuk tartışmaları, Türkiye'nin projelerinin sınır ötesi etkileri gözetmesi, istişare ve bilgi paylaşımı süreçlerini kurumsallaştırması gerektiğini ortaya koymaktadır (Dhaliwal ve Kaur, 2024).

IWRM, SKA 6 ve iklim uyumunun politika çerçevesine entegrasyonu

Türkiye'de IWRM, havza temelli planlama, sektörler arası koordinasyon ve sınır aşan iş birliği ilkeleri üzerinden yürütülmektedir. Bu yaklaşım, SKA 6.5 hedefi (entegrasyon ve sınır aşan iş birliği) ile doğrudan ilişkilidir. Çalışmalar, SKA 6.5'in gerçekleştirilmesi için veri paylaşımı, paydaş katılımı ve ortak planlamanın zorunlu olduğunu vurgulamaktadır (Azizi ve Leandro, 2025; Sindico, 2021). Ayrıca su-enerji-gıda bileşkesine (nexus) dayalı araştırmalar, Türkiye'de hidroelektrik üretimi, sulama ve arazi kullanımı kararlarının su mevcudiyeti ve iklim dayanıklılığıyla nasıl kesiştiğini göstermekte; IWRM ve bileşke yaklaşımının Türk uygulamalarına nasıl entegre edildiğini açıklamaktadır (Lopes ve ark., 2022; Murau ve Rosvold, 2025).

Yönetim reformları ve bilgi altyapısı gereksinimleri

Etkin yönetim reformları için iş birliği mekanizmalarının kurumsallaştırılması, veri paylaşımı standartlarının oluşturulması ve paydaş katılımının artırılması gerekmektedir (Sindico, 2021; Kibaroglu ve Sayan, 2021). Türkiye'de veri mevcudiyeti, yasal çerçeve belirsizlikleri ve sınır aşan bilgi paylaşımındaki eksiklikler hem ulusal hem de bölgesel düzeyde politika reformlarını gerekli kılmaktadır (Sindico, 2021; Kibaroglu ve Sayan, 2021). Genel olarak, Türkiye'nin su yönetimi mimarisi, GAP gibi havza odaklı ulusal programları, IWRM ve SKA 6 temelli reformlarla bütünleştirerek şekillenmektedir.

Temel Zorluklar

Su kıtlığı, bölgesel eşitsizlikler ve artan talep

Türkiye'nin toplam su potansiyeli yüksek olsa da bölgesel dağılım dengesizdir. Güneydoğu Anadolu ve yoğun tarım yapılan bölgelerde su stresi artmaktadır. GAP bölgesi, kalkınma ve su kullanımı açısından bir fırsat alanı olduğu kadar, aşağı havzalarda akış miktarlarını etkileyen bir risk alanıdır (Vidal, Torres-Lozada ve Vélez, 2009; Amery, 2020; Metwally, Yasser ve Ahmed, 2024). Hızlı nüfus artışı ve tarımsal talep, sürdürülebilir kullanım çerçevelerini zorlamakta; adil ve katılımcı yönetim mekanizmaları bu nedenle kritik öneme sahiptir.

Altyapı verimsizlikleri ve çevresel etkiler

Türkiye'nin baraj ve sulama altyapısı büyük ölçeklidir; bu da verimlilik, ekolojik etki ve sınır aşan yükümlülükler açısından tartışma yaratmaktadır. Özellikle Fırat-Dicle

havzasında yürütülen projelerde, ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) süreçlerinin ve şeffaf karar mekanizmalarının güçlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Dhaliwal ve Kaur, 2024; Gallegos-Neyra, 2025). Yukarı havza projelerinin aşağı havzalardaki ekosistemler üzerindeki etkileri, bölgesel gerilim riskini artırmakta; bu durum çok taraflı diyalog ve risk yönetimi yaklaşımlarını gerekli kılmaktadır (Ngongo ve Tekere, 2023).

Veri, izleme ve bilgi paylaşımı eksiklikleri

Sınır aşan havzalarda veri paylaşımı ve standardizasyon eksikliği, su yönetimi kararlarını güçlendirmektedir. Fırat-Dicle'de ortak veri değişimi yetersizdir; hukuki belirsizlikler, teknik kapasite eksiklikleri ve paylaşım protokollerinin olmayışı, planlama süreçlerinde risk yaratmaktadır (Hasan ve ark., 2023; Mandour, 2013). Bu durum hem hidrolojik modelleme hem de adil tahsis kararları açısından kapasite geliştirme gereğini doğurmaktadır.

İklim değişkenliği ve dayanıklılık baskıları

İklim değişkenliği, Türkiye'nin hidrolojik dengesi üzerinde belirleyici bir unsurdur. Kuzey Atlantik ve Akdeniz sistemlerindeki iklim salınımları, nehir debileri ve akış rejimlerinde değişimlere neden olmaktadır (Hasanawi ve Salami, 2022). Bu durum hem yerel su güvenliği hem de sınır aşan yönetim açısından iklime uyumlu, esnek yönetim modelleri geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Hasanawi ve Salami, 2022).

Stratejiler ve Reformlar

Havza temelli IWRM uygulamaları ve sektörler arası entegrasyon

Türkiye'nin su yönetimi stratejisi, havza düzeyinde planlama ve entegre kaynak yönetimi anlayışına dayanmaktadır. Fırat-Dicle havzası üzerine yapılan temel çalışmalar, iş birliğine dayalı yönetim mekanizmalarının, ulusal kalkınma hedefleriyle uyumlu biçimde nasıl geliştirilebileceğini göstermektedir (Kareem ve ark., 2024). Bu çerçevede düzenli istişare, ortak yönetim mekanizmaları ve fayda paylaşımına dayalı yaklaşımlar, olası çatışma risklerini azaltmada kilit unsurlar olarak vurgulanmaktadır. GAP modeli ise, tarımsal kalkınma, enerji üretimi ve bölgesel entegrasyonu aynı potada birleştirerek IWRM ilkeleriyle uyumlu çok boyutlu bir planlama deneyimi sunmaktadır (Vidal, Torres-Lozada ve Vélez, 2009).

Su-Enerji-Gıda (Nexus) entegrasyonu ve planlama araçları

Su-enerji-gıda bileşkesi, Türkiye'nin kalkınma politikalarındaki sektörler arası bağımlılıkları anlamak için analitik bir çerçeve sunar. Bu yaklaşım, hidroelektrik (enerji), sulama (su) ve tarımsal üretim (gıda) arasındaki karşılıklı etkileşimleri dikkate alır. Bileşke odaklı literatür, yatırımların ve politika sinyallerinin sürdürülebilir sonuçlar üretebilmesi için sektörler arası uyumun sağlanması gerektiğini vurgular (Lopes ve ark., 2022). Aksi takdirde, bir sektördeki ilerleme diğerlerinde beklenmedik ekolojik veya ekonomik sonuçlar doğurabilir.

Dijital İzleme, Veri Yönetimi ve Uzaktan Algılama

Modern IWRM uygulamaları için dijital veri yönetimi ve uzaktan algılama teknolojileri kritik önem taşır. Bu sistemler, rezervuar doluluk oranları, akış miktarları, su kalitesi ve arazi kullanımı değişimlerinin izlenmesini

mümkün kılar. Fırat-Dicle gibi sınır aşan havzalarda, veriye erişim kısıtlılığı ve paylaşım eksiklikleri, güvenilir modelleme yapılmasını engellemektedir (Hasan ve ark., 2023). Bu nedenle Türkiye'nin, şeffaf veri yönetimi altyapılarını güçlendirmesi ve kurumsal kapasiteyi artırması hem ulusal hem bölgesel düzeyde su yönetişiminin temel gerekliliğidir (Hasan ve ark., 2023; Mandour, 2013).

Katılımcı Yönetişim, Farkındalık ve Paydaş Katılımı

Vatandaş katılımı ve kamuoyu farkındalığı, etkin su yönetişimi için destekleyici koşullar yaratır. Araştırmalar, su-enerji-gıda bileşkesine ilişkin farkındalık düzeyinin, halkın sürdürülebilir politika seçeneklerine olan desteğini artırdığını göstermektedir (Portney ve ark., 2017). Bu nedenle, politika süreçlerinde iletişim, şeffaflık ve katılımcılık unsurları, SKA 6 hedeflerine ulaşmada belirleyici rol oynar. Ayrıca, su diplomasisi ve barış inşası yaklaşımları, kıyıdaş ülkeler arasında ortak fayda ve güven inşasını destekleyici mekanizmalar olarak değerlendirilmektedir (Kibaroglu ve Sayan, 2021; Kibaroglu, 2025).

Yoksul Dostu ve İklim Dirençli Yatırımlar

Türkiye'nin gelecekteki su politikası için iklime dayanıklı altyapı ve adil yönetim reformları kritik önemdedir. GAP ve diğer havzalardaki yatırımlar, yalnızca ekonomik verimlilik değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal eşitliği de gözetmelidir (Gallegos-Neyra ve ark., 2025). Çalışmalar, fayda paylaşımına dayalı sınır aşan iş birliği modellerinin, iklim uyumu ve bölgesel dayanıklılığı güçlendirebileceğini göstermektedir (Azizi & Leandro, 2025; Metwally, Yasser, & Ahmed, 2024).

Sınır Aşan ve Bölgesel İş Birliği

Paylaşılan Havzalarda Türkiye'nin Rolü ve SKA 6.5 Uygulamaları

Türkiye, Fırat-Dicle, Çoruh, Meriç ve Aras havzalarındaki konumuyla bölgesel su yönetişiminin merkezinde yer alır. Bu havzalar birden fazla devletin etki sahasında yer almaktadır. Meriç Nehri konum itibarıyla diğerlerinden daha hassas bir durumdadır. Meriç Nehri Türkiye, Yunanistan ve Bulgaristan arasında bir sınırdır. Havzanın üç kıyıdaş devleti vardır. Bulgaristan, Yunanistan ve Türkiye. Havzada iklimsel özellikler nedeniyle debi değişiklikleri ortaya çıkmakta ve bu durum sellenmeler ve taşkınlarla neden olmaktadır. Türkiye'de Edirne ve Yunanistan-Türkiye sınırındaki köyler bu taşkınlardan ciddi oranda etkilenmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025). Bu havzalarda sürdürülebilir sonuçlar elde edebilmek için kapsayıcı yönetim, şeffaf bilgi paylaşımı ve ortak yatırım planlaması gereklidir. Çalışmalar, Türkiye'nin yukarı havza konumunda olmasının, ekolojik ve politik öncelikler arasında hassas bir denge kurmasını zorunlu kıldığını göstermektedir (Mhlongo, Tekere, & Sibanda, 2019; Stevens, 2015; Azizi & Leandro, 2025). Bölgesel düzeyde kurumsal iş birliği, adil paylaşım ve ortak fayda temelli planlama ilkeleriyle desteklenmelidir.

Çoruh, Meriç, Aras Havzaları ve Bölgesel Bileşke (Nexus) Yaklaşımları

Çoruh Havzası (Türkiye-Gürcistan arasında) sınır aşan hidroelektrik potansiyeli nedeniyle bölgesel koordinasyon gerektirir. Bu havzalarda ortak hidroloji çalışmaları,

çevresel güvenlik önlemleri ve veri paylaşım sistemleri geliştirilmelidir (Lopes ve ark., 2022; Al-Ansari, 2019). Geniş kapsamlı havza sistemlerine yönelik araştırmalar, bileşke temelli planlamanın, su, enerji ve gıda güvenliğini bütünleştiren ortak bir politika dili oluşturabileceğini öne sürmektedir (Lopes ve ark., 2022).

SKA 6.5 ve Yönetişim Çıkarımları

SKA 6.5 hedefi, sınır aşan iş birliğini merkeze alır. Türkiye'nin son yıllardaki politikaları, bu hedefin uygulanması yönünde ortak planlama, bilgi paylaşımı ve diyalog mekanizmaları geliştirmeye yönelmiştir (Azizi & Leandro, 2025; Kibaroglu & Sayan, 2021; Kibaroglu, 2025). Karşılaştırmalı çalışmalar, şeffaf veri paylaşımı ve kapsayıcı yönetişimin, olası anlaşmazlıkların iş birliği zeminine dönüştürülmesi açısından belirleyici olduğunu göstermektedir.

Çatışma Riski, Barış İnşası ve Fayda Paylaşımı

Fırat-Dicle havzasında yukarı havza kontrolünün, aşağı havza ülkelerinde kırılabilirlik ve güvensizlik yaratma potansiyeli uzun süredir tartışılmaktadır. Bununla birlikte, literatür, fayda paylaşımı ve ortak tahsis modelleri yoluyla çatışma riskinin azaltılabileceğini göstermektedir (Daoudy, 2007; Williams, 2020). Bu yaklaşımlar, uluslararası hukuk ve şeffaf yönetişim mekanizmalarıyla desteklendiğinde, kıyıdaş ilişkilerde istikrar yaratabilmektedir.

İklim Direnci ve Gelecek Yolları

İklim Uyumu, Yönetişim Reformu ve Sürdürülebilir Yatırım

İklim direnci, Türkiye'nin su politikalarının geleceğinde merkezi bir önceliktir. Fırat-Dicle sisteminde yaşanan kuraklıklar, yağış rejimi değişimleri ve akış dalgalanmaları, uyarlanabilir yönetişimi zorunlu hale getirmektedir (Hasanawi & Salami, 2022). Baraj güvenliği, rezervuar yönetimi ve su tasarruf teknolojilerine yapılacak yatırımlar, iklim risklerine karşı stratejik önem taşımaktadır (Kibaroglu & Sayan, 2021; Kibaroglu, 2025). Bu yatırımların sürdürülebilirliği için veri paylaşımı, şeffaflık ve paydaş katılımı ilkeleri temel alınmalıdır.

Yönetişim Reformları ve Entegre Yönetim İçin Yol Haritası

SKA 6.5 hedefinin uygulanması, sınır aşan su iş birliği ve veri paylaşımı düzenlemelerinin kurumsallaştırılmasına bağlıdır. Araştırmalar, diyalog, ortak izleme ve ortak yönetim mekanizmalarını kolaylaştıracak kurumsal yapıların geliştirilmesini önermektedir (Küçükmehtemoğlu & Geymen, 2014; Yang ve ark., 2021). Ayrıca, dijital izleme sistemlerinin bilim-politika etkileşimini güçlendirecek biçimde kullanılmasının, karar süreçlerini daha şeffaf hale getireceği vurgulanmaktadır (Hasan ve ark., 2023).

Bileşke Temelli Gelecek Stratejileri

Türkiye'nin su yönetimi geleceğinde bileşke (nexus) yaklaşımı, sektörler arası sinerji ve ödünlüşimleri tanımlayan en etkili politika aracıdır. Hidroelektrik, tarımsal üretim ve iklim dayanıklılığı arasındaki kesişim, IWRM ilkeleriyle uyumlu bir entegrasyon gerektirir. Bu çerçevede, kamuoyu farkındalığı, paydaş katılımı ve şeffaf karar alma kültürü, sürdürülebilir yönetişimin ayrılmaz parçalarıdır (Lopes ve ark., 2022; Al-Ansari, 2019; Portney ve ark., 2017).

Özetle; Türkiye'nin su yönetişimi, havza temelli kalkınma, IWRM ilkeleri, SKA 6 hedefleri ve iklim uyumu kavramlarını bütünleştiren çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Fırat-Dicle ve diğer sınır aşan havzalarda geliştirilen politikalar, su diplomasisi ve veri paylaşımı ekseninde şekillenmektedir (Mhlongo, Tekere, & Sibanda, 2019; Kibaroglu & Sayan, 2021). Ancak veri boşlukları, çevresel etkiler ve iklim belirsizlikleri, planlamayı zorlaştıran temel engellerdir (Gallegos-Neyra ve ark., 2025; Hasanawi & Salami, 2022). Stratejik yanıt, IWRM, bileşke temelli planlama, dijital izleme, katılımcı yönetişim ve sınır aşan iş birliği unsurlarını bir araya getiren çok boyutlu bir reform yaklaşımı olmalıdır. Türkiye'nin yukarı havza konumu hem iş birliği fırsatlarını hem de yönetişim risklerini beraberinde getirmektedir; bu nedenle, adil paylaşım, iklim dirençli yatırım ve bölgesel koordinasyon politikalarının güçlendirilmesi hem ulusal hem bölgesel su güvenliği açısından kilit önemdedir (Ngcongong & Tekere, 2023; Metwally, Yasser, & Ahmed, 2024; Stevens, 2015; Küçükmehtemoğlu & Geymen, 2014).

Sonuç

Küresel su yönetimi literatürünün Türkiye bağlamında sentezlenmesi, tutarlı ve çok katmanlı bulgular ortaya koymaktadır.

Birincisi, Entegre Su Kaynakları Yönetimi (IWRM) su yönetişimini anlamada ve yönlendirmede temel bir çerçeve olmaya devam etmektedir; ancak bu yaklaşımın, iklim riski, demografik değişim ve gelişen su taleplerine yanıt verebilmek için uyarlanabilir yönetim düzenlemeleri ve sürekli öğrenme ile desteklenmesi gerekmektedir (Benson ve ark., 2019; Sadoff ve ark., 2020).

İkincisi, Sürdürülebilir Kalkınma Amacı 6 (SKA 6), küresel ve ulusal su politikaları için merkezi bir politika dayanağıdır. SKA 6, evrensel erişim, su kalitesi ve entegre planlamayı vurgularken; bunun başarısı için yönetim politikaları, finansman ve veri altyapısının güçlendirilmesi gerekliliğini de açıkça ortaya koymaktadır (Roy ve ark., 2022; Basu ve Dasgupta, 2021).

Üçüncüsü, izleme teknolojilerindeki yenilikler ve vatandaş bilimi uygulamaları, su yönetiminin erişimini ve meşruiyetini genişletme potansiyeline sahiptir. Bu araçlar, karar verme süreçlerini zamanında ve kanıta dayalı hale getirirken, hesap verebilir yönetim yapılarının da oluşumuna katkı sağlar (Talpur, Choi ve Chung, 2024; Martínez-Córdoba ve ark., 2020; Bao ve ark., 2023).

Dördüncüsü, sınır aşan su yönetimi boyutu, paylaşılan kaynakların adil ve iş birliğine dayalı şekilde yönetilmesi için yönetim düzenlemeleri ve ortak yatırımların geliştirilmesini gerektirir. Bu süreçte, su kaynaklarının politik-ekonomik niteliği dikkate alınmalıdır (Hussein, Menga ve Greco, 2018; Almula ve Nerini, 2021).

Türkiye İçin Çıkarımlar

Türkiye bağlamında bu bulguların uygulanması, aşağıdaki bütünsel stratejilerin geliştirilmesini gerektirir:

- Ulusal su politikalarının IWRM ilkeleriyle uyumlu hale getirilmesi ve havza ölçeğinde uygulanması,

- SKA 6 raporlamasının güçlendirilmesi, böylece temel göstergeler üzerinden ilerlemenin izlenmesi ve hizmet boşluklarının belirlenmesi,
- Modern teknolojilerle izleme kapasitesinin artırılması,
- Toplum katılımının kurumsal yapılara gömülmesi yoluyla hesap verebilirliğin artırılması,
- Altyapı ve iklim dayanıklılığı yatırımlarının hızlandırılması Benson ve ark., 2019; Basu ve Dasgupta, 2021; Roy ve ark., 2022; Dube, Shekede ve Massari, 2022).

Bu eylemlerin, Türkiye'ye özgü yasal ve kurumsal düzenlemelerle desteklenmesi kritik önemdedir. Küresel literatür, Türkiye'nin su yönetiminde başarıya ulaşmasının; yönetim kapasitesinin güçlendirilmesine, finansal kaynakların etkin seferber edilmesine, eşit erişimin güvence altına alınmasına ve su-enerji-gıda bağı ekseninde sektörler arası entegrasyonun sağlanmasına bağlı olacağını vurgulamaktadır (Sadoff ve ark., 2020; Roy ve ark., 2022; Kulkarni ve ark., 2022).

Genel Değerlendirme

Son zamanlarda meydana gelen afetlerin yıkıcı etkileri artmıştır. Bu durumun oluşmasında dünya genelinde nüfusun hızlıca artması, artan nüfusun ihtiyaçları için doğal kaynakların gelişigüzel tüketilmesi, insan etkisiyle çevresel sistemlerin geri dönülemez biçimde tahrip edilmesi, atmosferde ve okyanusta karbondioksit artışı sonucu sıcaklıkların yükselmesi ve bunun sonucunda iklim değişikliği ve etkilerinin iyiden iyiye hissedilir olması etkili olmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle afetler arasındaki etkileşim ve afetlerin birbirlerini tetikleme durumları da artmıştır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yaz aylarında aşırı sıcaklık artışlarına bağlı olarak orman yangınları ortaya çıkmıştır. Ayrıca sıcaklık anomalileri kuraklıkların, don olaylarının ve aşırı yağışların görülmesinde etkili olmaktadır. Bütün bu durumlar afetlerin aynı mekanda ve zamanda artarak görülmesine ve insanların ve sahip olduğu mal varlıklarının afetler karşısında maruziyet durumlarının fazlalaşmasına sebep olmaktadır.

Afet yönetimi insanların ve sahip olduğu mal varlıkları için afet risklerine karşı afet gerçekleşmeden gerekli önlemler alarak risk azaltma çalışmalarının, afet sırasında acil durum ve sonrasında iyileştirme çalışmalarının koordineli ve iş birliği içinde gerçekleştirilmesini amaç edinir. Günümüzde artık insan nüfusunun çoğunluğu kentlerde yaşadığı için onları afetlerin olumsuz etkilerinden koruyacak çeşitli stratejilerin geliştirilmesi afet yönetimi kapsamında önem taşımaktadır.

Sürdürülebilirlik çalışmaları aslında doğadaki denge unsurlarının bozulmamasını ve kullanılan doğal kaynakların bozulmadan tekrar yerine konmasını hedeflemektedir. Artan afet risklerine karşı durabilmek ve kentleri afetlere karşı dirençli kılabilmek için kentlerin hidrolojik, jeomorfolojik, jeolojik ve sosyo-ekonomik unsurlarının birarada düşünüldüğü bütüncül sürdürülebilir yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Artan iklim riskleri en başta su kaynaklarımızı tehdit eder hale gelerek kentlerimizi afetlere daha fazla kırılgan hale getirmektedir. Bu noktada suyun yönetimi sürdürülebilirlik açısından önem kazanmaktadır.

Su yönetimi, yalnızca teknik bir arz-talep denklemi değil; kurumsal kapasite, finansman, veri altyapısı, katılımcı yönetim ve adalet ilkelerinin eşzamanlı işlenmesini gerektiren bütüncül bir kamu politikası alanıdır. Metnin önceki bölümlerinde ortaya konulduğu gibi, güncel yaklaşımın omurgasını bütüncül havza yönetimi (IWRM), Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın özellikle SDG 6 kapsamındaki ölçülebilir hedefler ve iklim uyumu ekseninde şekillenen dayanıklılık politikaları oluşturur. Bu çerçevede; havza ölçeğinde planlamayı, sektörler arası eşgüdümü (su-enerji-gıda bağı), sınır aşan iş birliğini ve çevresel hizmetlerin korunmasını aynı denklem içinde ele almayı zorunlu kılar.

Küresel fotoğraf, üçlü bir baskıya işaret ediyor: Artan talep ve kıtlık, su kalitesi-ekosistem bozulması ve yönetim boşlukları. Bu baskılar; hızlı kentleşme ve tarımsal su gereksinimi, altyapı kayıpları ve iklim kaynaklı akım oynaklığı ile birleştiğinde, su güvenliğini yalnız verimlilik artışlarıyla değil, güçlü kurumsal düzenekler ve öngörülebilir finansman akışlarıyla ele almayı gerektiriyor. Bu nedenle ilerlemenin ölçülmesi, salt kapsayıcılık ya da yatırım büyüklüğüyle değil; hizmet güvenilirliği, kalite, eşitlik ve ekolojik bütünlük gibi çok boyutlu çıktılarla değerlendirilmelidir.

Su kalitesi ve sağlık bağı, politika mimarisinin merkezinde yer almalıdır. Mikrobiyal ve kimyasal risklerin yönetimi, "tedbir-önlem-izleme" esaslı döngüler ve Su Güvenliği Planları gibi risk temelli araçlarla güçlendirildiğinde anlam kazanır. Bunun iklim boyutu, kuraklık ve taşkınların kaynak suyu niteliği ile dağıtım ağlarının kırılganlığı üzerindeki etkilerinin proaktif olarak yönetilmesini gerektirir. Veri bütünlüğü ve açıklığı—gerçek zamanlı izleme, uzaktan algılama ve açık veri platformları—sağlık çıktılarıyla bağlantı kurulduğunda, erken uyarı ve hedefe yönelik yatırımlar mümkün olur; ancak veri kalitesi, mahremiyet ve kurumsal kullanım kapasitesi güvenceye alınmadıkça bu potansiyel kurumsal pratiğe dönüşmez.

Sınır aşan sular ve bölgesel yönetim, özellikle Fırat-Dicle gibi çok aktörlü havzalarda, teknik tahsis modellerinin ötesine geçen bir meşruiyet ve fayda paylaşımı rejimi gerektirir. Etkin işleyiş, düzenli veri paylaşımı, ortak izleme-değerlendirme, çevresel etki yönetimi ve uyuşmazlık çözüm mekanizmalarının kurumsallaştırılmasına bağlıdır. Güç asimetrisi, hukuki belirsizlikler ve kapasite farkları giderilmedikçe formel anlaşmalar pratikte beklenen sonuçları üretmeyebilir. Buna karşılık, ortak yatırımlar ve risk paylaşımını teşvik eden yönetim tasarımları, iklim oynaklığı altında dahi iş birliğini istikrara kavuşturabilir.

Türkiye ölçeğinde çıkarılacak dersler açıktır. Havza temelli planlama ve performans izleme göstergeleri, yalnızca büyük ölçekli projelerin (ör. sulama-hidroelektrik) çıktılarını değil; adil erişim, su kalitesi ve ekosistem hizmetleri üzerindeki etkilerini de kapsayacak şekilde tasarlanmalıdır. Altyapı verimliliğinin artırılması (kayıp-kaçakların azaltılması, akıllı şebekeler, talep yönetimi) ve atık su arıtımı-yeniden kullanımının ölçeklenmesi, SDG 6'nın erişim ve kalite hedefleriyle birlikte yürütülmelidir. Bunun için yatırım programlarının, düzenleyici çerçevelerin ve yerel uygulama kapasitesinin uyumlu hale getirilmesi; ayrıca yurttaş bilimi girişimleri ve paydaş katılımı ile hesap verebilirliğin artırılması önem taşır.

Teknoloji, tek başına çözüm değildir; ancak doğru yönetim içinde konumlandığında çarpan etkisi yaratır. Uzaktan algılama, IoT tabanlı kalite sensörleri ve veri analitiği; su bütçesi, tahsis, kirlilik izleme ve hizmet yönetiminde karar destek kapasitesini yükseltir. Bu araçların etkinliği, standardizasyon, birlikte çalışabilirlik ve kurumsal sahiplenme ile artar. Benzer biçimde, tuzdan arındırma ya da alternatif arz çözümleri gibi seçenekler; enerji tüketimi, çevresel etkiler ve maliyet-fayda dağılımı titizlikle değerlendirildiğinde sınır aşan gerilimleri azaltabilecek iş birliği alanlarına dönüşebilir.

Eşitlik ve meşruyet ilkeleri, bütünleşik su politikalarının hem amacı hem de önkoşuludur. Kır-kent ayrımı, düşük gelirli haneler, yerinden edilmiş gruplar ve marjinal topluluklar için hizmet kalitesi ve su güvenliği göstergelerindeki açıklar kapatılmadıkça, nicel erişim kazanımları toplumsal refaha eşdeğer yansımayaacaktır. Katılımcı süreçlerin tasarımı, şeffaf veri paylaşımı ve yerel bilgiyle teknik uzmanlığın birlikte değerlendirilmesi, politikanın toplumsal kabulünü ve uygulama başarısını yükseltir.

Sonuç olarak, etkili su yönetimi; iklim belirsizliğinin arttığı, kentleşmenin hızlandığı ve ekosistem baskılarının yoğunlaştığı bir dönemde, IWRM ilkelerini SDG 6 hedefleriyle ve su-enerji-gıda bağı düşüncesiyle birleştiren esnek bir yönetim mimarisi gerektirir. Bu mimarinin ayırt edici özellikleri; açık ve güvenilir veriye dayalı karar alma, havza ölçeğinde hesap verebilirlik, sınır aşan fayda paylaşımı, sağlık-çevre çıktılarıyla uyumlu altyapı yatırımları ve kapsayıcı katılımdır. Bu ilkeler tutarlı biçimde uygulandığında, su; rekabet ve kırılabilirlik kaynağı olmaktan çıkıp, ekonomik dayanıklılığın, toplumsal adaletin ve ekolojik bütünlüğün kurucu unsurlarından biri haline gelir.

Beyanlar

Etik Onay

Bu tür bir çalışma için resmi onay gerekli değildir.

Yazarların Katkıları

Bekir Tastan: Kavramsallaştırma, süreç, araştırma, ilk taslağın oluşturulması ve yazımı, incelemenin oluşturulması ve düzenleme,

Ekrem Mutlu: Kavramsallaştırma, süreç, ilk taslağın oluşturulması ve yazılması, incelenmesi ve düzeltilmesi, görselleştirme ve denetim. Makalenin yayınlanmış hali her iki yazar tarafından da okunmuş ve onaylanmıştır.

Finansal Destek

Çalışmanın yapılmasında herhangi finansal destek kullanılmamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olduğunu beyan etmemektedirler.

Kaynaklar

AFAD (2012). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Afet risk yönetimi. <<https://www.afad.gov.tr>>, Erişim tarihi: 26.09.2025

- AFAD (2025). Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlu>. Erişim tarihi: 26.09.2025.
- Akbaş, İ. (2024). Dirençli kent bağlamında kentsel dönüşüm ve toplumsal dirençliliğin incelenmesi: Bibliyometrik bir analiz. *Memleket Siyaset Yönetim*, 19(43), 425-462.
- Akter, T., Johura, F., Akter, F., Chowdhury, T., Mistry, S., Dey, D., ve ark. (2016). Water quality index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: A cross-sectional study. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 35(1). <https://doi.org/10.1186/s41043-016-0041-5>
- Al-Ansari, N. (2019). Hydro geopolitics of the Tigris and Euphrates. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18641-8_4
- Almulla, Y., & Nerini, F. (2021). The role of shared water management to achieve the sustainable development goals. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1000184/v1>
- Alzahrani, F., Collins, A., & Erfanian, E. (2020). Drinking water quality impacts on health care expenditures in the United States. *Water Resources and Economics*, 32, 100162. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2020.100162>
- Amery, H. (2020). Malthus in the Middle East. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780197552636.003.0002>
- Aslan, M. M. (2025). Türkiye’de iklim değişikliği ve afet yönetimi ekseninde kentlerde su sorununa sünger kent çözüm önerisi: İzmir üzerine bir inceleme. *Turkish Studies - Economics, Finance, Politics*, 20(1), 21–31. <https://doi.org/10.7827/turkishstudies.78683>
- Asian Development Bank, (2014). Urban Climate Change Resilience A Synopsis, <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/149164/urban-climate-change-resilience-synopsis.pdf>. Erişim tarihi: 10.10.2025
- Banerjee, C., Bhaduri, A., & Saraswat, C. (2022). Digitalization in urban water governance: Case study of Bengaluru and Singapore. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.816824>
- Bao, F., Martek, I., Wu, Q., Wang, Z., Yang, Y., Chen, C., ve ark. (2023). Scientometric review of smart water management literature from the sustainable development goal perspective. *International Journal of Strategic Property Management*, 27(4), 218–232. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2023.19936>
- Baskaran, V., & Velkennedy, R. (2022). A systematic review on the role of geographical information systems in monitoring and achieving sustainable development goal 6: Clean water and sanitation. *Sustainable Development*, 30(5), 1417–1425. <https://doi.org/10.1002/sd.2302>
- Basu, M., & Dasgupta, R. (2021). Where do we stand now? A bibliometric analysis of water research in support of the sustainable development goal 6. *Water*, 13(24), 3591. <https://doi.org/10.3390/w13243591>
- Bezerra, A., Vieira, Z., & Ribeiro, M. (2021). Water governance assessment at different scales: A reservoir case study in the Brazilian semiarid region. *RBRH*, 26. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120200171>
- Bezerra, M., Vollmer, D., Acero, N., Marques, M., Restrepo, D., Mendoza, E., ve ark. (2021). Operationalizing integrated water resource management in Latin America: Insights from application of the freshwater health index. *Environmental Management*, 69(4), 815–834. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01446-1>
- Benson, D., Gain, A., & Giupponi, C. (2019). Moving beyond water centrality? Conceptualizing integrated water resources management for implementing sustainable development goals. *Sustainability Science*, 15(2), 671–681. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00733-5>
- Berg, H., Rickert, B., Ibrahim, S., Bekure, K., Gichile, H., Girma, S., ve ark. (2019). Linking water quality monitoring and climate-resilient water safety planning in two urban drinking water utilities in Ethiopia. *Journal of Water and Health*, 17(6), 989–1001. <https://doi.org/10.2166/wh.2019.059>

- Bergsma, E., Alphen, H., Bruggeman, A., Giannakis, E., Koti, J., Kristvik, E., ve ark. (2018). Strengths and weaknesses for climate change adaptation in water governance: A comparison across six European regions. *IntechOpen*, 74401. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74401>
- Bertule, M., Glennie, P., Bjørnsen, P., Lloyd, G., Kjellén, M., Dalton, J., ve ark. (2018). Monitoring water resources governance progress globally: Experiences from monitoring SDG indicator 6.5.1 on integrated water resources management implementation. *Water*, 10(12), 1744. <https://doi.org/10.3390/w10121744>
- Bertule, M., Glennie, P., Bjørnsen, P., Lloyd, G., Kjellén, M., Dalton, J., ve ark. (2018). Monitoring water resources governance progress globally: Experiences from monitoring SDG indicator 6.5.1 on integrated water resources management implementation. *Water*, 10(12), 1744. <https://doi.org/10.3390/w10121744>
- Bressiani, D. de A. (2016). Coping with hydrological risks through flooding risk index, complex watershed modeling, different calibration techniques, and ensemble streamflow forecasting (Doctoral dissertation). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.
- Chuan, N. M., Thiruchelvam, S., Ghazali, A., Mustapha, K. N., Sabri, R., Muda, N. Y. J., ... & Yahya, N. (2018). A review of key activities in hydro meteorological disaster management. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.35), 839-843.
- Coşkun Hepcan, Ç. (2022). Doğa temelli çözümler ve kentsel dirençlilik. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 1(2), 19-40.
- Da Silva, J., Morera, B. (2014). *City Resilience Framework, Understanding City Resilience*, Arup International Development, Developed with support from The Rockefeller Foundation (pp. 3-6). London, England.
- Demirbilek, S., & Turoğlu, H. (2025). Arsuz Çayı Havzası'nın Sel Duyarlılık Analizi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 30(53), 96-111. <https://doi.org/10.17295/ataunided.1629115>
- Dickson, E., Baker, J. L., Hoornweg, D., ve Tiwari, A. (2012). *Urban risk assessments*. Washington: The World Bank.
- Dincer, Ş. E., & Yalçın Ercoşkun, Ö. (2021). Kent planlamada yeni bir yöntem önerisi: kentsel dirençlilik endeksi. *Resilience*, 5(2), 159-172. <https://doi.org/10.32569/resilience.811875>
- Gallegos-Neyra, E., Torner-Morales, F., García-García, A., Zamora-Barrios, C., Arredondo-Fragoso, I., & Quiroz, I. (2025). Water in the arid and semi-arid zones of Mexico. *IntechOpen*, 57-76. <https://doi.org/10.2174/9789815322439125010006>
- García, D., & Matthews, T. (2024). Contaminated drinking water and its effect on cancer. *ACS ES&T Water*, 4(8), 3340-3347. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00210>
- Gelting, R., Delea, K., & Medlin, E. (2012). A conceptual framework to evaluate the outcomes and impacts of water safety plans. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 2(2), 103-111. <https://doi.org/10.2166/washdev.2012.079>
- Genç, F. N., & Alev, B. (2022). Afetler karşısında kentsel kırılabilirlik ve dirençlilik: Antalya, Isparta, Burdur örnekleri. *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (12 (Özel Sayı)), 48-73.
- Gerçek, D., & Güven, İ. T. (2016). Kentsel dirençliliğin coğrafi bilgi sistemleri ile analizi: Deprem ve İzmit Kenti. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 51-64. <https://doi.org/10.15659/hartek.16.04.298>
- Gill, J. C., & Malamud, B. D. (2016). Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies. *Earth System Dynamics*, 7(3), 659.
- Graveline, M. H., & Germain, D. (2022). Disaster risk resilience: conceptual evolution, key issues, and opportunities. *International Journal of Disaster Risk Science*, 13(3), 330-341.
- Güler, H. H. (2008). Zazar azaltmanın temel ilkeleri. Mikdat Kadioğlu ve Emin Özdamar (Ed.), *Afet zararlarını azaltmanın temel ilkeleri* (ss. 35-51) içinde. Ankara: JICA Türkiye Ofisi Yayını.
- Halofsky, J. E., Peterson, D. L., & Harvey, B. J. (2020). Changing wildfire, changing forests: the effects of climate change on fire regimes and vegetation in the Pacific Northwest, USA. *Fire Ecology*, 16(1), 1-26.
- Hanley, T. and Cutts, L. (2013). What is a systematic review? *Counselling Psychological Society*, 28(4), 3-6.
- Harrison, C. G., & Williams, P. R. (2016). A systems approach to natural disaster resilience. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 65, 11-31.
- Hewitt, K., & Burton, I. (1971). *The hazardousness of a place: a regional ecology of damaging events*. Toronto Press.
- Hasan, Q., Salar, S., Raman, D., Campbell, S., & Palani, I. (2023). When the law is unclear: Challenges and opportunities for data and information exchange in the Tigris-Euphrates and Indus River Basins. *Water Policy*, 25(8), 780-796. <https://doi.org/10.2166/wp.2023.261>
- Hasanawi, A., & Salami, I. (2022). Analysis of physicochemical and microbial parameters in refill drinking water sources and health risk assessment – A case study in Bandung District, Indonesia. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(4), 45-56. <https://doi.org/10.12912/27197050/149933>
- Hrudey, S., Gunnarsdóttir, M., Contos, A., & Petterson, S. (2024). Ensuring safe drinking water: Converting commitment into action and foresight. *Journal of Water and Health*, 22(5), iii-viii. <https://doi.org/10.2166/wh.2024.002>
- Huynh, T., Jarvis, L., Henderson, W., Bradford-Hartke, Z., Leask, S., Gajo, K., ve ark. (2023). Supporting the implementation of drinking water management systems in New South Wales, Australia. *Journal of Water and Health*, 21(8), 1098-1109. <https://doi.org/10.2166/wh.2023.125>
- Hussein, H., Menga, F., & Greco, F. (2018). Monitoring transboundary water cooperation in SDG 6.5.2: How a critical hydro-politics approach can spot inequitable outcomes. *Sustainability*, 10(10), 3640. <https://doi.org/10.3390/su10103640>
- Jetoo, S. (2017). The role of transnational municipal networks in transboundary water governance. *Water*, 9(1), 40. <https://doi.org/10.3390/w9010040>
- Jouzani, S., Zerafat, M., Arasteh, P., & Vagharfard, H. (2020). Evaluation of environmental indicators of RO seawater desalination: Case study coastal strip of Hormozgan Province, Iran. *Journal of Water Supply Research and Technology—Aqua*, 69(7), 694-703. <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.212>
- Kadioğlu, M. (2008). Modern, bütünsel afet yönetiminin temel ilkeleri. afet zararlarını azaltmanın temel ilkeleri, Der. Kadioğlu, M. ve Özdamar, E., ss. 1-34. Ankara: JICA Türkiye Ofisi Yayınları.
- Kahraman, S., & Polat, E. (2019). Meteorolojik kaynaklı afetlere karşı bir meydan okuma: dirençli planlama. *Resilience*, 3(2), 307-318.
- Kappes, M. S., Keiler, M., von Elverfeldt, K., & Glade, T. (2012). Challenges of analyzing multi-hazard risk: A review. In *Natural Hazards* (Vol. 64, Issue 2, pp. 1925-1958). <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0294-2>
- Karaçam, Z. (2013). Sistemik derleme metodolojisi: Sistemik derleme hazırlamak için bir rehber. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, 6(1), 26-33.
- Kareem, N., Aljanabi, M., Mijwil, M., Rabiei, H., Miralles-Pechuán, L., & Chadoury, T., ve ark. (2024). Enhancing water quality detection for drinking and irrigation using convolutional neural networks. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4685455/v1>

- Khattab, T., & Wahid, N. (2015). Penang user's perception of domestic water quality, health risk concern and willingness to pay: A pilot study. *Jurnal Teknologi*, 74(11). <https://doi.org/10.11113/jt.v74.4878>
- Kibaroglu, A. (2025). Water diplomacy between Türkiye and Iraq: Pathways, challenges, and future prospects. *Georgetown Journal of International Affairs*, 26(1), 124–130. <https://doi.org/10.1353/gia.2025.a965785>
- Kibaroglu, A., & Sayan, R. (2021). Water and 'imperfect peace' in the Euphrates-Tigris River Basin. *International Affairs*, 97(1), 139–155. <https://doi.org/10.1093/ia/iaaa161>
- Klein, M., & Theobald, S. (2025). Water resources management at Lake Tiberias and the lower Jordan valley in interplay with seawater desalination and hydropower generation. *Sustainable Water Resources Management*, 11(2). <https://doi.org/10.1007/s40899-025-01201-y>
- Klümper, F., Herzfeld, T., & Theesfeld, I. (2017). Can water abundance compensate for weak water governance? Determining and comparing dimensions of irrigation water security in Tajikistan. *Water*, 9(4), 286. <https://doi.org/10.3390/w9040286>
- Koebele, E., Méndez-Barrientos, L., Nadeau, N., & Gerlak, A. (2023). Beyond engagement: Enhancing equity in collaborative water governance. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, 11(2). <https://doi.org/10.1002/wat2.1687>
- Kundzewicz, Z. W., & Jania, J. A. (2007). Extreme hydro-meteorological events and their impacts. From the global down to the regional scale. *Geographia Polonica*, 80(2), 9-23.
- Kuss, A. (2017). Barriers to climate adaptation in urban areas: The case of water crisis in the metropolitan region of São Paulo. *Brasiliana – Journal for Brazilian Studies*, 5(2), 76–107. <https://doi.org/10.25160/bjbs.v5i2.24956>
- Landwehr, T., Schomberg, A., & Pahl-Wostl, C. (2021). A holistic and globally applicable indication system for regional electric-energy-water security. *Ecosystem Health and Sustainability*. <https://doi.org/10.1080/20964129.2021.1901611>
- Lee, D., Gibson, J., Brown, J., Habtewold, J., & Murphy, H. (2022). Burden of disease from contaminated drinking water in countries with high access to safely managed water: A systematic review. <https://doi.org/10.1101/2022.03.03.22271862>
- Lee, K., Hofman, J., Driessen, P., & Frijns, J. (2019). The challenges of water management and governance in cities. *Water*, 11(6), 1180. <https://doi.org/10.3390/w11061180>
- Lee, R., White, C. J., Adnan, M. S. G., Douglas, J., Mahecha, M. D., O'Loughlin, F. E., ... & Zscheischler, J. (2024). Reclassifying historical disasters: From single to multi-hazards. *Science of the Total Environment*, 912, 169120
- Lee, S., Adelodun, B., Ahmad, M., & Choi, K. (2022). Multi-level prioritization analysis of water governance components to improve agricultural water-saving policy: A case study from Korea. *Sustainability*, 14(6), 3248. <https://doi.org/10.3390/su14063248>
- Lee, S., Taniguchi, M., Mohtar, R., Choi, J., & Yoo, S. (2018). An analysis of the water-energy-food-land requirements and CO₂ emissions for food security of rice in Japan. *Sustainability*, 10(9), 3354. <https://doi.org/10.3390/su10093354>
- Loukas, A., Garrote, L., & Vasiliades, L. (2021). Hydrological and hydro-meteorological extremes and related risk and uncertainty. *Water*, 13(3), 377.
- Lubis, R., Harahap, R., & Zuska, F. (2022). Model of sustainable drinking water governance at Tirta Kualo regional drinking water corporate in Tanjungbalai City, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(8), 2421–2426. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170809>
- Lü, N., & Villa, K. (2021). Agricultural support and contaminated spillovers: The effects of agricultural water pollution on adult health in China. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 44(2), 788–821. <https://doi.org/10.1002/aep.13195>
- Mandour, R. (2013). Drinking water toxicity in health and diseases. *Air & Water Borne Diseases*, 2(1). <https://doi.org/10.4172/2167-7719.1000107>
- Martínez-Córdoba, P., Raimo, N., Vitolla, F., & Benito, B. (2020). Achieving sustainable development goals: Efficiency in the Spanish clean water and sanitation sector. *Sustainability*, 12(7), 3015. <https://doi.org/10.3390/su12073015>
- Metwally, A., Yasser, M., & Ahmed, M. (2024). Water for food in Euphrates-Tigris River. *Economies*, 12(5), 107. <https://doi.org/10.3390/economies12050107>
- Mbu, R., Manyor, T., & Sunjo, T. (2024). Population perception of drinking water sources in Buea municipality, southwest region, Cameroon. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, 7(8). <https://doi.org/10.47191/ijmra/v7-i08-15>
- Mhlongo, N., Tekere, M., & Sibanda, T. (2019). Prevalence and public health implications of mycotoxigenic fungi in treated drinking water systems. *Journal of Water and Health*, 17(4), 517–531. <https://doi.org/10.2166/wh.2019.122>
- Mugejo, K., Ncube, B., & Mutsvangwa, C. (2022). Infrastructure performance and irrigation water governance in Genadendal, Western Cape, South Africa. *Sustainability*, 14(19), 12174. <https://doi.org/10.3390/su141912174>
- Murau, L., & Rosvold, E. (2025). The consequences of climate change-related disasters on the access to drinking water in low- and middle-income countries. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-5590>
- Naidu, R., Joseph, L., & Ghani, S. (2021). Physico-chemical and biological properties of groundwater quality in rural settlement, Nadi, Fiji. *Asian Journal of Water Environment and Pollution*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.3233/ajw210001>
- Ngongo, M., & Tekere, M. (2023). WASH and drinking water quality considerations in schools in reflection of the sustainable development goals – A review. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 13(8), 566–583. <https://doi.org/10.2166/washdev.2023.028>
- Nkhata, B. (2024). The role of accountability in the emergence of adaptive water governance. *Ecology and Society*, 29(2). <https://doi.org/10.5751/es-14940-290214>
- O'Brien, K., M. Pelling, A. Patwardhan, S. Hallegatte, A. Maskrey, T. Oki, U. Oswald-Spring, T. Wilbanks, and P.Z. Yanda, 2012: Toward a sustainable and resilient future. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 437-486.
- Özler, M. (2021). Kamu yönetimi bağlamında afete dirençli toplum ve bütünlük afet risk yönetimi. *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(3), 901-917.
- Özyetgin Altun, A., (2023). Dirençli Toplum Yaklaşımında "Bilinç" Olgusu ve Kent Planlama ile İlişkisi. *Resilience*, 93-110.
- Pancar, Z. B., & Gökce, D. (2022). Hidro - Meteorolojik Karakterli Afet Riski Bulunan Alanlardaki Mevcut Mekânsal Planlama Kararları: Serik (Antalya) Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 229-245. <https://doi.org/10.29048/makufebed.1139695>
- Park, J., Adibayeva, A., & Saari, D. (2020). Contestation and collaboration for water resources: Comparing the emerging regional water governance of the Aral Sea, Irtysh River, and Mekong River. *Journal of Asian and African Studies*, 56(6), 1121–1143. <https://doi.org/10.1177/0021909620957689>
- Pescaroli, G., & Alexander, D. (2015). A definition of cascading disasters and cascading effects: Going beyond the "toppling dominos" metaphor. *Planet@ Risk*, 3(1), 58–67.

- Portney, K., Hannibal, B., Goldsmith, C., McGee, P., Liu, X., & Vedlitz, A. (2017). Awareness of the food–energy–water nexus and public policy support in the United States: Public attitudes among the American people. *Environment and Behavior*, 50(4), 375–400. <https://doi.org/10.1177/0013916517706531>
- Putra, A., Dewata, I., & Gusman, M. (2021). Literature Reviews: Hydrometeorological Disasters and Climate Change Adaptation Efforts. *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education*, 5(1), 7-12.
- Rashidi, M. (2024). Advancing sustainable seawater desalination in the Persian Gulf: Opportunities and challenges under the Kuwait Convention 1978. *Journal of Sustainable Development Law and Policy*, 15(2), 141–161. <https://doi.org/10.4314/jsdlp.v15i2.6>
- Rivera-Torres, M., & Gerlak, A. (2021). Evolving together: Transboundary water governance in the Colorado River Basin. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 21(4), 553–574. <https://doi.org/10.1007/s10784-021-09538-3>
- Roy, A., Basu, A., Su, Y., Yan, L., & Dong, X. (2022). Understanding recent trends in global sustainable development goal 6 research: Scientometric, text mining and an improved framework for future research. *Sustainability*, 14(4), 2208. <https://doi.org/10.3390/su14042208>
- Rumihin, O. (2024). Integration of engineering and politics in water management: A holistic approach to enhancing public engagement. *PUBLICUS*, 2(1), 225–234. <https://doi.org/10.30598/publicusvol2iss1p225-234>
- Sadoff, C., Borgomeo, E., & Uhlenbrook, S. (2020). Rethinking water for SDG 6. *Nature Sustainability*, 3(5), 346–347. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0530-9>
- Saragih, J., & Wizaka, W. (2025). Design school buildings with integrated water harvesting systems in Tangerang: An architectural approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1510(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1510/1/012018>
- Sarkar, B., Mitchell, E., Frisbie, S., Grigg, L., Adhikari, S., & Byanju, R. (2022). Drinking water quality and public health in the Kathmandu Valley, Nepal: Coliform bacteria, chemical contaminants, and health status of consumers. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022(1). <https://doi.org/10.1155/2022/3895859>
- SBB (2023), On İkinci Kalkınma Planı 2024-2028, (Ankara: SBB).
- Schattman, R., Niles, M., & Aitken, H. (2020). Water use governance in a temperate region: Implications for agricultural climate change adaptation in the northeastern United States. *Ambio*, 50(4), 942–955. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01417-6>
- Setty, K., Kayser, G., Bowling, M., Enault, J., Lorent, J., Serra, C., ve ark. (2017). Water quality, compliance, and health outcomes among utilities implementing water safety plans in France and Spain. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(3), 513–530. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.02.004>
- Silva, J., Solano, A., Segundo, I., Santos, E., Martínez-Huitle, C., & Silva, D. (2022). Achieving sustainable development goal 6: Electrochemical-based solution for treating groundwater polluted by fuel station. *Water*, 14(18), 2911. <https://doi.org/10.3390/w14182911>
- Singh, U., Lutchmanariyan, R., Wright, J., Knight, S., Jackson, S., & Långmark, J., ve ark. (2013). Microbial quality of drinking water from groundtanks and tankers at source and point-of-use in Ethekwini municipality, South Africa, and its relationship to health outcomes. *Water SA*, 39(5), 663. <https://doi.org/10.4314/wsa.v39i5.11>
- Siregar, T., & Santi, D. (2025). Analisis kualitas fisik dan keberadaan mikroplastik pada air minum isi ulang di Kecamatan Medan Selayang tahun 2023. *Tropical Public Health Journal*, 5(1). <https://doi.org/10.32734/trophico.v5i1.16036>
- Sithirith, M. (2017). Water governance in Cambodia: From centralized water governance to farmer water user community. *Resources*, 6(3), 44. <https://doi.org/10.3390/resources6030044>
- Sithirith, M. (2022). Analysing transboundary water governance: A global-regional-national water governance framework of Tonle Sap Lake. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 27(1). <https://doi.org/10.1111/lre.12396>
- Sithirith, M., Doma, D., Sao, S., & Bunthoeurn, M. (2024). Analyzing water-based livelihoods in the Mekong River Basin: A livelihood framework of the Tonle Sap. *ACS ES&T Water*, 4(10), 4392–4408. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00366>
- Sørup, H., Brudler, S., Godskesen, B., Dong, Y., Lerer, S., Rygaard, M., ve ark. (2020). Urban water management: Can UN SDG 6 be met within the planetary boundaries? *Environmental Science & Policy*, 106, 36–39. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.01.015>
- Şahin, C., ve Sipahioğlu, Ş. (2002). Doğal afetler ve Türkiye. Ankara: Gündüz.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2025). Meriç-Ergene Havzası. FloodMerg – Taşkın Yönetim Merkezi. Erişim adresi: <https://floodmerg.tarimorman.gov.tr/tr/meric-ergene-havzasi>. Erişim tarihi: 27.10.2025.
- Taştan, B., & Aydınoglu, A. Ç. (2022). Afetlerde tetikleyen tehlikeler ve zarar görülebilirlik. *International Journal of Geography and Geography Education*, (47), 280-299.
- Talpur, Z., Choi, S., & Chung, I. (2024). Enhancing the SDG 6 index: Implementing new directions and trends in priorities of integrated water resources management principles in the Republic of Korea. *Water*, 16(22), 3259. <https://doi.org/10.3390/w16223259>
- Tillekaratne, H. I., Jayawardena, I. M. S. P., Basnayaka, V., Rathnayake, U., Werellagama, I., Herath, S., ... & Bandara, T. W. M. T. W. (2023). Hydro-meteorological disaster incidents and associated weather systems in Sri Lanka. *Journal of Environmental Informatics Letters*, 10(2), 89-103.
- Tirado, Z., Sayaverde, I., Yajahuanca, R., Aparicio, S., Aliaga, K., & Aparicio, E., ve ark. (2025). Global research trends on water contamination by microorganisms: A bibliometric analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(7), 1128. <https://doi.org/10.3390/ijerph22071128>
- Tsakiris, G. J. N. H. (2014). Flood risk assessment: concepts, modelling, applications. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(5), 1361-1369.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). 2017. The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction. “Disaster”. Accessed 25 September 2025. <https://www.undrr.org/terminology/disaster>.
- UNISDR (2009). UNISDR terminology on disaster risk reduction. <http://www.unisdr.org/06.10.2025> erişim tarihi.
- UN-Water. (2025, January). Water facts – January 2025. https://www.unwater.org/sites/default/files/2025-01/UN-Water_Facts_one_pager_January_2025.pdf. Erişim tarihi: 27.10.2025.
- Van Westen, C. J., & Greiving, S. (2017). Multi-hazard risk assessment and decision making. In N. R. Dalezios (Ed.), *Environmental hazards methodologies for risk assessment and management* (pp. 31–94). IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/978.178.0407135_0031
- Varol, N., & Buluş Kırıkkaya, E. (2017). Afetler Karşısında Toplum Dirençliliği. *Resilience*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.32569/resilience.344784>

- Varol, N., & Derin, L. (2023). Afete karşı dirençli kentler oluşturma stratejileri. In M. Yıldız (Ed.), Afet Yönetimi ve Kentsel Planlama (Bölüm 9). Özgür Yayınları
- Valerko, R., Herasymchuk, L., Patseva, I., Lukianova, V., & Pokshevnytska, T. (2025). The impact of drinking water quality from non-centralized water supply sources on the population morbidity in the region of Zhytomyr (Ukraine). *RRG*, 69(1), 135–148. <https://doi.org/10.59277/rrg.2025.1.09>
- Verma, P., & Mehta, P. (2025). Emerging trends in real-time water quality monitoring and sanitation systems. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1005802>
- Vidal, A., Torres-Lozada, P., & Vélez, C. (2009). Water safety plans: Fundamentals and prospects for implementing them in Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 29(3), 79–85. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v29n3.15187>
- Walschot, M. (2018). Desalination, transboundary water desecuritization and cooperation. *Desalination and Water Treatment*, 104, 38–44. <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.21913>
- Williams, J. (2018). Stagnant rivers: Transboundary water security in South and Southeast Asia. *Water*, 10(12), 1819. <https://doi.org/10.3390/w10121819>
- Williams, P. (2020). *Turkish hydro-hegemony*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780197552636.003.0003>
- Wisner, B., Alcántara- Ayala, I., Gaillard, J.C. Kelman. I. ve Marchezini, V. (2025). Understanding and Addressing Disaster Risk: Who Speaks? Who Suffers? Taylor & Francis Group. ProQuest Ebook Central, <https://www.proquest.com/legacydocview/EBC/32077091?Accountid=107421>.
- Wyrwoll, P., Manero, A., Taylor, K., Rose, E., & Grafton, R. (2022). Measuring the gaps in drinking water quality and policy across regional and remote Australia. *NPJ Clean Water*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00174-1>
- Yang, B., Yang, H., Zhang, C., & Wang, Y. (2021). Risk assessment and countermeasures of heavy metals in drinking water environment of Guizhou Province. *E3S Web of Conferences*, 245, 02012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124502012>
- Zafar, R., Ali, A., Hassan, S., & Mushtaq, K. (2020). Household perceptions about drinking water quality and human health: A comparative analysis of urban and rural areas in Pakistan. *Nice Research Journal*, 13(4), 108–126. <https://doi.org/10.51239/nrjss.v13i4.233>
- Zindi, B., & Shava, E. (2022). COVID-19 and the attainment of sustainable development goal 6 (clean water and sanitation) in South Africa. *Journal of Local Government Research and Innovation*, 3. <https://doi.org/10.4102/jolgr.v3i0.58>
- Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B. J. J. M., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A., AghaKouchak, A., Bresch, D. N., Leonard, M., & Wahl, T. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8(6), 469–477.